

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**IGS İSTASYON NOKTALARININ SABİTLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI:  
TRAB IGS NOKTASI ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Müh. Mustafa ULUKAVAK**

**HAZİRAN 2010  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**IGS İSTASYON NOKTALARININ SABİTLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI: TRAB IGS  
NOKTASI ÖRNEĞİ**

**Harita Müh. Mustafa ULUKAVAK**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Harita Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25.05.2010  
Tezin Savunma Tarih : 16.06.2010**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA**

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. Aslan DİLAVER**

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. Osman BEKTAŞ**

**Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2010**

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programında yapılmıştır.

Çalışmam süresince bana yol göstererek, her türlü desteği veren kıymetli hocam danışmanım Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA'ya çok teşekkür ederim. Bölüm imkânlarını çalışma sürem boyunca bizden esirgemeyen saygıdeğer hocam ve bölüm başkanımız Prof. Dr. Cemal BIYIK'a, tez çalışmamla ilgili değerli görüşlerinden ve yardımlarından istifade ettiğim saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Osman BEKTAŞ'a, Doç. Dr. Temel BAYRAK'a, Yrd. Doç. Dr. Emine TANIR'a ve Arş. Gör. Alper AKAR'a, teşekkür ederim.

Tezle ilgili yaptığım tüm çalışmalarda sürekli yanımda olan Harita Yük. Müh. Temel Tahir TURGUT'a, Harita Yük. Müh. Buğra KAĞIZMANLI'ya, Ömer ÖZDEMİR'e, Erdal YAKAR'a ve ev arkadaşım Gürol AÇIKALIN'a ayrı ayrı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini sürekli yanımda hissettiğim, babam Mehmet ULUKAVAK'a, annem Sema ULUKAVAK'a ve kardeşim Hatice Gül ULUKAVAK'a ve bütün arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Mustafa ULUKAVAK  
Trabzon 2010

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET .....	V
SUMMARY .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı .....	2
1.3. Yeryuvarının Yapısı .....	3
1.3.1. Tektonik Levha Hareketleri .....	5
1.3.2. Fay Hareketleri .....	10
1.3.3. Türkiye'nin Tektonik Yapısı.....	11
1.4. Uluslararası GPS Servisi (IGS: International GPS Service).....	16
1.4.1. IGS İstasyonlarının Yapısı .....	17
1.4.2. IGS İstasyonlarının Görevleri .....	18
1.4.3. IGS Veri Organizasyonu .....	21
1.4.4. IGS Ürünleri Veri Formatı .....	25
1.4.5. IGS Ağı Ölçeğinde GPS Konum Belirleme Doğruluğu.....	28
1.4.6. IGS Noktalarının Mühendislik Amaçlı Kullanılması .....	30
1.4.7. Türkiye Ulusal GPS Ağları .....	31
1.5. ITRF Koordinat Sistemi.....	37
1.6. Regresyon Analizi.....	39
1.7. Jeodezik Ağların Optimizasyonu .....	40
1.7.1. Jeodezik Kontrol Ağlarının Serbest Dengelenmesi ve Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması .....	41
1.7.2. GPS Ağlarında Duyarlık ve Güven Ölçütleri.....	45
1.7.2.1. Duyarlık Ölçütleri .....	47
1.7.2.1.1 Noktalara Göre Tanımlanan Duyarlık Ölçütleri .....	47
1.7.2.1.2. Lokal Duyarlık Ölçütleri .....	49
1.7.2.1.3. Global Duyarlık Ölçütleri .....	50
1.7.2.2. Güven Ölçütleri.....	52

1.7.2.2.1	İç Güven Ölçütü .....	53
1.7.2.2.2	Dış Güven Ölçütü .....	53
1.7.3.	Duyarlık ve Güven Ölçütlerinden Türetilen Amaç Fonksiyonları .....	54
1.7.3.1.	Duyarlık Ölçütlerinden Türetilen Amaç Fonksiyonları .....	54
1.7.3.2.	Güven Ölçütlerinden Türetilen Amaç Fonksiyonları .....	55
1.8.	Deformasyon Modelleri .....	57
1.8.1.	Statik Deformasyon Modeli .....	58
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	64
2.1.	Araştırma Alanının Özellikleri.....	64
2.1.1.	Trabzon İli'nin Topografik Yapısı .....	65
2.1.2.	Trabzon İli'nin İklimi.....	66
2.2.	Araştırma Alanının Tektonik Yapısı .....	68
2.2.1.	Doğu Karadeniz Bölgesinin Aktif Fayları .....	68
2.2.2.	Trabzon Bölgesi'nin Tektoniği ve Depremselliği.....	69
2.2.3.	Trabzon Faylarının Kinematığı ve Diğer Faylarla İlişkileri .....	70
2.3.	TRAB IGS İstasyonu .....	72
2.4.	TRAB IGS Noktasının ITRF 2005 2000.0 Epoklu Kartezyen Koordinatlarının İncelenmesi.....	74
2.5.	GPS Kontrol Ağı.....	78
2.6.	Nivelman Kontrol Ağı .....	81
3.	BULGULAR ve İRDELEMELER .....	85
3.1.	TRAB IGS Noktasının ITRF2005 2000.0 Epoklu Koordinatlarının İncelenmesi .....	85
3.2.	GPS Kontrol Ağı Ölçüleriyle Deformasyon Analizi .....	90
3.2.1.	GPS Kontrol Ağı Ölçülerinin Dengelenmesi.....	90
3.2.2.	GPS Kontrol Ağında Deformasyon Analizi .....	99
3.3.	Nivelman Kontrol Ağı Ölçüleriyle Deformasyon Analizi .....	107
3.3.1.	Nivelman Kontrol Ağı Ölçülerinin Dengelenmesi.....	108
3.3.2.	Nivelman Kontrol Ağında Deformasyon Analizi .....	117
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	119
5.	KAYNAKLAR .....	123
ÖZGEÇMİŞ		

## ÖZET

Günümüzde deformasyon ölçmeleri her alanda göze çarpan bir disiplin haline gelmiştir. Ölçü alet ve yöntemlerinin gelişimi ve istatistik analizlerin birlikte kullanımı ile deformasyon ölçü ve analizi birçok uygulama alanında yerini bulmuştur. Gittikçe gelişen deformasyon ölçü yöntemleri uzay ve uydu gözlemleri alanına taşınmış ve sabit GPS (Global Positioning System) istasyonları deformasyon analiz amaçlı kullanılmaya devam edecektir.

Bugünün tarihi itibarıyla Uluslararası GNSS Servisi (IGS) eski adıyla Uluslararası GPS Servisi dünyanın dört bir yanındaki 377'si aktif toplam 421 IGS noktasından elde edilen verilerini toplar, arşivler ve dağıtır. Bu istasyonların bazılarında sadece uydu gözlemleri ile değil aynı zamanda uzak yıldız gözlemleri, galaksi gözlemleri ve radar gözlemleri ile ölçüler toplanmaktadır. IGS İstasyonları kuruldukları bölgenin karakteristik deformasyon hareketlerini diğer sabit GPS istasyonlarına göre daha iyi belirleyebilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında; Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Kanuni Kampüsü, Harita Mühendisliği Bölümü binası üzerine tesis edilmiş ve sabit olarak kabul edilen TRAB IGS noktasının sabitliğinin irdelenmesi, TRAB IGS noktasının üzerine tesis edildiği Harita Mühendisliği binası ve çevresinde oluşan deformasyonların belirlenmesi, sonuçların, jeolojik olarak belirlenmiş araştırma alanının aktif fay kinematiği ile karşılaştırılması ve sonuçların yorumlanması yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Deformasyon Analizi, Sabit GPS, GNSS, ITRF

## SUMMARY

### **Investigate The Stability of IGS Station Points: Case Study For TRAB IGS Station**

Nowadays, deformation measurements has become a conspicuousare discipline for different fields. With the improvements of measurement devices and combined use with the statistical analyses, deformation measurements and analysis has gained a place in many application fields. Increasingly improvement in deformation measurements methods has been entered into space and satellite measurement techniques and permanent GPS (Global Positioning System) stations will continue to be used for deformation analysis purposes.

At the time of going to press, the International GNSS Service (IGS), formerly the International GPS Service collects, archives, and distributes observation data from total 421 permanent IGS stations which of 377 are active stations around the world. At some of these stations, measurements are collected from the observations of not only from satellite but also from quasar, galactic and radar. IGS stations can better determine deformation movements of their constructed area than other types permanent GPS stations.

Within this thesis study, the investigation of stability of TRAB IGS station which is constructed on roof of department of Geomatics Engineering at Karadeniz Technical University (KTU) Kanuni Campus Area, determination of deformation on building of department of Geomatics Engineering and its surroundings, comparison of results with the geologically determined active fault kinematic of research area and interpretation of all results are conducted.

**Key Words:** Deformation analysis, permanent GPS, GNSS, ITRF

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. 1. Yeryuvarının yapısı (URL-25, 2010). ....	4
Şekil 1. 2. Levha tipleri (URL-25, 2010).....	4
Şekil 1. 3. Dünya üzerindeki levhalar ve bu levhaların hareket doğrultuları .....	5
Şekil 1. 4. Magmadaki konveksiyon akım hareketi (URL-5, 2009).....	6
Şekil 1. 5. Wegener'in teorisi (URL-26, 2010) .....	6
Şekil 1. 6. Levha hareketleri (URL-1, 2010) .....	7
Şekil 1. 7. (a) İki kıtasal levhanın çarpışması, (b) Himalaya Dağları (URL-1, 2010).....	8
Şekil 1. 8. (a) Kıtasal ve okyanusal levhalarının çarpışması, (b) And Dağları (URL-1, 2010) .....	8
Şekil 1. 9. (a) İki okyanusal levhanın çarpışması, volkanik ada yayları, (b) Solomon Adaları (URL-1, 2010) .....	9
Şekil 1. 10. (a) Levhaların ayrılması, (b) Okyanus ortası sırtları (URL-1, 2010) .....	10
Şekil 1. 11. (a) Fay oluşumu, (b) Kaliforniya fay hattı (URL-1, 2010) .....	10
Şekil 1. 12. Fay hareketleri (URL-3, 2010).....	11
Şekil 1. 13. Türkiye'deki levha hareketleri ve doğrultuları (Lenk, vd., 2003).....	12
Şekil 1. 14. Avrasya, Afrika ve Arap Levhalarında yapılan GPS oturumlarından elde edilen hız vektörleri (McClusky vd., 2000) .....	13
Şekil 1. 15. Türkiye'deki levha hareketleri ve faylar .....	14
Şekil 1. 16. KAF'dan bir görünüm (URL-6, 2009) .....	14
Şekil 1. 17. KAF'da oluşan depremler (Ross, vd., 1997).....	15
Şekil 1. 18. Dünya üzerindeki IGS istasyonları (URL-7, 2010).....	17
Şekil 1. 19. Avrupa'daki IGS istasyonlarının dağılımları (URL-7, 2010). ....	18
Şekil 1. 20. IGS organizasyon şeması (URL-12, 2009). ....	22
Şekil 1. 21. GPS kuzey bileşeni doğruluğunun ölçüm süresi ve mesafeye göre değişimi (Engin ve Şanlı, 2007) .....	29
Şekil 1. 22. GPS doğu bileşeni doğruluğunun ölçüm süresi ve mesafeye göre değişimi (Engin ve Şanlı, 2007) .....	29
Şekil 1. 23. GPS yukarı bileşeni doğruluğunun ölçüm süresi ve mesafeye göre değişimi (Engin ve Şanlı, 2007) .....	29
Şekil 1. 24. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) .....	32
Şekil 1. 25. Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA).....	33
Şekil 1. 26. TUSAGA AKTİF Ağı .....	34
Şekil 1. 27. ITRF'i tanımlamada kullanılan uzaysal sistemlerin konumları (URL-24) .....	37
Şekil 2. 1. Trabzon İli (Reis 2003) .....	65



Şekil 2. 2. Trabzon İlinin topoğrafyası (URL-23, 2010).....	66
Şekil 2. 3. Trabzon İli aylık ortalama sıcaklık grafiği .....	67
Şekil 2. 4. Trabzon İli Aylık ortalama yağış grafiği .....	68
Şekil 2. 5. Kuzeydoğu Anadolu Bölgesinde görülen aktif ters fay kırıkları (A- KB-GD doğrultusunda, B- D-B doğrultusunda ve C- KD-GB doğrultusunda) (Keskin S., 2007).....	69
Şekil 2. 6. Avrasya, Afrika ve Arap Levhalarında yapılan GPS oturumlarından elde edilen hız vektörleri.(McClusky vd., 2000).....	70
Şekil 2. 7. Bölgedeki fayların kinematiki, hareket miktarları ve aktif olan KAF ve KDFA olan ilişkileri (Keskin S., 2007).....	71
Şekil 2. 8. Türkiye’de yer alan IGS İstasyonları .....	72
Şekil 2. 9. KTÜ Harita Mühendisliği Bölümü Binası üzerinde TRAB IGS noktası.....	73
Şekil 2. 10. KTÜ Harita Mühendisliği binası çatısına tesis edilmiş TRAB IGS anteni.....	73
Şekil 2. 11. IGS istasyonunun server terminali .....	74
Şekil 2. 12. ITRF koordinatlarının kullanılabilirliğinin web adresindeki gösterimi .....	76
Şekil 2. 13. Koordinat ve Hız bilgilerinin istendiği web bağlantısı .....	77
Şekil 2. 14. İstenilen epoktaki koordinat ve hızların tablo halinde gösterilmesi.....	77
Şekil 2. 15. GPS kontrol ağ noktaları .....	79
Şekil 2. 16. GPS ağı.....	80
Şekil 2. 17. Nivelman kontrol ağ noktaları.....	82
Şekil 2. 18. Nivelman ağı .....	83
Şekil 3. 1. TRAB IGS noktasının X koordinat bileşeninin hız vektörü değişimi.....	85
Şekil 3. 2. TRAB IGS noktasının X koordinat bileşeninin değişimi .....	86
Şekil 3. 3. TRAB IGS noktasının Y koordinat bileşeninin hız vektörü değişimi .....	87
Şekil 3. 4. TRAB IGS noktasının Y koordinat bileşeninin değişimi .....	88
Şekil 3. 5. TRAB IGS noktasının Z koordinat bileşeninin hız vektörü değişimi .....	89
Şekil 3. 6. TRAB IGS noktasının Z koordinat bileşeninin değişimi .....	89
Şekil 3. 7. Ağdaki nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hataları .....	91
Şekil 3. 8. GPS ölçülerinin redundanz payları.....	91
Şekil 3. 9. GPS ölçülerinin iç güven ölçütleri .....	92
Şekil 3. 10. GPS ölçülerinin dış güven ölçütleri .....	93
Şekil 3. 11. Ağdaki nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hataları.....	94
Şekil 3. 12. GPS ölçülerinin redundanz payları .....	94
Şekil 3. 13. GPS ölçülerinin iç güven ölçütleri .....	95
Şekil 3. 14. GPS ölçülerinin dış güven ölçütleri .....	96

Şekil 3. 15. Ağdaki nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hataları.....	97
Şekil 3. 16. GPS ölçülerinin redundanz payları .....	97
Şekil 3. 17. GPS ölçülerinin iç güven ölçütleri .....	98
Şekil 3. 18. GPS ölçülerinin dış güven ölçütleri .....	99
Şekil 3. 19. TRAB ve ORMA Noktalarının Hareket yönü ve büyüklüğü.....	103
Şekil 3. 20. TRAB ve ORMA Noktalarının Hareket yönü ve büyüklüğü.....	107
Şekil 3. 21. Yüksekliklerin karesel ortalama hataları .....	108
Şekil 3. 22. Nivelman gözlemlerinin redundanz payları ve sınır değerler .....	109
Şekil 3. 23. Nivelman ölçülerinin iç güven ölçütleri ve sınır değerleri.....	110
Şekil 3. 24. Nivelman ölçülerinin dış güven ölçütleri .....	111
Şekil 3. 25. Nivelman yüksekliklerinin karesel ortalama hataları .....	111
Şekil 3. 26. Nivelman gözlemlerinin redundanz payları ve sınır değerler .....	112
Şekil 3. 27. Nivelman ölçülerinin iç güven ölçütleri ve sınır değerleri.....	113
Şekil 3. 28. Nivelman ölçülerinin dış güven ölçütleri .....	113
Şekil 3. 29. Yüksekliklerin karesel ortalama hataları .....	114
Şekil 3. 30. Nivelman gözlemlerinin redundanz payları ve sınır değerler .....	115
Şekil 3. 31. Nivelman ölçülerinin iç güven ölçütleri ve sınır değerleri.....	116
Şekil 3. 32. Nivelman ölçülerinin dış güven ölçütleri .....	117

## TABLULAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. 1. Yeryüzündeki plakaların mutlak hızları (URL-4, 2010).....	5
Tablo 1. 2. IGS Ürünleri (URL-8, 2010).....	19
Tablo 1. 3. Avrupa'daki IGS İşletim Veri Merkezleri (Dach, vd., 2007) .....	23
Tablo 1. 4. IGS global veri merkezleri (Dach, vd., 2007) .....	24
Tablo 1. 5. IGS' nin Avrupa'daki veri merkezleri (Dach, vd., 2007) .....	24
Tablo 1. 6. IGS' nin Avrupa'daki analiz merkezleri (Dach, vd., 2007).....	25
Tablo 1. 7. Global referans sistemi için çalışan global ağ ile ilişkili analiz merkezleri (Dach, vd., 2007).....	25
Tablo 1. 8. IGS ürünlerine ait veri formatı (UNIX sistemler için) (Dach, vd., 2007).....	26
Tablo 1. 9. Deformasyon modellerinin sınıflandırılması .....	58
Tablo 3. 1. $t_1 - t_0$ periyotları için I. adım global test sonuçları .....	100
Tablo 3. 2. $t_1 - t_0$ periyotları için I. adım toplam aykırılık değerleri.....	100
Tablo 3. 3. $t_1 - t_0$ periyotları için I. adımda hareket belirlenen noktanın deformasyon değerleri .....	101
Tablo 3. 4. $t_1 - t_0$ periyotları için II. adım global test sonuçları .....	101
Tablo 3. 5. $t_1 - t_0$ periyotları için II. adım toplam aykırılık değerleri .....	101
Tablo 3. 6. $t_1 - t_0$ periyotları için II. adımda hareket belirlenen noktanın deformasyon değerleri .....	102
Tablo 3.7. $t_1 - t_0$ periyotları için III. adım global test sonuçları.....	102
Tablo 3. 8. $t_2 - t_0$ periyotları için I. adım global test sonuçları .....	104
Tablo 3. 9. $t_2 - t_0$ periyotları için I. adım toplam aykırılık değeri sonuçları .....	104
Tablo 3. 10. $t_2 - t_0$ periyotları için I. adımda hareket belirlenen noktanın deformasyon değerleri .....	104
Tablo 3. 11. $t_2 - t_0$ periyotları için II. adım global test sonuçları .....	105
Tablo 3. 12. $t_2 - t_0$ periyotları için II. adım toplam aykırılık değeri sonuçları .....	105
Tablo 3. 13. $t_2 - t_0$ periyotları için II. adımda hareket belirlenen noktanın deformasyon değerleri .....	106
Tablo 3. 14. $t_2 - t_0$ periyotları için III. adım global test sonuçları.....	106
Tablo 3. 15. $\theta^2$ -ölçütü yöntemiyle belirlenen deformasyon analiz değerleri I. adım.....	117
Tablo 3. 16. $\theta^2$ -ölçütü yöntemiyle belirlenen deformasyon analiz değerleri I. adım.....	118

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Yerkabuğunda ya da büyük mühendislik yapılarında, enerjisini yerin iç yapısından alan iç kuvvetler, enerjisini güneşten alan dış kuvvetler ve çoğunlukla insan faktöründen kaynaklanan dış etkenler nedeniyle deformasyonlar oluşmaktadır. Bu kuvvet ve etkenler sonucu; levha hareketleri, depremler, tsunamiler, heyelanlar, gelgit olayları, mühendislik projelerinin oluşturduğu deformasyonlar meydana gelmektedir. Kıta hareketlerini, depremlerin önceden kestirilmesini, büyük mühendislik binalarının (baraj, tünel, köprü, viyadük, kule, vd.) bünyesinde oluşacak geometrik değişimleri zamanında belirlenmek için deformasyon ölçüleri yapılmaktadır. Bu ölçüleriyle yapılan deformasyon analizi ile deformasyonların saptanması ve yorumlanması gerçekleştirilmektedir. Çeşitli etkenlerle oluşan deformasyonların belirlenmesi sonucu önceden alınan tedbirlerle meydana gelecek can ve mal kayıplarının yani maddi ve manevi zararların önüne geçilebilmektedir (Hardy, 1978; Pelzer, 1988; Öztürk, Şerbetçi, 1992; Koch, 1999).

Deformasyonların belirlenmesi amacıyla genellikle jeodezik kontrol ağları kurulur ve ağda çeşitli periyotlarda yapılan ölçülerin değerlendirilmesiyle elde edilen nokta koordinatları kullanılarak deformasyon analizi gerçekleştirilir (Pelzer, 1988; Önalp, 1991; Lenk, 2005). Deformasyonları gerçekçi olarak belirleyebilmek için jeodezik kontrol ağlarının optimum olarak kurulması gerekir. Günümüzde, optimum kontrol ağlarında deformasyon belirlenmesinde yatay ve düşey doğrultu için genellikle GPS, yalnızca düşey doğrultu için genellikle hassas nivelman yöntemiyle yapılan ölçüler kullanılmaktadır. Farklı zaman periyotlarında yapılan ölçüler deformasyon modelleriyle test edilerek geçen zaman içinde deformasyon olup olmadığı araştırılmaktadır. Görüldüğü gibi farklı zamanlarda yapılan ölçüler değerlendirilmektedir. Ancak, ölçülerin yapıldığı farklı zamanlar arasında oluşabilecek ani hareketler hakkında yorumlama yapılamamaktadır. Böyle durumlar için sürekli gözlem yapan sistemlere gereksinim olmuştur. Bu amaçla son yıllarda deformasyon belirlemede 365 gün 24 saat gözlem yapan sabit GPS noktalarından elde edilen veriler kullanılmaya başlanmıştır (Kurt, 1996; Lenk, vd., 2005).

IGS istasyonunun koordinatları, ölçülerin değerlendirilmesinde ve dengelenmesinde referans olarak kullanılmaktadır. Böylece, ölçülen ağ ITRFYY (International Terrestrial

Reference Frame) sisteminde konumlandırılmış, doğruluğu yeterli ve ülke GPS ağıının (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-TUTGA) datumunda bir ağ olmaktadır. IGS istasyonlarının üç boyutlu koordinatları ve zamana bağlı değişimleri (hız vektörleri,  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ) belli olduğundan, bunların sürekli olarak izlenmesi ve değişmelerin saptanması ile deprem predikasyonu çalışmalarına da altlık oluşturabilirler. Ayrıca, deprem sonrasında da ulusal ağlardaki nokta konum değişimlerini ve dolayısıyla yer kabuğu hareketlerini saptamada bu istasyonlar en doğru bilgileri vermektedir (McElroy, 1990; Lenk, 2005; URL-16, 2009; Altamimi, 2004).

Türkiye aktif levha hareketleri ve buna bağlı olarak da deprem kuşağı üzerinde olan bir ülke olduğundan, yer değiştirmelerin sürekli olarak izlenmesi gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Sabit GPS istasyonları sürekli ölçü yaptığından özellikle deprem öncesinde ve sonrasındaki ölçülerin değerlendirilmesiyle deformasyonlar hakkında daha gerçekçi yorumlamalar yapılabilmektedir (Özener, 2004; URL-20, 2007).

Günümüzde, sabit GPS istasyon noktalarıyla global, bölgesel ve lokal ağlar oluşturulmuş. Bu ağların ana amaçları; sürekli GPS verileri toplayarak referans sisteminin belirlenmesi için uzun dönemli veri sağlamak, jeodezik ve jeodinamik amaçlar doğrultusunda hesaplamalar yapmak, yer kabuğu hareketlerine yönelik kinematik modelleme çalışmalarını gerçekleştirmektir. Sabit GPS istasyon noktalarının verilerinin sağlıklı olması için sağlam zeminlere tesis edilmeli gerekir. Bu nedenle IGS noktalarının ve tesis edildikleri alanın sabit olup olmadıklarının araştırılması gerekir (Yalçınkaya, ve Tanır, 2000; Yalçınkaya, 1994).

## 1.2. Çalışmanın Amacı

Türkiye, Avrasya, Arap ve Afrika plakalarının etkisi altında bulunmaktadır. Bu plakaların hareketleri sonucunda Türkiye sınırları içerisindeki her noktanın konumu değişmektedir. Ayrıca depremler nedeniyle de yer kontrol noktalarının konumlarında depremin büyüklüğüne bağlı olarak hareketler meydana gelebilmektedir. Bu sonuç, sabit olarak kabul edilen noktaların koordinatlarındaki yer değiştirmelerin sürekli olarak izlenmesi gereksinimini ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda, sürekli ölçü yapan sabit GPS istasyonlarından elde edilen veriler ile nokta hareketlerinin izlenmesi yapılmaktadır. Ayrıca IGS noktaları, başta haritacılık olmak üzere askeri sivil ve birçok alanda (jeodezik ölçüler, mühendislik ölçmeleri, navigasyon uygulamaları, CBS uygulamaları, meteorolojik

çalışmalar, jeofizik ve jeodinamik uygulamalar vb.) yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle IGS noktalarının gerçekten sağlam zeminlerde tesis edilmeleri ve bu noktaların sabit olup olmadıklarının da araştırılmaları gerekmektedir (Keskin, 2007; Aktuğ, 2003; Bayrak ve Yalçinkaya, 2002; Bektaş ve Çapkınoğlu, 1997).

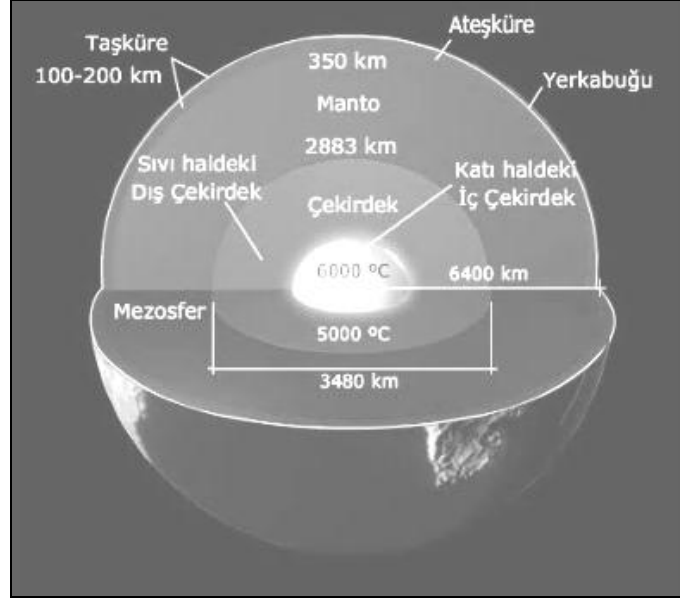
Bu tez çalışması kapsamında;

- Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Kanuni Kampüsü, Harita Mühendisliği Bölümü binası üzerine tesis edilmiş ve sabit olarak kabul edilen TRAB IGS noktasının sabitliğinin irdelenmesi,
- TRAB IGS noktasının üzerine tesis edildiği Harita Mühendisliği binası ve çevresinde oluşan deformasyonların belirlenmesi,
- Sonuçların, jeolojik olarak belirlenmiş araştırma alanının aktif fay kinematiği ile karşılaştırılması ve yorumlamanın yapılması amaçlanmaktadır.

Türkiye ve dünya jeodinamik çalışmaları için TRAB Noktasının stabilitesinin diğer bir deyişle deformasyonlarının zamana bağlı trendinin belirlenmesi, geçmişte ve gelecekteki çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

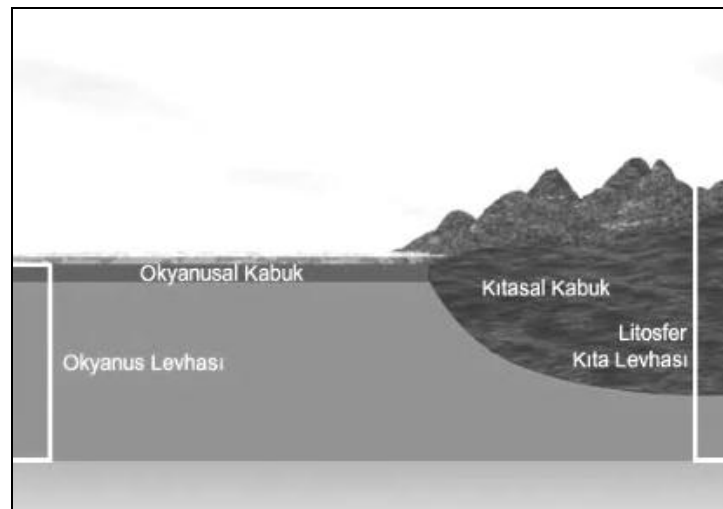
### **1.3. Yeryuvarının Yapısı**

Yeryuvarı genel olarak yerkabuğu, manto ve çekirdekten oluşmaktadır. Yarıçapı yaklaşık 6400 km olan yeryuvarının en dıştaki bölümünü yerkabuğu oluşturmaktadır. Yerkabuğunun altında yaklaşık 300 km kalınlığında manto katmanı yer almaktadır. Mantoda sıcaklık ve basınç çok yüksektir. Bu nedenle mantoyu oluşturan yer gereci bir yanardağdan yayılan lav gibi katı değil, akışkandır. Mantonun altında dış çekirdek katmanı bulunmaktadır. Bu katmanın ergimiş yani sıvı haldeki metalden oluştuğu tahmin edilmektedir. Çekirdekse Dünya'nın merkezinde yer almaktadır. Sıcaklığı yaklaşık 3000 derece olduğu tahmin edilen çekirdeğin katı olduğu ve demir nikel karışımından oluştuğu düşünülmektedir (Şekil 1.1) (Lenk, 2003; URL-25, 2010).



Şekil 1.1. Yeryuvarının yapısı (URL-25, 2010)

Yerin dış bölümünü yani yerkabuğunu, yaklaşık 70-100 km kalınlığındaki katı litosfer oluşturur. Litosferi meydana getiren ve aynı zamanda okyanusların altında devam eden yerkabuğu bir bütün değildir. Yerkabuğunu meydana getiren parçalara levha denir. İki tip levha vardır. Okyanusların tabanını oluşturan okyanus levhası, karaları oluşturan kıta levhası ise daha kalın ve yoğunluğu daha düşüktür (Şekil 1.2).

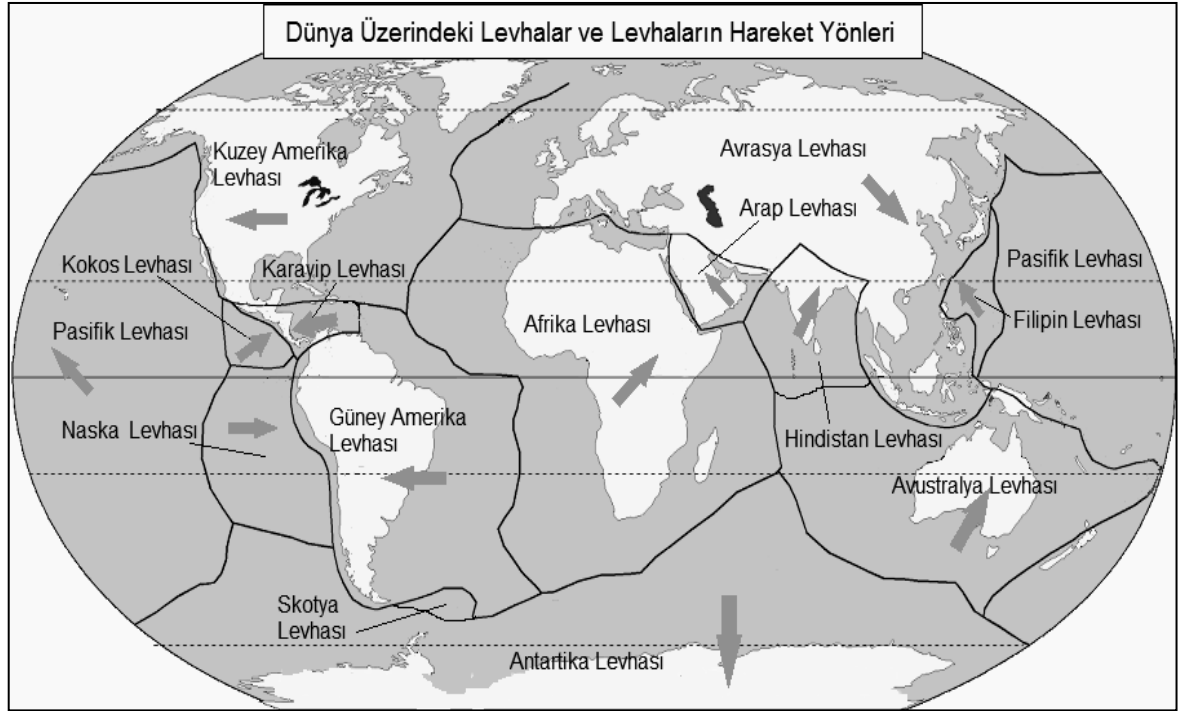


Şekil 1.2. Levha tipleri (URL-25, 2010)

Dünya’da yedi tanesi büyük, çok sayıda da küçük tektonik levha bulunmaktadır. Yeryüzü üzerinde bulunan başlıca büyük levhalar; Kuzey ve Güney Amerika Levhaları, Avrasya Levhası, Afrika Levhası, Antarktika Levhası, Avustralya Levhası ve Pasifik Levhası olmak üzere (Şekil 1.3)’te gösterilmiştir. (URL-1, 2010; URL-3, 2010; URL-4, 2010) Dünya üzerindeki bu levhaların yaklaşık mutlak hızları (Tablo 1.1)’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Yeryüzündeki plakaların mutlak hızları (URL-4, 2010)

Levha	Mutlak Hız (mm/yıl)	Levha	Mutlak Hız (mm/yıl)
Antarktika	20,5	Hindistan	60,0
Afrika	21,5	Naska	75,5
Arap	46,5	Kuzey Amerika	11,5
Karayip	24,5	Pasifik	81,0
Kokos	85,5	Filipin	63,5
Avrasya	9,50	Güney Amerika	14,5



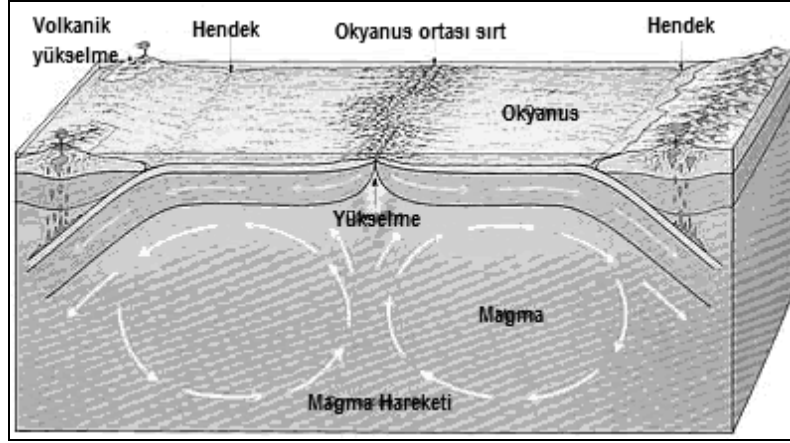
Şekil 1.3. Dünya üzerindeki levhalar ve bu levhaların hareket doğrultuları

### 1.3.1. Tektonik Levha Hareketleri

Levhalar manto üzerinde hareket etmektedirler. Levhaların manto üzerindeki hareketine yol açan tıpkı bir ısıtıcı gibi çalışan yerin çekirdeğidir. Isınan mantoda

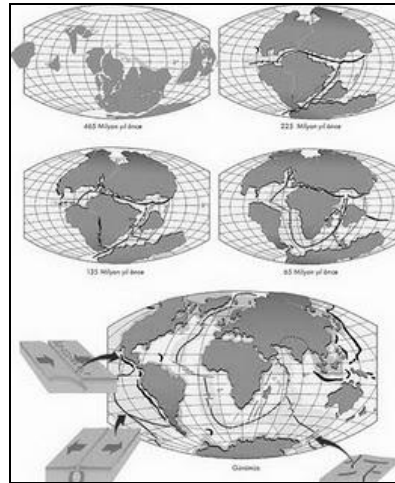


konveksiyon akımı denen bir hareket ortaya çıkmaktadır. Bu hareket tıpkı alttan ısıtılan bir kaptaki suyun hareketi gibidir. Isınan su yukarı doğru ilerlerken yüzeydeki su da aşağıya yönelir. Bu biçimde hareket eden mantoda levhaların arasına girerek komşu levhaları hareket ettirir (Şekil 1.4) (URL-1, 2010; URL-3, 2010; URL-4, 2010; Yalçınkaya (Ünver), 1994).



Şekil 1.4. Magmadaki konveksiyon akım hareketi (URL-5, 2009)

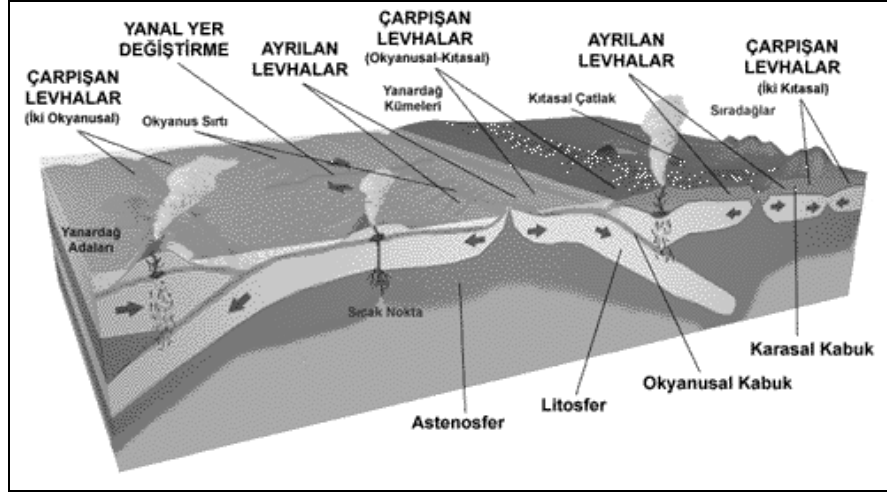
Kıtaların kayması teorisini Alman meteorolog Alfred Wegener 1915'de ortaya atmıştır. Wegener teorisine göre kıtalar I. zamanın ikinci yarısına kadar tek bir parça halinde idi. Bu varsayımsal kıtaya Pangaea adını verilmekteydi. II. ve III. zamanlarda kıtalar parçalanarak birbirinden uzaklaşmışlardır. Kıtaların arasındaki boşluklara suların dolmasıyla okyanus ve denizler meydana gelmiştir (Şekil 1.5) (URL-5, 2009).



Şekil 1.5. Wegener'in teorisi (URL-26, 2010)

Wegener'in teorisi geliştirilerek 1950'de levha tektoniği teorisi adıyla yeni bir teori ortaya atılmıştır. Bu teoriye göre yer kabuğu levha adı verilen çok büyük parçalar halinde manto üzerinde yüzmektedirler. Bu nedenle kimi zaman birbirinden uzaklaşırken, kimi zaman da birbirlerine yaklaşmaktadırlar. Bu hareketlilik levha hareketliliği yani tektonik plaka hareketliliği olarak adlandırılmaktadır (URL-26, 2010).

Depremler ve volkanik aktivitelerin nedeni de tüm bu hareketliliktir ve levha sınırlarında oluşmaktadır. Yani levha sınırlarının geçtiği yerler ile deprem ve volkanik kuşaklar birbirine paralellik göstermektedirler. (Şekil 1.6)'da tektonik plakaların hareketleri gösterilmektedir (McClusky, vd., 2000; McClusky, vd., 2006; URL-5, 2009; URL-26, 2010).



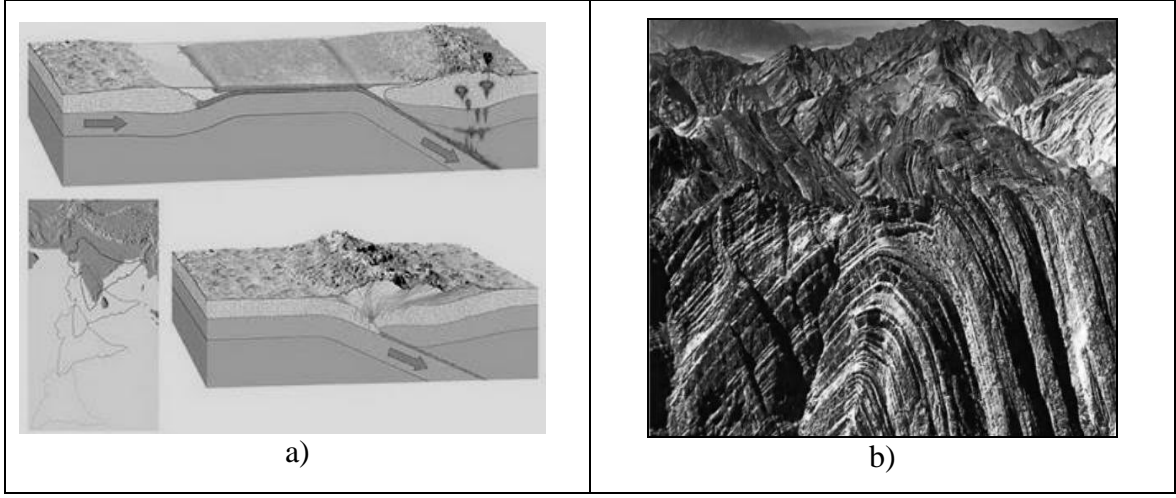
Şekil 1.6. Levha hareketleri (URL-5, 2009)

(Şekil 1.6)'da görüldüğü gibi levhalar birbirleriyle çarpışma ya da ayrılma şeklinde hareket etmektedirler. Bu hareketlerin sonucu çeşitli aktiviteler meydana gelmektedir.

- İki Kıtasal Levhanın Çarpışması

Çarpışan levhaların ikisi de kıta levhası olunca, aynı yoğunlukta olduklarından, levhalardan biri ötekinin altına kolayca girememektedir. Buna karşın hareket sürdüğünden kıta levhasını oluşturan ve üzerinde yer alan kaya katmanları sıkışmaktadır. Bu sıkışma nedeniyle kaya katmanlarında kıvrılmalar ve kırıklar yani faylar ortaya çıkmaktadır. Sıkışma çarpışan iki levhanın sınırı boyunca olmakta ve sıkışan bölge yükselmeye

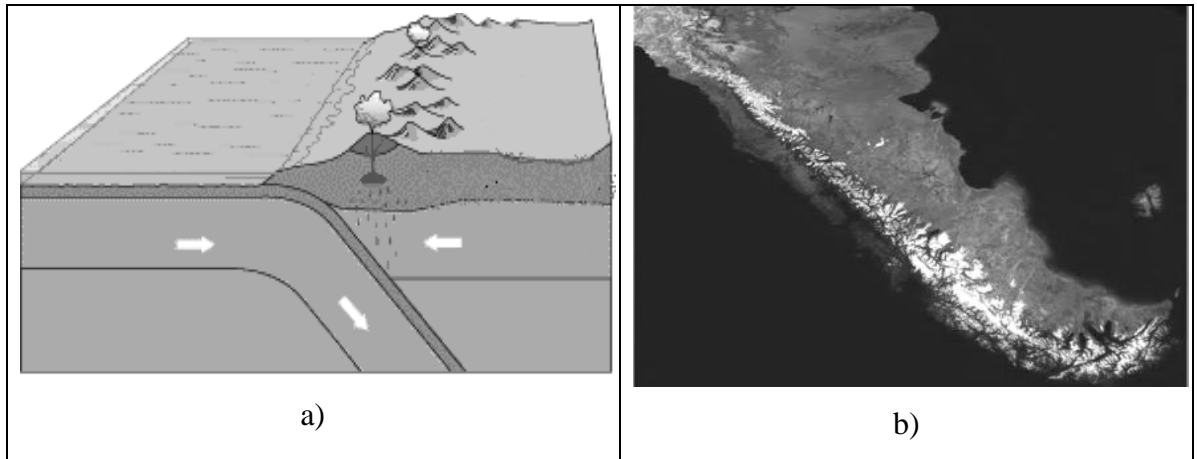
başlamaktadır. Himalaya Dağları da bu şekilde oluşmuştur (Şekil 1.7) (URL-1, 2010, URL-3, 2010; URL-26, 2010; Wdowinski, vd., 1992).



Şekil 1.7. (a) İki kıtasal levhanın çarpışması (b) Himalaya Dağları

- Kıtasal ve Okyanusal Levhaların Çarpışması

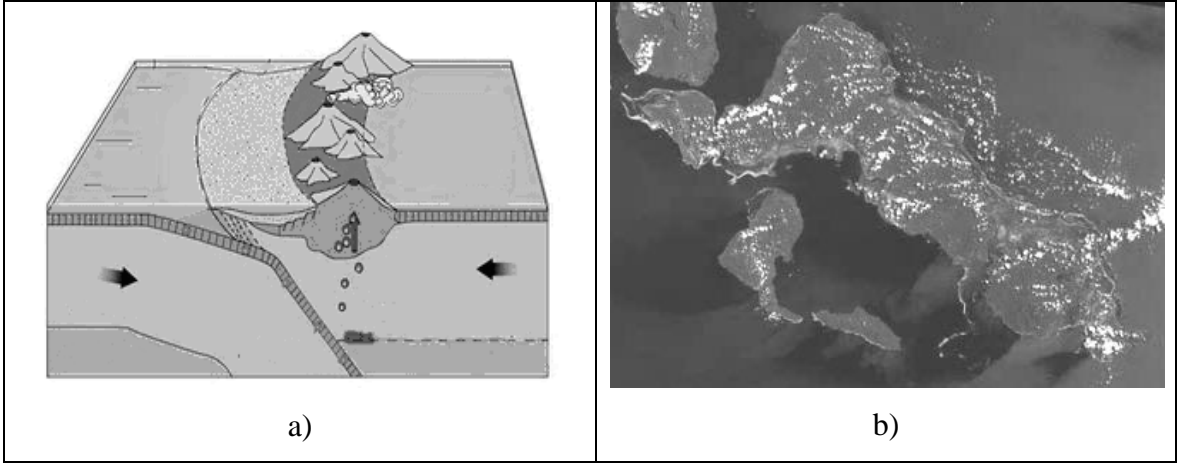
Okyanus levhaları, kıta levhalarına göre daha yoğun olduğundan, bir çarpışma sırasında okyanus levhası, kıta levhasının altına girmekte ve kabuğun altındaki manto katmanının yüksek basınç ve yüksek sıcaklık koşullarında ergimektedir. Bu hareket, kıta levhasının yükselmesine ve levha sınırı boyunca kıta levhası üzerinde uzun sıra dağların oluşmasına neden olmaktadır. Güney Amerika Kıtası'nın Büyük okyanus sınırı boyunca uzanan And dağları bu biçimde oluşmuş bir dağ kuşağıdır (Şekil 1.8) (URL-1, 2010, URL-3, 2010; URL-26, 2010; Wdowinski, vd., 1992).



Şekil 1.8. (a) Kıtasal ve okyanusal levhalarının çarpışması (b) And Dağları

- İki Okyanusal Levhanın Çarpışması

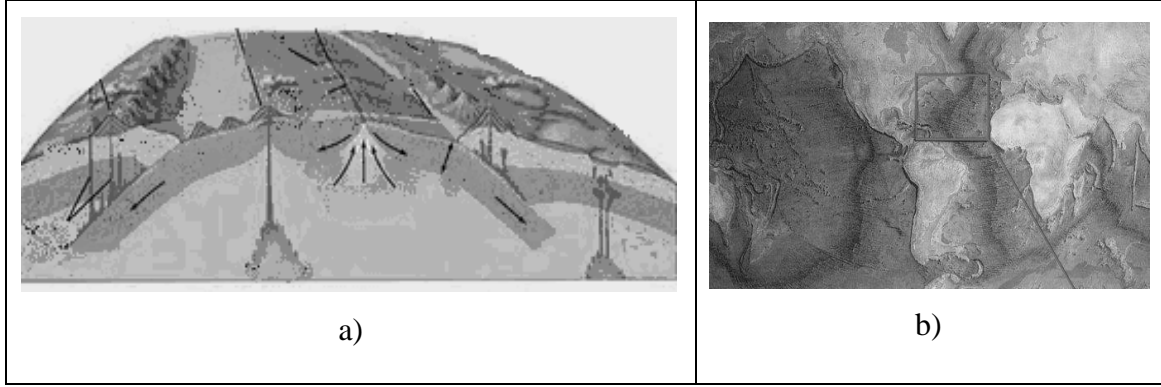
İki okyanus levhasının karşı karşıya geldiği durumda da yine levhalardan biri ötekinin altına girmektedir. Ancak bu durumda, öteki çarpışmalardan farklı olarak çarpışmanın olduğu levha sınırı boyunca ve üste kalan levhanın üstünde büyüklü küçüklü volkanik adalar oluşmaktadır. Bunlara ‘Volkanik Ada Yayı’ denilmektedir. Büyük okyanus’taki Solomon Adaları ile Japonya, Filipinler ve Mariana Çukuru bu biçimde oluşmuştur (Şekil 1.9) (URL-1, 2010, URL-3, 2010; URL-26, 2010; Wdowinski, vd., 1992).



Şekil 1.9. (a) İki okyanusal levhanın çarpışması, volkanik ada yayları (b) Solomon Adaları

- Levhaların Uzaklaşması

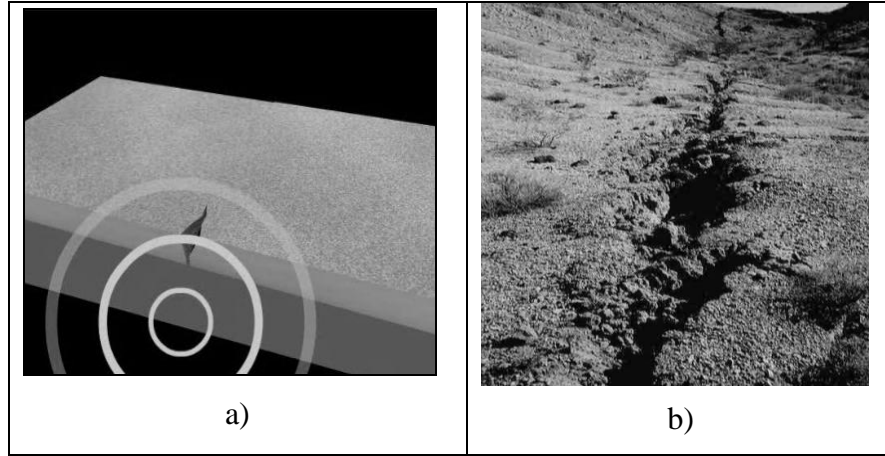
Levhaların birbirinden uzaklaşması sonucu okyanus tabanlarındaki kırıklar genişleyerek bazaltik lavlar ortaya çıkmaktadır. Bunlar katılarak kıtaların kenarlarına eklenmekte ve bunun sonucunda kıtalar birbirinden uzaklaşarak okyanus tabanları genişlemektedir. Okyanus tabanındaki kırık hatlarından çıkan magmanın katılması sonucu okyanus sırtları oluşmaktadır. Birbirinden uzaklaşan levha sınırları, karalarda Rift Vadisi, okyanus tabanlarındaysa Okyanus Ortası Sırtı olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.10) (URL-1, 2010, URL-3, 2010; URL-26, 2010; Wdowinski, vd., 1992).



Şekil 1.10. (a) Levhaların ayrılması (b) Okyanus ortası sırtları

### 1.3.2. Fay Hareketleri

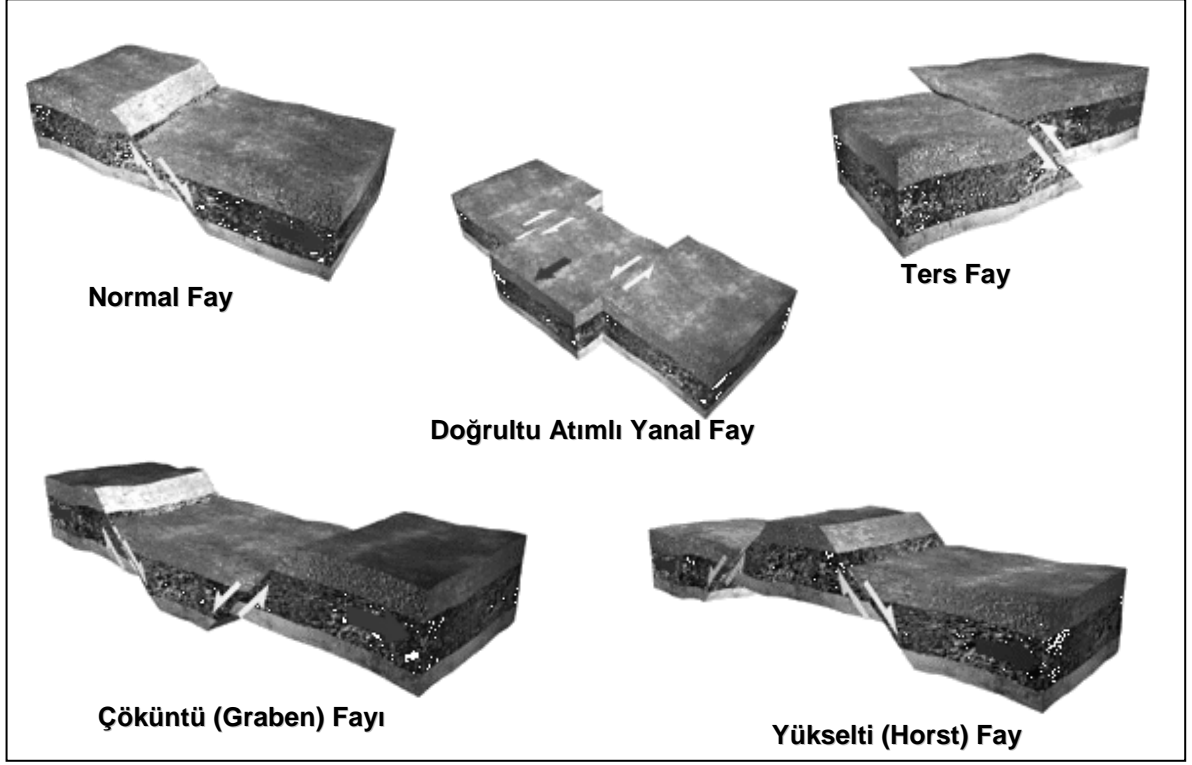
Yerkabuğunda farklı yönlerde gelişen gerilmelerin nedeni levha hareketleridir. Özellikle birbirine yaklaşan levha sınırlarının çevresinde gelişen gerilmeler de yerkabuğunun bir düzlem boyunca kırılmasına yani faylara neden olmaktadır (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. (a) Fay oluşumu (b) Kaliforniya fay hattı

Kırılan blokların hareketlerine göre faylar; normal, ters, doğrultu atımlı gibi çeşitli isimlerle adlandırılmaktadırlar. Normal ya da ters faylarda parçalardan biri ötekine göre yükselirken, doğrultu atımlı faylarda durum biraz farklı olmaktadır. Her parça fay, düzlemi (kırılma düzlemi) boyunca, herhangi bir yükselme olmaksızın farklı yönlere doğru; bazende aynı yöne ancak farklı hızlarda hareket etmektedir. Parçalardan her birinin diğerine göre hareket yönü de bu fayların sağ ya da sol yönlü bir fay olduğunu

göstermektedir. Normal faylanma arasındaki blok çökerse buna "Graben" (çöküntü), iki ayrı normal faylanma arasında bir yükselti bloğu kalırsa buna "Horst" (yükselti) adı verilmektedir (Şekil 1.12) (URL-1, 2010, URL-3, 2010; URL-26, 2010; Wdowinski, vd., 1992).

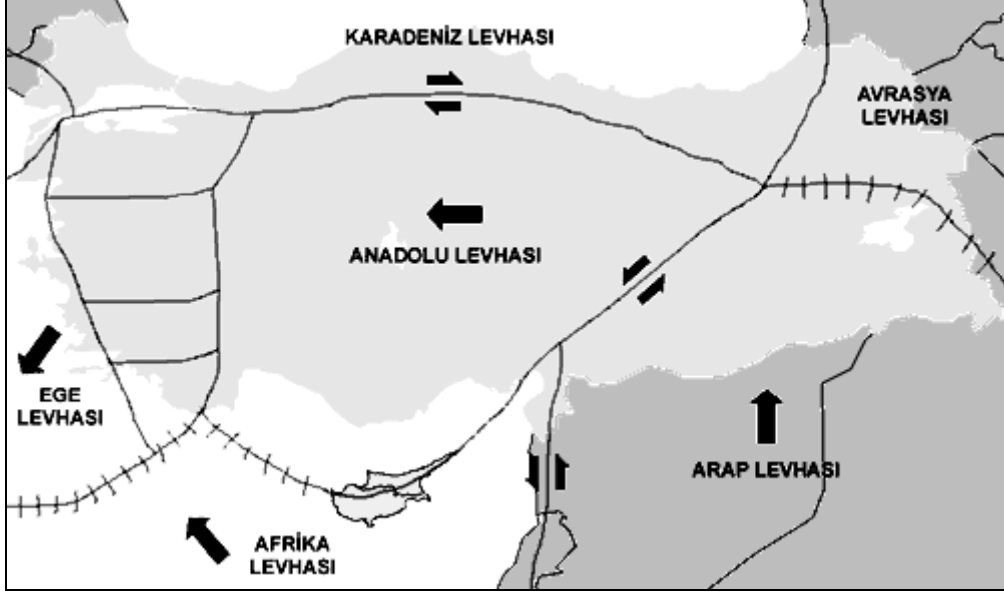


Şekil 1.12. Fay hareketleri

### 1.3.3. Türkiye'nin Tektonik Yapısı

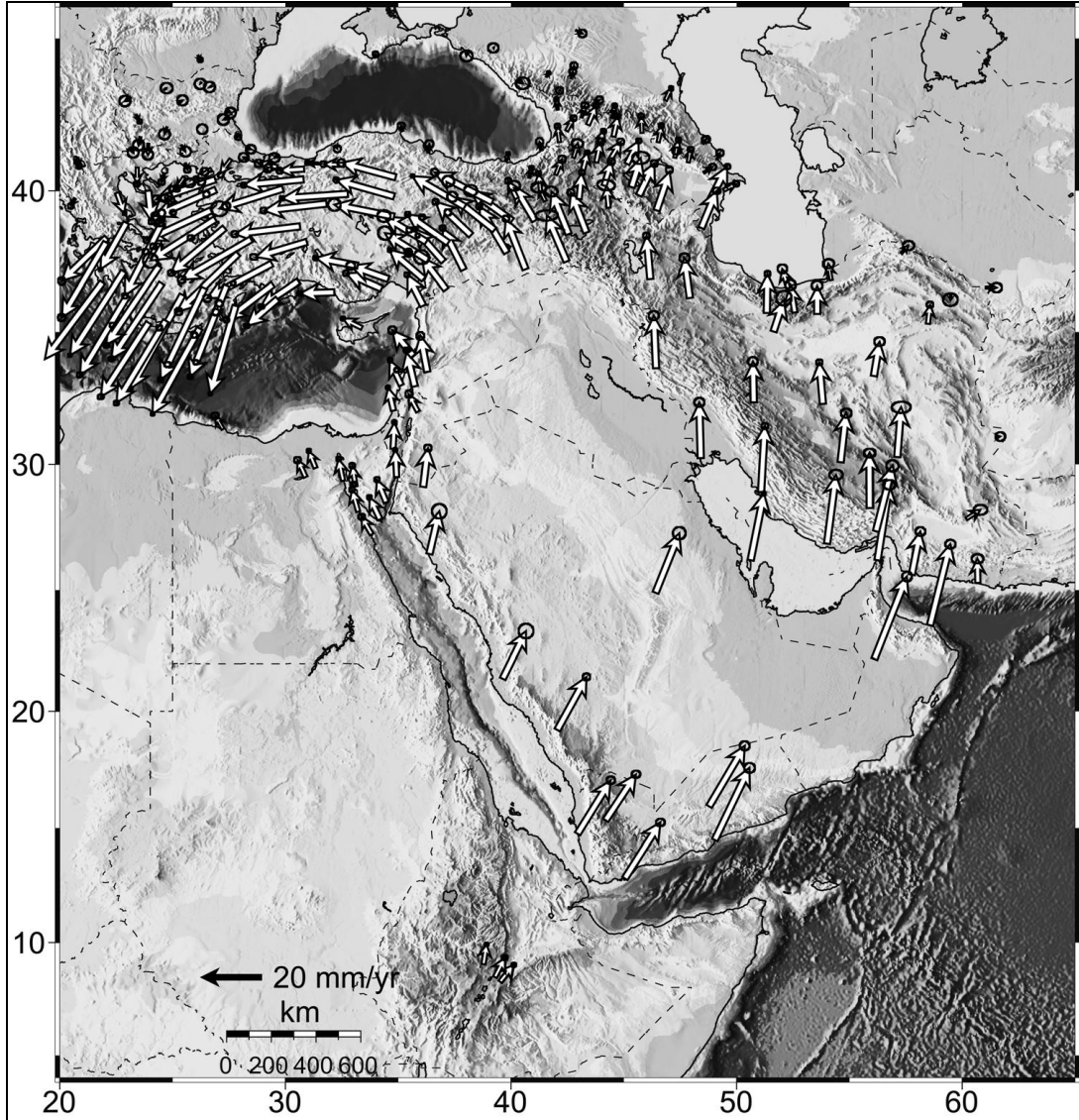
Dünya yüzeyindeki levhaların hareketleri devam ederken, üç kıta arasında bir köprü vazifesi gören Anadolu Levhası da bu hareketlenmeden etkilenmektedir. Anadolu Levhasına etki eden levhalar Afrika, Arap ve Avrasya Levhaları olarak bilinmektedir. Bu levhalar, Anadolu Levhası'nda meydana gelen hareketlenmenin başlangıcını oluşturmaktadırlar. Afrika Levhası'nın Akdeniz'de Helenik-Kıbrıs Yayı denilen bölgede, Avrasya (veya onun bir parçası olan Anadolu) levhasının altına dalması levha hareketinin bir sebebi olarak gösterilmektedir. Arap Levhası ise Kızıldeniz'deki açılma nedeniyle kuzeye doğru hareket etmekte ve Anadolu levhasını sıkıştırılmaktadır. Bu sıkıştırma sonucu Bitlis Bindirme Zonu (Bitlis Kenet Kuşağı) oluşmuştur. Sıkıştırma halen sürdüğü için, Anadolu levhası kuzey ve güneydeki fay hatları boyunca batıya doğru hareket etmektedir

(Selim H.H., vd., 2006; Bektaş, ve Eyüboğlu, 2003; Özener, 2004). Türkiye'deki levha hareketleri ve doğrultuları (Şekil 1.13)'te gösterilmektedir.



Şekil 1.13. Türkiye'deki levha hareketleri ve doğrultuları

(Şekil 1.13)'de görüldüğü gibi Anadolu Levhası Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay kuşakları arasındaki doğu bölümünden batıya doğru hareket etmektedir. Bu yer değiştirme Kuzey Anadolu Fay (KAF) kuşağı boyunca gelişirken, Anadolu Levhası Ege Denizi yönünde kaymakta ve kuzeydeki Karadeniz Levhasının da göreceli olarak doğu yönde hareket etmektedir. Yakın zamanda Anadolu'nun çeşitli kesimlerinde yapılan GPS ölçme ve değerlendirme sonucu Türkiye'yi etkileyen bu levhaların hareket hızları belirlenmiştir (Şekil 1.14) (Lenk, vd., 2003; Özener, vd., 2005; Ross, vd., 1997).

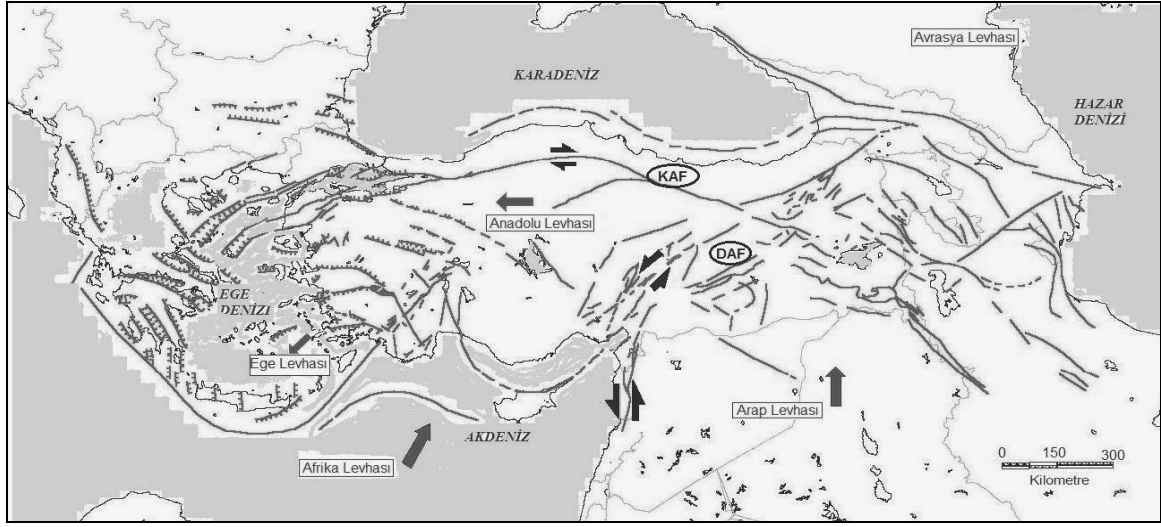


Şekil 1.14. Avrasya, Afrika ve Arap Levhalarında yapılan GPS oturumlarından elde edilen hız vektörleri (McClusky vd., 2000)

(Şekil 1.14)'te de görüldüğü gibi Arap Yarımadası her yıl  $18 \pm 2$  mm saat yönünün tersi istikametinde hareket ettiği görülmektedir. Buna bağlı olarak Anadolu, Kuzey Anadolu Fayı boyunca yılda  $24 \pm 2$  mm, Doğu Anadolu fayı boyunca yılda  $9 \pm 2$  mm batıya hareket etmektedir. Batı Anadolu ise yılda  $30 \pm 1$  mm güneybatıya hareket etmektedir (McClusky vd., 2000; McClusky vd., 2006).

Tektonik olarak hareketli bir coğrafyada yer alan Türkiye'de başlıca tektonik yapıyı Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Doğu Anadolu Fayı (DAF) ve Ege Graben Bölgesini oluşturan Batı Anadolu Fayı (BAF) oluşturmaktadır (Şekil 1.15).





Şekil 1.15. Türkiye’deki levha hareketleri ve faylar

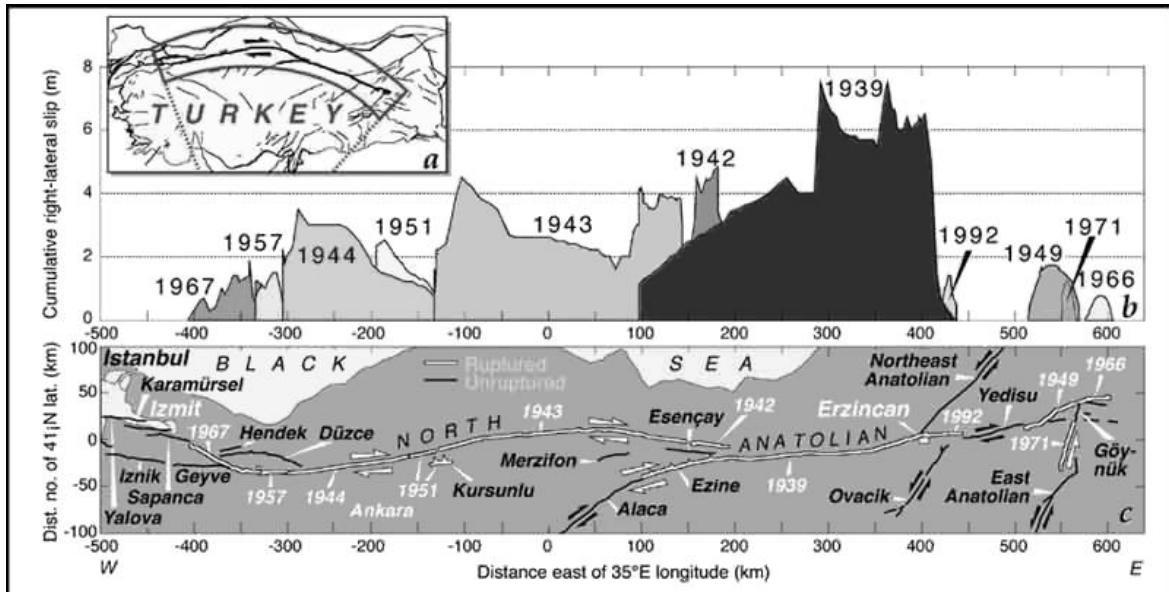
Anadolu Levhası’nın kuzey sınırını oluşturan KAF; Saroz Körfezi’nden başlamakta, Marmara Denizi, Sapanca Gölü, Adapazarı, Tosya ve Erzincan üzerinden Van Gölü’nün kuzeyine kadar uzanmaktadır. Anadolu Levhası’nın doğu sınırını oluşturan DAF; Hatay grabeninden başlamakta, Kahraman Maraş, Adıyaman, Malatya ve Elazığ ovalarından geçerek Bingöl’e kadar uzamaktadır. Anadolu Levhası’nın batı sınırını oluşturan BAF ise Ege Bölgesi’nde, kuzeyden güneye doğru uzanan çok sayıdaki fay hatlarından oluşmaktadır. Bu fay hatlarından en hareketlisi Karadeniz plakasından Anadolu plakasını ayıran KAF’dır. KAF, dünyanın en hızlı hareket eden ve en aktif sağ-yanal atımlı faylarından biridir (Şekil 1.16) (Özener, 2004; Özener, vd., 2005; URL-27, 2009; McClusky vd., 2000, McClusky vd., 2006).



Şekil 1.16. KAF’dan bir görünüm (URL-6, 2009)

KAF Karadeniz kıyısının 100 km. kadar güneyinde olup yaklaşık kıyıya paralel olarak uzanmaktadır. Fay zonu Doğu Anadolu'daki Karlıova'dan başlar ve 1500 km. uzunluğu boyunca kuzey Anadolu'dan Yunanistan'a doğru uzanmaktadır. Fay Akyazı (Adapazarı)-Göynük (Bolu) arasında iki kola ayrılmaktadır. Kuzey kol Sapanca Gölü yolu ile İzmit Körfezi (güneyi) ve Marmara Denizi'ne girmekte, Gaziköy'de yeniden yüzeyde izlenmekte ve Saros Körfezi'ni sınırlayıp Kuzey Ege Çukurluğu içine dalmaktadır. Fayın güney kolu İzmit Gölü yolu ile Gemlik Körfezi'ne ulaşmakta ve İzmit dolaylarında yeniden iki kola ayrılarak Ege Denizi orta bölümlerine ulaşmaktadır (Açıkgöz, vd., 2005; Aydan, 2000; Özener, 2004; Özener, vd., 2005; URL-27, 2009; McClusky vd., 2000, McClusky vd., 2006.).

KAF'da zaman zaman şiddetli ve yıkıcı depremlere neden olan yatay kayma hareketleri oluşmaktadır. 1939 ile 1967 yılları arasında meydana gelmiş olan yatay kayma hareketlerinin miktarı toplam olarak 18 metreyi bulmuştur (Şekil 1.17) (Ross vd., 1997).



Şekil 1.17. KAF'da oluşan depremler (Ross, vd., 1997)

(Şekil 1.17)'de görüldüğü gibi 1939 yılında oluşan ve magnitudü 8 olan Erzincan depreminden 1967 yılına kadar oluşan depremlerde ölçülen fay parçalarının boyları 40 km ile 340 km arasındadır. Bu depremlerde oluşan yatay yer değiştirme büyüklükleri 1.5 m ile 7.8 m; düşey yer değiştirme büyüklükleri de 0,40 m ile 2 m'dir (Ross vd., 1997).

#### 1.4. Uluslararası GPS Servisi (IGS: International GPS Service)

Global konum belirleme sistemi (GPS) 1980'lerin sonlarından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. ABD Savunma Bakanlığı tarafından dünyanın her yerinde askeri amaçlı olarak tesis edilmiş GPS, uydulara yapılan gözlemler yardımıyla konum belirleme sistemidir. Son yıllarda GPS'in bir çok mühendislik alanındaki kullanımı askeri amacının çok ilerisine geçmiştir. Bugün dünyada haritacılar başta olmak üzere konum bilgisine ihtiyacı olan tüm bilim dalları ve uygulamaya dayanan iş kolları hızlı ve doğru konum bilgisi elde etmek için GPS'i kullanmaktadır. GPS, jeodezik ölçme, Coğrafik Bilgi Sistemleri (CBS) için veri toplama, navigasyon, ulaşım, uzaktan algılama, hidroloji gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Kılıçoğlu, vd., 2004; Sezer, 2008; Aktuğ, 2005).

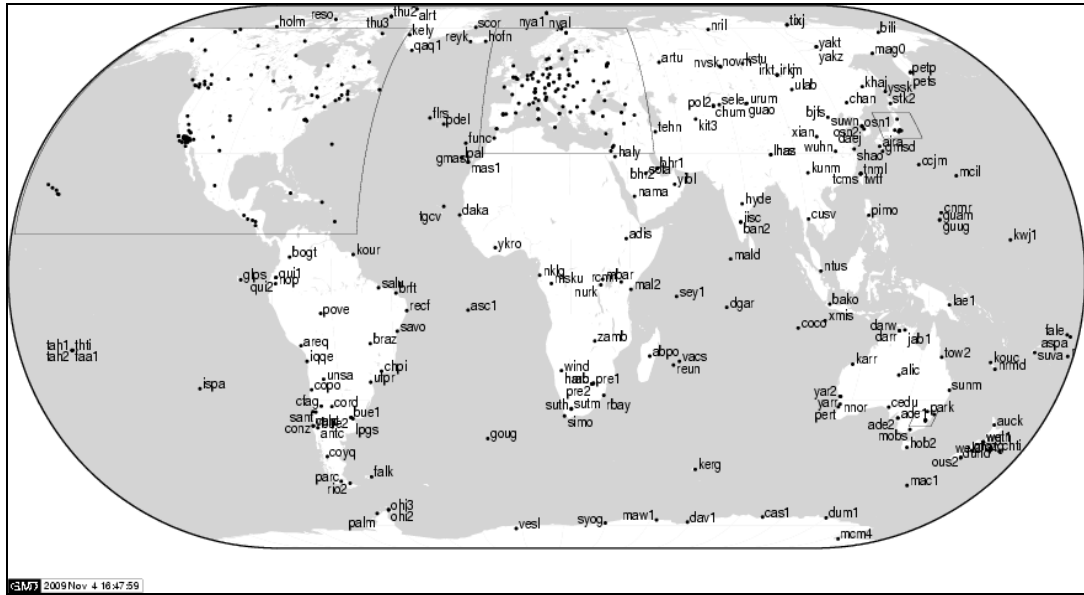
Günümüzde gelişen ve çeşitlilik kazanan GPS uygulamaları karşısında bilimsel kurumlar da GPS verisinin uluslararası standartlarda toplanıp değerlendirilmesi, sistemin herkes tarafından çok daha kolay kullanılan, çok yönlü bir global izleme sistemi haline getirilmesi için çalışmalarına devam etmektedirler. Bu yönde çalışma yapan kurumlardan biri de Uluslararası GPS Servisi (IGS, International GPS Service)'dir. Uluslararası GPS Servisi; GPS veri ve veri ürünlerini kullanarak jeodezik ve jeofiziksel araştırmaları destekleyen ve bu konular ile ilgili olarak standart belirleme çalışmaları yapan uluslararası bir kurumdur. FAGS (Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Service)'in tanınmış bir üyesi olan ve IERS (International Earth Rotation Service) ile de çok yakın çalışma ilişkisi bulunan IGS, IAG (International Association of Geodesy) tarafından 1993 yılında tanımlanmış ve jeofizik araştırmalara destek vermek üzere GPS yörüngeleri, izleme verileri ve ürünlerini sağlamak amacıyla 1 Ocak 1994'de işletilmeye başlanmıştır (URL-2, 2009; URL-7, 2010; URL-12, 2009).

1989 yılında planlama aşamasında başlayan IGS, 1995 yılından beri, sabit ve sürekli çalışan, GPS uydularından gönderilen sinyalleri alıp kayıt edebilen istasyonlardan oluşmaktadır. IGS, bilimsel çalışmalar, jeodezik ve jeofizik uygulamalarında yeterli doğrulukta kullanılacak GPS ölçülerinin toplanması, arşivlenmesi ve dağıtım görevini üstlenmiştir. IGS toplamış olduğu bu verilere dayanarak birtakım veriler üretmektedir. İlgili kullanıcılar bu veri ve ürün gruplarını internet aracılığıyla elde edebilmektedir. Bu veri ve ürün grupları; GPS ve GLONASS (**G**LObal **N**avigation **S**atellite **S**ystem) uydu efemerisleri, Dünya dönme parametreleri, IGS izleme istasyonu koordinatları ve hızları, GPS uydu ve IGS izleme istasyonları saat bilgisi, başucu (zenit) doğrultusu gecikme

tahminleri, global iyonosferik haritalardan oluşmaktadır (URL-18, 2009; Aydın, vd., 2004; Aydın, vd., 2004; Engin, 2007)

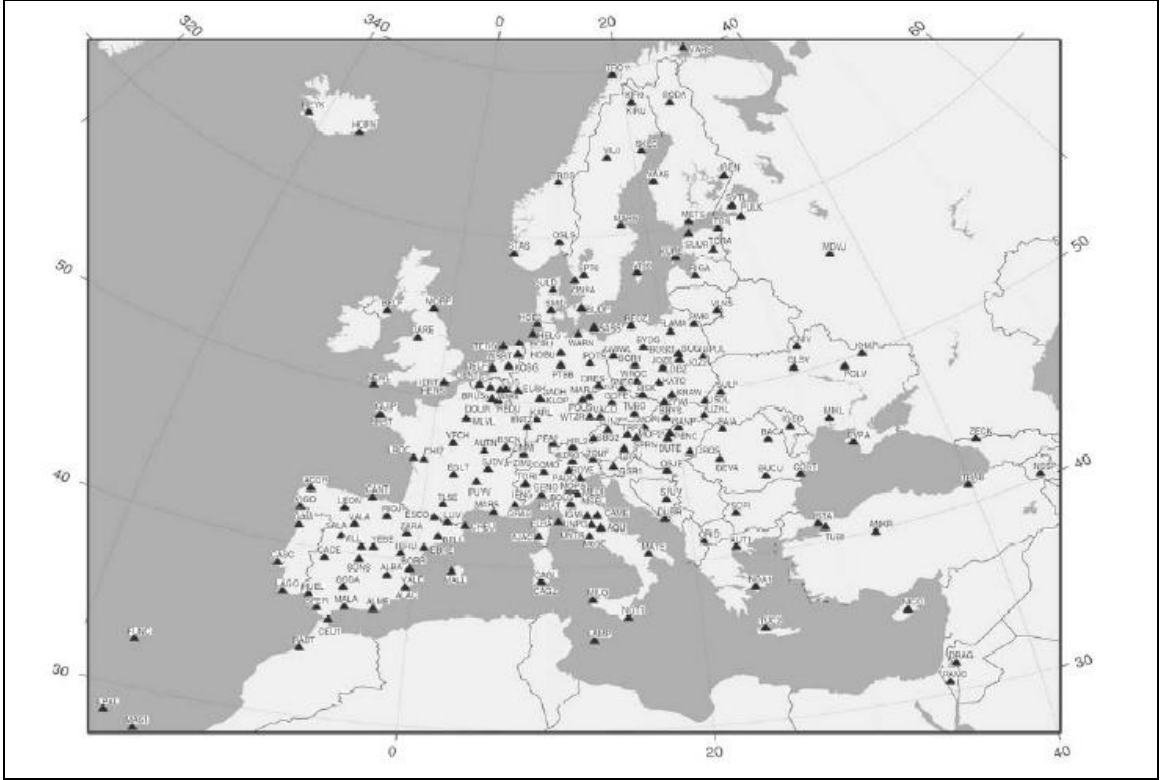
### 1.4.1. IGS İstasyonlarının Yapısı

IGS; uluslararası yönetim kurulu, merkezi bilgi sistemi bürosu CBIS (Central Bureau Information Systems), sürekli işleyen çift frekanslı alıcılara donatılmış GPS istasyonundan oluşan uluslararası bir ağ, bir düzineden fazla bölgesel ve işletimsel veri merkezi, üç global veri merkezi, yedi analiz merkezi ve çok sayıda yardımcı ve bölgesel analiz merkezleri gibi pek çok sayıda bileşenden oluşmaktadır (kaynak: Zumberge, vd., 1997). Dünya üzerine dağılmış IGS'e ait istasyon noktalarından oluşmuş bir GPS ağı mevcuttur (Şekil 1.18).



Şekil 1.18. Dünya üzerindeki IGS istasyonları (URL-7, 2010)

Dünya üzerindeki sayıları 250'yi bulan IGS istasyonlarından 4 tanesi ülkemizde bulunmaktadır. Bu istasyonlar; Ankara'da Harita Genel Komutanlığı idaresindeki ANKR, İstanbul'da İstanbul Teknik Üniversitesi Jeodezi Anabilim Dalı idaresindeki ISTA, Gebze'de TÜBİTAK idaresindeki TUBİ ve Trabzon'da Karadeniz Teknik Üniversitesi idaresindeki TRAB noktalarından oluşmaktadır. Ayrıca ülkemizdeki IGS istasyonlarının hepsi EUREF'e dâhildir (Şekil 1.19) (URL-7, 2010; URL-9, 2009).



Şekil 1.19. Avrupa'daki IGS istasyonlarının dağılımları (URL-7, 2010).

İzleme istasyonlarından elde edilen veriler 3 global veri merkezinde ve 6 bölgesel veri merkezinde arşivlenmektedir. 8 ayrı analiz merkezinde, söz konusu veriler düzenli olarak değerlendirilmekte ve merkez analiz koordinatörüne gönderilmektedir. Burada irdelenerek toplanan veriler, her gün IGS bünyesindeki Analiz Merkezlerine gönderilmekte ve değerlendirildikten sonra sivil kullanıcılara sunulması için Küresel Veri Merkezlerinde (Global Data Centers) arşivlenmektedirler (URL-7, 2010; URL-9, 2009).

Yeryuvarındaki IGS noktaları farklı bölgelerde yer almaktadır. Bu nedenle noktalar bölgelere göre ayrılmış ve bölgesel istasyonlara ait verilerin analizi, farklı veri merkezleri tarafından o bölgenin bölgesel etkenleri dikkate alınarak yapılmaktadır.

#### 1.4.2. IGS İstasyonlarının Görevleri

IGS'in birinci görevi; GPS veri ürünleri ile jeodezik ve jeofiziksel araştırma faaliyetlerine desteklemek için bir sağlayıcı olmaktır. İkinci görevi ise GPS uygulamalarında çok büyük gelişmelerden haberdar olarak hükümetlerin veya seçilmiş ticari organizasyonların sergilediği geniş bir yelpazeyi içeren işletimsel faaliyetlere destek

sağlamaktır. Servis ayrıca gerekli standartları/şartnameleri geliştirmekte ve uluslararası bağlılığı bu kurallar ile teşvik etmektedir. Bu bağlamda IGS'in temel görevlerinin;

- Global Koordinat Sistemlerinin oluşturulmasına altlık teşkil etme,
- Global deformasyonların izlenmeleri açısından zengin veri sağlama,
- Uydu yörüngelerini, okyanus yüklerini, yer dönüklük parametrelerini tespit etme,
- Troposfer ve iyonosferi izleme,
- Mühendislik uygulamaları ve bilimsel çalışmalara yönelik yeterli doğrulukta GPS gözlem verilerini arşivleme ve kullanıcılara sunma olduğu söylenebilir (URL-2 , 2009; URL-7, 2010; URL-10, 2010; Şanlıoğlu, ve İnal, 2004; Sezer, vd., 2009).

(Tablo 1.2)'de IGS ürünlerinin doğrulukları, gecikme, yenileme oranları, ölçü aralığı ile arşivleyen kurumların bir listesi görülmektedir.

Tablo 1.2. IGS Ürünleri (URL-8, 2010; Şanlıoğlu, ve İnal, 2004; Şanlıoğlu, ve İnal, 2005)

GPS Uydu Efemerisleri/Uydu & İstasyon Saatleri		Doğruluk	Gecikme	Yenileme	Ölçü Aralığı	Arşivleyen Kurumlar
Yayın Efemerisi	Yörüngelerin	~200 cm	anlık	--	günlük	CDDIS SOPAC IGN
	Uydu Saatlerinin	~7 ns				
Ultra-Hızlı (kestirilen kısım)	Yörüngelerin	~10 cm	anlık	günde dört defa	15 dakika	CDDIS SOPAC IGN IGS CB
	Uydu Saatlerinin	~5 ns				
Ultra-Hızlı (gözlenilen kısım)	Yörüngelerin	<5 cm	3 saat sonra	günde dört defa	15 dakika	CDDIS SOPAC IGN IGS CB
	Uydu Saatlerinin	~0.2 ns				
Hızlı	Yörüngelerin	<5 cm	17 saat sonra	günlük	15 dakika	CDDIS SOPAC IGN IGS CB
	Uydu ve istasyon saatlerinin	<0.1 ns			5 dakika	
Son	Yörüngelerin	5 cm	~13 gün sonra	haftalık	15 dakika	CDDIS SOPAC IGN IGS CB
	Uydu ve istasyon saatlerinin	0.1 ns			5 dakika	
(Not 1: Kestirilen yörüngeler hariç, IGS doğruluk limitleri bağımsız lazer mesafe Ölçme sonuçlarıyla karşılaştırmaya bağlıdır. Hızlı ve son yörüngelerin doğruluğu daha iyidir) (Not 2: Tüm saatlerin doğruluğu, IGS bir günlük bölümlerde GPS zamanına doğrusal olarak yaklaşıtırlan IGS zaman ölçeğine bağlıdır)						

Tablo 1.2'nin devamı

<b>GLONASS Uydu Efemerisleri</b>						
Son		30 cm	~4 hafta sonra	haftalık	15 dakika	CDDIS
IGS izleme istasyonlarının Jeosentrik Koordinatları						
Son konumlar	Yatav	3 mm	12 gün sonra	haftalık	haftalık	CDDIS SOPAC IGN
	Düşey	6 mm				
Son hızlar	Yatav	2 mm/yıl	12 gün sonra	haftalık	haftalık	CDDIS SOPAC IGN
	Düşey	3 mm/yılda				
Dünya Dönme Parametreleri Kutup Hareketi (PM) Kutup Hareketi Oranları (PM rates) Gün Uzunluğu (LOD)						
Ultra-Hızlı (kestirilen kısım)	PM	0.3 mas	anlık	Günde dört defa	6 saat (00.06.12.18 UTC)	CDDIS SOPAC IGN IGS CB
	PM rate	0.5 mas/günde				
	LOD	0.06 ms				
Ultra-Hızlı (gözlenen kısım)	PM	0.1 mas	3 saat sonra	günde dört defa	6 saat (00,06,12.18UTC)	CDDIS SOPAC IGN IGS CB
	PM rate	0.3 mm/günde				
	LOD	0.03 ms				
Hızlı	PM	<0.1 mas	17 saat sonra	günlük	Günlük (12 UTC)	CDDIS SOPAC IGN IGS CB
	PM rate	<0.2 mas/günde				
	LOD	0.03 ms				
Son	PM	0.05 mas	~13 gün sonra	haftalık	Günlük (12 UTC)	CDDIS SOPAC IGN IGS CB
	PM rate	<0.2 mas/günde				
	LOD	0.02 ms				
(Not: IGS, uzun terimli LOD (Length Of Day) hatalarını kalibre etmek için IERS Bülten A'dan VLBI sonuçlarını kullanır.)						
<b>Atmosferik Parametreler</b>						
Son troposferik başucu doğrultusu gecikmeli	4 mm	< 4 hafta sonra	haftalık	2 saat		CDDIS SOPAC IGN
Ultra-Hızlı troposferik başucu doğrultusu gecikmesi	6 mm	2-3 saat sonra	3 saatte bir	1 saat		CDDIS
İyonosferik TEC gridi	2-8 TECU	~11 gün sonra	haftalık	2 saat; 5° (boylam) x2.5° (enlem)		CDDIS IGN
Hızlı iyonosfer ürünleri (Gelişme aşamasında)						
CDDIS (US-MD) JGN (EK); IGS CB (US-CA); SOPAC (US-CA)						

Elde edilen bu verilerin kullanım alanları;

- ITRF sisteminde tüm IGS istasyonlarının koordinatları ve hızlarının tespit edilmesi,
- ITRFY (YY= Yıl= t epoch'u)'in geliştirilmesi, sıklaştırılması ve global olarak erişimin sağlanması,
- ITRF'in tanımlanması, sıklaştırılması ve güncellenmesi,
- Global ve bölgesel yerkabuğu hareketlerinin izlenmesi,
- Hidrosferdeki değişimlerin izlenmesi,
- Bilimsel uydu yörüngelerinin hesaplanması,
- İyonosferin izlenmesi, araştırılması ve belirlenmesi,
- Çökebilir su buharı ölçmelerinin düzeltilmesi,
- İklimsel araştırmalar ve devamındaki hava tahminlerinin yapılması,
- Yeryuvarının dönme hareketlerinin incelenmesi,
- Yeni oluşturulacak ülke GPS koordinat sistemlerine altlık oluşturma olarak sıralanabilir (URL-12, 2009).

### **1.4.3. IGS Veri Organizasyonu**

Uluslararası GPS servisi,

- İzleme istasyonları
- İşletim merkezleri
- Veri merkezleri
- Analiz merkezleri ve ortak analiz merkezleri
- Merkezi bilgi sistemi bürosu

gibi bileşenlerden oluşmaktadır (Şekil 1.20).





Şekil 1.20. IGS organizasyon şeması (URL-12, 2009).

- İzleme İstasyonları

IGS sadece IGS'in yararı ve kullanımı amaçlı kurulum ve işletim bileşenlerinden oluşmaz, aynı zamanda mevcut istasyon ve merkezlerden mümkün olan en olası yardımı da almaktadır. Katkıda bulunan istasyonların çoğu, ABD'de NGS yönetiminde CORS ağı (Continuously Operating Reference Stations), Avustralya Sabit GPS Ağı gibi yerel ağların bir parçasıdır. Bu tür istasyonların verileri genellikle işleme merkezince toplanmakta, RINEX formatına yeniden dönüştürülerek, yerel veri merkezi yardımıyla (yerel) kullanıcıya verilebilmektedir. IGS istasyonlarından toplanan bu veriler daha sonra IGS veri merkezine gönderilmektedir (Şanlıoğlu ve İnal, 2004; Şanlıoğlu ve İnal, 2005; Yıldırım vd., 2007).

Bazı alanlarda tüm bölgeyi kapsayan sabit istasyonlar ağı bireysel istasyonların sayısına ek olarak yerel ağ istasyonlarının seçimiyle oluşacak şekilde organize edilmektedir. Bireysel istasyonların verileri doğrudan kendi yerel veri merkezi vasıtasıyla diğer istasyonlara ait verilerin bulunduğu bölgesel veri merkezine gönderilmektedir. Bölgesel ağa örnek tüm Avrupa kıtasını kapsayan EUREF (EUropean REference Frame) sabit GPS ağı EPN (European Permanent Network) verilebilir. EUREF kendi analiz merkezine, bilgi sistemine ve ağ koordinatörüne sahiptir (URL-9, 2009; Şanlıoğlu ve İnal, 2005).

IGS, global ürünler ve hız açısından istasyonları global, bölgesel ve yerel istasyon olmak üzere üçe ayırır. Global istasyonlar; analiz merkezlerinden en az biri farklı kıtada olmak kaydıyla iki IGS analiz merkezinden daha fazla merkezden analiz edilen istasyonlardan oluşmaktadır. Bu global amaçlı istasyonların verileri global veri merkezinde mevcut olmalıdır. IGS global ve bölgesel amaçlı bütün istasyonların kayıtlarını tutmaktadır (Kurt, vd., 2005; Kahveci ve Yıldız, 2001; Dach vd., 2007).

- İşletim Merkezleri

İşletim merkezleri istasyonlara idari ve teknik destek konusunda güvence vererek, genellikle ham veriyi yeniden dönüştürmek suretiyle izleme istasyonlarının bulunduğu (yerel) ağı işletiminden sorumlu kurumlardır. Bireysel istasyonlar bu görevleri kendileri yapmaktadırlar (Tablo 1.3) (URL-2, 2009; URL-7, 2010; URL-8, 2010; URL-10, 2009; Şanlıoğlu ve İnal, 2004; Dach, vd., 2007)

Tablo 1.3. Avrupa'daki IGS İşletim Veri Merkezleri (Dach, vd., 2007)

Veri Merkezinin Adı, Ülkesi	Kısaltma	Web Adresi
Centre National d'Etudes Spatiales, Fransa	CNES	<a href="http://www.cnes.fr">http://www.cnes.fr</a>
Delft University of Technology, Hollanda	DUT	<a href="http://www.geo.tudelft.nl">http://www.geo.tudelft.nl</a>
European Space Operations Center, Almanya	ESA	<a href="http://nng.esoc.esa.de">http://nng.esoc.esa.de</a>
GeoForschungsZentrum, Almanya	GFZ	<a href="http://www.gfz-potsdam.de">http://www.gfz-potsdam.de</a>
Geographical Survey Institute, Japonya	GSI	<a href="http://www.gsi-mc.go.jp">http://www.gsi-mc.go.jp</a>
Italian Space Agency, İtalya	ASI	<a href="http://geodaf.mt.asi.it">http://geodaf.mt.asi.it</a>
Norwegian Mapping Authority, Norveç	SK	<a href="http://www.starkart.no">http://www.starkart.no</a>
RDAAC-IRIS, Rusya	RDAAC	<a href="http://gps.gsras.ru">http://gps.gsras.ru</a>

- Veri Merkezleri

Veri merkezleri; kullanıcı ismi/şifre ile korunmuş veya anonim (herkese açık), ftp yolu ile kullanıcılara her bir istasyonun izleme verilerini elde edebilme olanağı sağlamaktadırlar. IGS global, bölgesel ve yerel veri merkezlerini birbirinden ayırmaktadır. IGS'nin içinde IGS rehberliğinde hareket eden bölgesel veri merkezlerin bir adetini ve global istasyonların verisini her birini toplayıp yeniden kullanıma sunan üç adet global veri

merkezi bulunmaktadır (Tablo 1.4, Tablo 1.5) (URL-2, 2009; URL-7, 2010; URL-8, 2010; URL-10, 2009; Şanlıoğlu ve İnal, 2004; Dach, vd., 2007).

Tablo 1.4. IGS global veri merkezleri (Dach, vd., 2007)

Veri Merkezi Adı, Ülkesi	Kısaltma	Web Adresi
Crustal Dynamics Data Information System, NASA, GSFC, ABD	CDDIS	<a href="http://cddisa.gsfc.nasa.gov">http://cddisa.gsfc.nasa.gov</a> <a href="ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/pub/gps/gpsdata">ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/pub/gps/gpsdata</a>
Institut Geographique National, Fransa	IGN	<a href="http://igs.ensg.ign.fr">http://igs.ensg.ign.fr</a> <a href="ftp://igs.ensg.ign.fr/pub.igs/data">ftp://igs.ensg.ign.fr/pub.igs/data</a>
Scripps Institution of Oceanography, ABD	SIO	<a href="http://sopac.ucsd.edu">http://sopac.ucsd.edu</a> <a href="ftp://lox.ucsd.edu/pub/rinex">ftp://lox.ucsd.edu/pub/rinex</a>

Tablo 1.5. IGS' nin Avrupa'daki veri merkezleri (Dach, vd., 2007)

Veri Merkezi Adı, Ülkesi	Kısaltma	Web Adresi
Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Almanya	BKG (IFAG)	<a href="http://www.ifag.de">http://www.ifag.de</a> <a href="ftp://igs.ifag.de/IGS/obs">ftp://igs.ifag.de/IGS/obs</a>
RDAAC-IRIS, Rusya	RDAAC	<a href="http://gps.gsras.ru">http://gps.gsras.ru</a>

- Analiz ve Yardımcı Analiz Merkezleri

IGS analiz merkezleri; en azından global istasyonların rutin analizini sergiler ve hassas yörünge bilgisi, Dünya dönme parametreleri, istasyon koordinatları ve hızları gibi arzu edilen bilgileri üretmektedir. Ürünlerin bireysel çözümleri resmi IGS ürünleri içinde birleştirilerek IGS analiz merkezleri ve bilgi sistemi vasıtasıyla kullanıcılara sunulmaktadır. Yardımcı analiz merkezleri, ürünlerin kombinasyonlarını veya bölgesel referans sisteminin tanımlanmasını ve spesifik analizleri gerçekleştirmektedirler (Tablo 1.6, Tablo 1.7) (URL-2, 2009; URL-7, 2010; URL-8, 2010; URL-10, 2009; Şanlıoğlu ve İnal, 2004; Dach, vd., 2007).

Tablo 1.6. IGS' nin Avrupa'daki analiz merkezleri (Dach, vd., 2007)

Merkezin Adı, Ülkesi	Kısaltma	Web Adresi
Center for Orbit Determination in Europe, AIUB, İsviçre	CODE	<a href="http://www.cx.unibe.ch/aiub/igs.html">http://www.cx.unibe.ch/aiub/igs.html</a>
European Space Operations Center, ESA, Almanya	ESOC	<a href="http://nng.esoc.esa.de/gps/gps.html">http://nng.esoc.esa.de/gps/gps.html</a>
GeoForschungsZentrum, Almanya	GFZ	<a href="http://www.gfz-potsdam.de/pb1/IGS/IGS.html">http://www.gfz-potsdam.de/pb1/IGS/IGS.html</a>

Tablo 1.7. Global referans sistemi için çalışan global ağ ile ilişkili analiz merkezleri (Dach, vd., 2007)

Merkezin Adı, Ülkesi	Web Adresi
University of Newcastle-upon-Tyne, İngiltere	<a href="http://www.ncl.ac.uk">http://www.ncl.ac.uk</a>
Earth Atmospheric and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology, ABD	<a href="http://www-gpsg.mit.edu/~tah">http://www-gpsg.mit.edu/~tah</a>

- Merkezi Bilgi Sistemi Bürosu

Merkezi bilgi sistemi bürosu (CBIS), IGS izleme istasyonu olarak onaylanmış her bir istasyonun kayıtlarını (<ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/log>) muhafaza etmekte ve IGS ürünlerine erişilmesini sağlamaktadır. CBIS, JPL (**J**et **P**ropulsion **L**aboratory)'de konuşlandırılmıştır. Bu büro, kullanıcının gereksinim duyduğu, IGS'nin sağladığı servislere ait tüm bilgiyi içermektedir. Sistem bir web sitesi (<http://igscb.jpl.nasa.gov/index.htm>) ve (<ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb>) ftp sunucusundan oluşmaktadır. ftp sunucu Avrupa'da bulunan IGN'deki global veri merkezi ile (<ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igscb>) bire bir aynıdır. CBIS;

- Hassas yörünge bilgisi ve Dünya dönme parametreleri gibi bazı IGS ürünlerini elde edebilme olanağını sağlar;
- Veri merkezlerinin iletişim adresleri, veri ve kurs organizasyonu, erişim bilgisi (eğer halka açık ise) gibi siteler hakkında bilgiler içerir;

- IGS'in veri merkezleri günlük olarak elde edilen gerçek verilerin standart hale getirilmiş dosyalarını üretir ve yeniler;
- Aynı zaman periyotlarında IGS veri merkezince toplanan, istasyonlara ait verileri gösteren aylık ve yıllık özet veri dosyalarını üretir (URL-2, 2009; URL-7, 2010; URL-8, 2010; URL-10, 2009; Şanlıoğlu ve İnal, 2004; Dach, vd., 2007).

#### 1.4.4. IGS Ürünleri Veri Formatı

IGS izleme istasyonlarının yüksek doğruluklu alıcılar ile devamlı olarak kaydettiği GPS gözlemleri (uydu yörünge, uydu izleme ve diğer yüksek kaliteli GPS verisi gibi) ve ilintili gözlemler (meteorolojik gözlemler gibi) çeşitli iletişim yollarıyla (internet, radyo-modem, telefon, inmarsat, V-sat vb.) günde en az bir kez veri merkezlerince ilgili istasyonlardan toplanmaktadır. Toplanan verilerin kalitesi; gözlem sayısının, gözlenen uydu sayısının, ilk ve son kayıtların tarih ve zamanının kontrol edilmesiyle onaylanmaktadır. Veri grupları daha sonra ham alıcı veri formatından farklı genel bir format olan ve alıcıdan bağımsız format olarak tanımlanan RINEX veri formatına çevrilip sıkıştırılır. Değerlendirme merkezlerince veri merkezlerinden alınan tüm veriler değerlendirilir ve değerlendirme sonucunda bazı ürünler (GPS efemeris, istasyon koordinatları, yeryuvarı dönme parametreleri vb.) elde edilip tekrar veri merkezlerine gönderilir. Veri merkezleri daha önceden sıkıştırdıkları verilerle birlikte değerlendirme merkezinden alınan ürünleri dünyanın her tarafındaki kullanıcılar için karşılıksız olarak internetten erişime sunarlar. IGS istasyonlarının bazıları (<http://www.unavco.ucar.edu/software/teqc/teqc.html>) adresinde bulunan TEQC (Translate Edit Quality Check) kalite kontrol yazılımı ile dosyada rapor edilen yazılımın çıktısını özet dosyalar olarak günlük yayımlar. IGS istasyonlarına ait tüm bilgiler “<ftp://igs.ifag.de>” arşivinde bulunabilir. “<ftp://igs.ifag.de/gpsdata>” arşivinden ise istasyonlar seçilerek, seçilen istasyonun kaydettiği günlük verilere ulaşılabilmektedir. Bu arşivden bir istasyona ait herhangi bir gündeki gözlemleri içeren dosyalar bilgisayara kopyalanabileceği gibi haftalık ve saatlik verilerin yayınlarını yapan istasyon ve analiz merkezleri de bulunmaktadır. (Tablo 1.8)'de veri yapılarının zamana bağlı olarak isimlendirilmiş dataları ve dosya biçimleri gösterilmiştir (URL-2, 2009; URL-7, 2010; URL-8, 2010; URL-10, 2009; Şanlıoğlu ve İnal, 2004; Dach, vd., 2007).

Tablo 1.8. IGS ürünlerine ait veri formatı (UNIX sistemler için) (Dach, vd. 2007)

Verinin İsmi	Formatı
RINEX Gözlem Dosyası	ssssdddf.yyD.Z
Navigasyon Mesaj Dosyası	ssssdddf.yyN.Z
Meteorolojik Dosya	ssssdddf.yyM.Z
Özet Dosya	ssssdddf.yyS.Z
Son Uydur ve Alıcı Saat Bilgileri Dosyası	IGSwwwwd.CLK.Z
Son Dünya Dönme Parametreleri Dosyası	IGSwwwwd.ERP.Z
Son Hassas Efemeris Dosyası	IGSwwwwd.SP3.Z
Haftalık Analiz Çözüm Özet Dosyası	IGSyypww.SUM.Z
Haftalık Analiz Çözüm Dosyası (Kovaryans Matrisi Dahil)	IGSyypwww.SNX.Z
Haftalık Analiz Çözüm Dosyası (Kovaryans Matrisi Hariç)	IGSyypwww.SSC.Z

(Tablo 1.8)'deki format sütununda bulunan harflerden **ssss**, 4-karakter istasyon kodunu (DOMES numarası); **ddd**, yılın gününü; **f**, dosya sıra numarasını (24 saatlik dosya için "0"); **yy**, yılın son iki basamağını; **ww**, yılbaşından itibaren hafta sayısını; **www**, GPS haftasını; **d**, haftanın gününü (Pazar "0") göstermektedir (URL-2, 2009; URL-7, 2010; URL-8, 2010; URL-10, 2009; Şanlıoğlu ve İnal, 2004; Dach, vd.,; 2007).

Herhangi bir gündeki dosyada 24 saatlik alımı içeren bilgiler olduğu için dosya boyutu oldukça büyüktür. Bu nedenle arşivlerde dosyalar "compress rinex" formatında sıkıştırılmış olarak saklanır. Sıkıştırılmış bu verileri RINEX formatına çevirmek için gerekli yazılım (crx2rnx) "ftp://igs.ifag.de/software" adresinden bulunabilir. (Tablo 1.8)'de bu yapıyı gösteren bir liste bulunmaktadır. Gözlem dosyaları, navigasyon ve meteorolojik dosyalar fazla yer kaplamamaları için, Hatanaka formatında sıkıştırılmıştır. Hassas efemeris dosyaları SP3 formatındadır.

İnternette GPS arşivinden alınan dosyalar gözlem dosyaları ile yörünge (navigasyon) dosyalarıdır. Burada önemli olan bir konu, her istasyona ait navigasyon dosyalarının bu adreste bulunmamasıdır. Böyle bir durumda navigasyon dosyasının o istasyonun verilerini değerlendiren kuruluştan alınması gerekmektedir (URL-2, 2009; URL-7, 2010; URL-8, 2010; URL-10, 2009; Şanlıoğlu ve İnal, 2004; Dach, vd., 2007).

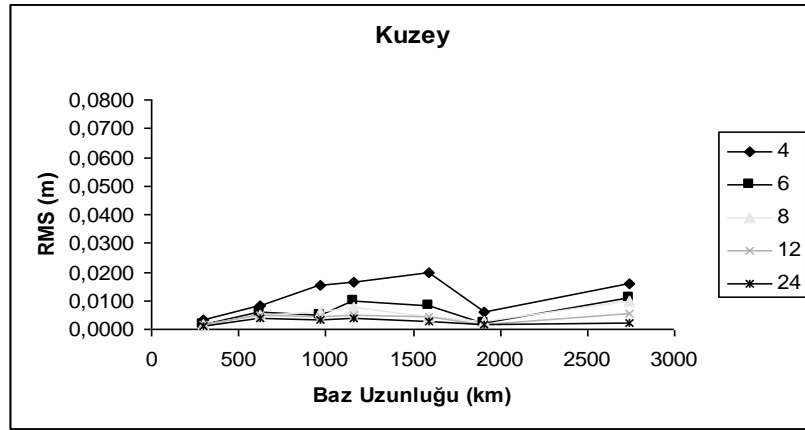
İstasyon kayıtları, istasyonun tam bir geçmişi olan alıcı veya anten tiplerini, istasyonda yapılan tadilatların tarihlerini, istasyonun yaklaşık koordinatlarını, yönetici kurum ve sorumlu kurum veya şahıslar hakkında iletişim bilgilerini, istasyonların o anda geçerli en çok bilinen parametrelerini özetleyen bilgileri içermektedir. Bu istasyon kayıt

dosyası (<ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/log>) adresinden indirilerek istasyona ait güncel bilgiler kontrol edilmelidir. Aşağıda istasyon kayıt dosyası formatı verilmektedir.

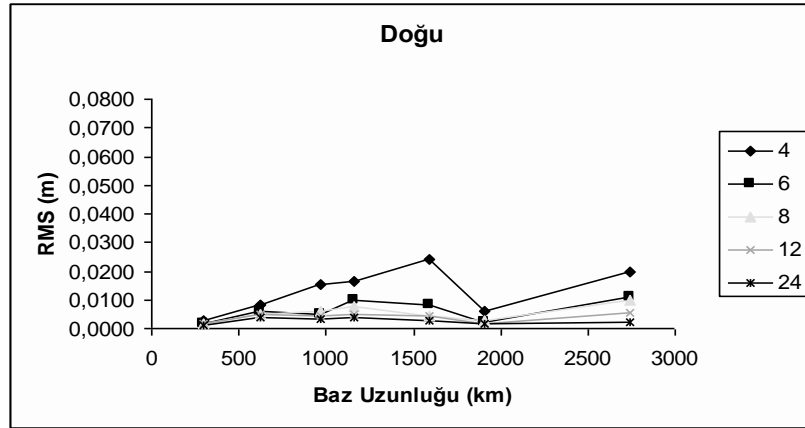
- Alıcı Anten Bilgisi: IGS analiz merkezleri izleme istasyonlarında kullanılan GPS antenleri için faz merkezi bilgisini içeren standart bir dosyayı kullanır (igs\_01.pcv). Bu dosya ([ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/igs\\_01.pcv](ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/igs_01.pcv)) adresinden elde edilebilir.
- İzleme istasyonlarının ITRF koordinatlarını elde etme: Referans sistemler (IERS/ITRF) için IERS'nin alt bürosu periyodik bir şekilde VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging) ve IGS veri analizine dayalı olarak istasyon konumları ve hızlarının yeni global çözümlerini üretir. Bu çözümlere, ITRF-yy (Uluslararası Yersel Referans Sistemi, yy= çözüm yılı) denir. İstasyon noktalarının numaralandırılmasında DOMES numaralandırma sistemi uygulanır. İzleme istasyonlarının ITRF koordinatları (<http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF>) adresinden elde edilebilir (URL-2, 2009; URL-7, 2010; URL-8, 2010; URL-10, 2009; Şanlıoğlu ve İnal, 2004; Dach, vd., 2007).

#### **1.4.5. IGS Ağı Ölçeğinde GPS Konum Belirleme Doğruluğu**

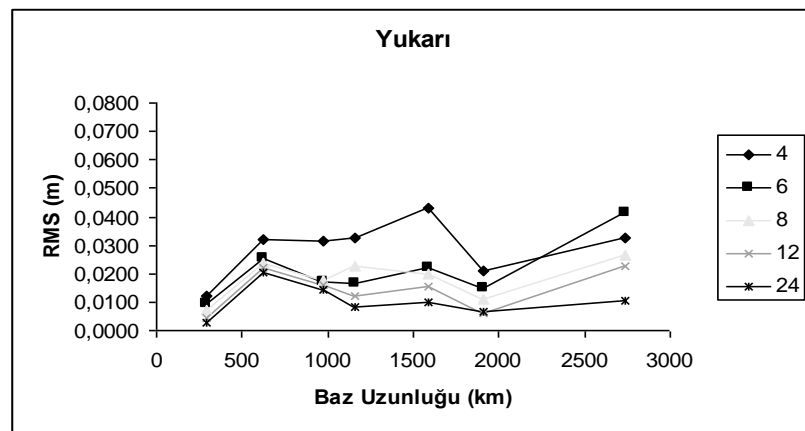
Günümüzde GPS'in doğruluğu ölçüm süresine bağlı olarak değişmektedir. Ancak bunun gerçekleşebilmesi için başlangıç faz bilinmeyenlerinin çözülmesi IGS duyarlı yörüngelerinin kullanılması ve baz noktaları arasındaki atmosferik etkilerin giderilmesi gerekmektedir. GPS ölçülerinin ölçüm süresi ve baz uzunluğuna bağlı olarak doğruluğu üzerinde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen bulgular (Şekil 1.21, 1.22 ve 1.23)'de gösterilmiştir (Engin ve Şanlı, 2007).



Şekil 1.21. GPS kuzey bileşeni doğruluğunun ölçüm süresi ve mesafeye göre değişimi



Şekil 1.22. GPS doğu bileşeni doğruluğunun ölçüm süresi ve mesafeye göre değişimi



Şekil 1.23. GPS yukarı bileşeni doğruluğunun ölçüm süresi ve mesafeye göre değişimi



(Şekil 1.21, 1.22 ve 1.23)'de gösterilen bulgulara 4-24 saat veri grupları ve 20-300 km arasında değişen bazlar üzerinde yapılan deneyler yardımıyla ulaşılmıştır. Üç bileşende de mesafeye bağlı olarak bir artış görülmemekte ve doğruluk ölçüm süresine bağlı olarak değişim göstermektedir. Ayrıca GPS düşey bileşeninin doğruluğu beklendiği üzere yatay bileşenlere göre 2-3 kat daha kötü belirlenmektedir. Dolayısıyla 300 km'den büyük bazlar için de doğruluk baz mesafesine bağlı olarak değil ölçüm süresine göre değişmektedir (Engin ve Şanlı, 2007).

Elde edilen bulgulara bakılarak ve 1 cm'lik ITRF (International Terrestrial Reference Frame) ağı iç duyarlılığı sınır değer alınarak, uzun mesafelerde yatay bileşenlerin duyarlı kestirimi için minimum 6 saat ve düşey bileşenin duyarlı kestirimi için ise minimum 12 saat ölçüm süresi önerilmektedir. Sözü edilen doğruluk değerlerine günümüzde ancak akademik yazılımlar ile ulaşılabilmektedir. Ticari yazılımlarda başarılı başlangıç faz bilinmeyenini çözümü genelde 20-30 km mesafelerinde yapılabilmekte, alan büyüdükçe yer dönme parametreleri, kara ve okyanus gelgitleri, troposferik modellemedeki yetersizlikler vb. etkiler sonuçlara yansımaktadır (Engin ve Şanlı, 2007).

#### **1.4.6. IGS Noktalarının Mühendislik Amaçlı Kullanılması**

Mühendislik ölçmeleri, genel olarak barajlar, demiryolları, karayolları, tüneller, mühendislik yapıları, açık-kapalı maden işletmeleri, deniz, baraj, göl vb. alanlarda yapılan ölçmeler ile yerel deformasyonların ölçülmesi ve belirlenmesi, hacim ve hafriyat ölçü ve hesapları, büyük ölçekli harita yapımında kullanılacak her türlü nirengi, poligon ve detay ölçmelerini kapsamaktadır. GPS uydu tekniği, özellikle son 10-20 yıllık gelişimi ve sivil kullanıma açılması ile jeodezik amaçlı ölçmeler için yeterli duyarlığa erişmiş ve bir çok mühendislik uygulamasında da kullanılabilir bir hal almıştır. Özellikle, çok zaman gerektiren ve ekonomik olmayan klasik ve elektronik yersel ölçmeler ile karşılaştırıldığında çok büyük üstünlük sağlamakta ve çoğu zaman yersel ölçüleri desteklemektedir (Aydın, 2004; URL-2, 2009; URL-7, 2010; URL-8, 2010; URL-10, 2009; Şanlıoğlu ve İnal, 2004).

Bilindiği gibi bu amaçla yapılan GPS ölçmeleri rölatif konumlama prensibine dayanmaktadır. Eşzamanlı olarak toplanan pseudorange ve taşıyıcı faz ölçüleri ile aynı uydu grubundan yapılan eşzamanlı gözlemler, değerlendirilerek çözüme ulaşılır. Böyle bir uygulama için minimum iki veya daha fazla GPS alıcısı gerekmektedir. GPS alıcılarının

maliyetleri dikkate alındığında, bu tekniğin pratik ölçme uygulamalarında daha etkin bir şekilde kullanılması, belli ölçüde kısıtlanmaktadır. Oysa bir takım akademik ve bilimsel çalışma yapan veya diğer kurumlarca kurulmuş olan sabit GPS istasyonlarının daha da yaygınlaştırılarak, IGS noktası niteliğine kavuşturularak pratikte kullanılmasının sağlanması gerekmektedir. Mühendislik uygulamalarında beklenen doğrulukları sağlayacak sıklıkta ve sayıda özellikle kentsel yerleşim alanları ve yakın çevresinde kurulacak bu tip istasyonlar ile yatay ve düşey kontrol ağı kurmak gibi oldukça zahmetli bir çalışma yapmak gerekmeyebilecektir. Ayrıca sürekli gözlem yapan bu istasyonlar, ülkemiz gibi yüksek oranda deprenselliğe sahip alanlarda deprem, yerel ve bölgesel hareketler vb. sebeplerden dolayı nirengi ağlarının tahrip olması ve güncelleme gerektirmesi gibi büyük bir problemi de ortadan kaldıracak niteliktedir (Aydın, 2004; URL-2, 2009; URL-7, 2010; URL-8, 2010; URL-10, 2009; Şanlıoğlu ve İnal, 2004).

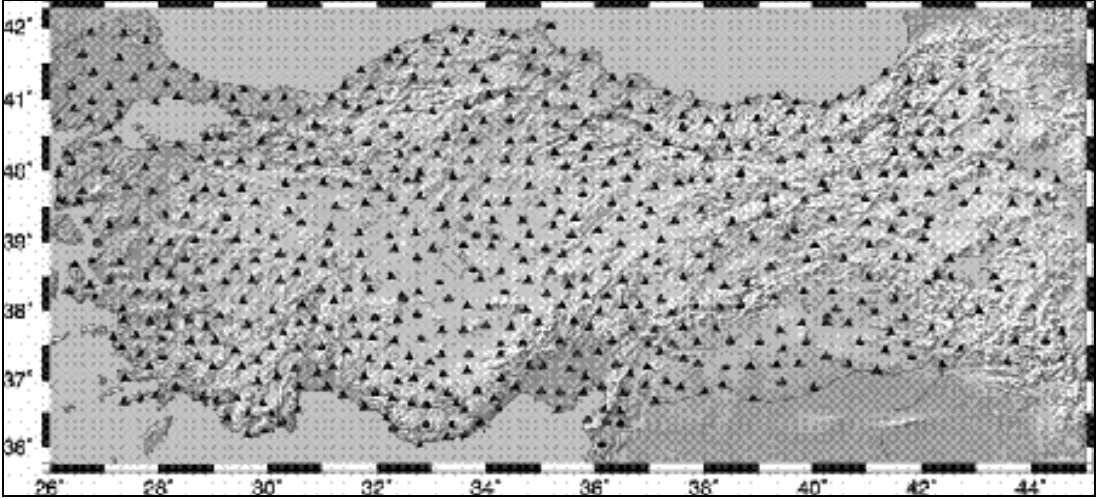
Son yıllarda geliştirilen totalstation ve GPS alıcısının tek bir üniteye birleştirildiği aletler de oldukça etkin bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Diferansiyel GPS, Post-process kinematik ve/veya RTK GPS uygulamalarında referans niteliğinde görev yapabilecek bu istasyonlar söz konusu uygulamalar için gerekli donanıma sahip olarak kullanılabilir. Bu uygulamalarda karşılaşılan problem, sabit istasyonların 30 sn. aralıklarla toplamış olduğu verilerinin internet üzerinden temin edilebilmesidir. Ancak kullanıcı daha düşük aralıklarla kaydedilmiş verileri de ilgili kuruluşlardan alabilmektedir. Bütün bunlara rağmen bu tip noktaların kurulması ve işletilebilmesi, gerek maliyet gerekse deneyim açısından çok da kolay bir iş değildir. Ülkesel veya bölgesel bazda IGS noktalarının ilgili kurumlarca sıklaştırılması da mevcut problemlerin çözümünü sağlayabilecektir. (Aydın, 2004; URL-2, 2009; URL-7, 2010; URL-8, 2010; URL-10, 2009; Şanlıoğlu ve İnal, 2004).

#### **1.4.7. Türkiye Ulusal GPS Ağları**

Türkiye'nin dünyanın önemli fay hatlarının düğümlendiği ve yerkabuğu hareketleri bakımından son derece aktif bir bölgede yer alması nedeniyle, jeodezik ağlarda zaman içersinde önemli deformasyonlar oluşmaktadır. Bu deformasyonların belirlenebilmesi için yüksek duyarlıklı modern ölçme ve hesaplama tekniklerine gereksinim doğmuştur. Ayrıca, hızlı nüfus artışı kalkınmaya yönelik alt yapı hizmetlerine de gereksinim artmış bu da özellikle ülke kadastrosunun sayısal formda, doğru ve en kısa zamanda tamamlanmasını

zorunlu hale getirmiştir (Aktuğ, 2003; Aktuğ, 2005; Ayhan, 2002; URL-16, 2009; URL-19, 2008).

Günümüzde özellikle uzay teknikleri, sayısal teknikler ve bilgisayarlardaki baş döndürücü gelişmeler coğrafi bilgi ve belge üretimine de yansımış, kalkınma amaçlı olarak bu güne kadar kullanılan belge üretim yöntemleri ile bunlardan beklenen doğruluklarda değişmiştir. Kadastro, haritacılık ve coğrafi bilgi sistemlerinin temelini oluşturan geometrik ve öznitelik bilgilerinin söz konusu modern teknikler kullanılarak yüksek duyarlıklılı ve güvenilir olarak belirlenmesi ve bu bilgilerin ülke temel jeodezik ağlarına dayalı olarak elde edilmesi gerekmektedir. Bunun için ülke yüzeyini yeterli sıklıkta kaplayan, üç boyutlu koordinatları istenen doğrulukta belirlenmiş noktalardan oluşan ve uydu tekniklerine dayalı bir temel jeodezik ağa gereksinim bulunmaktadır. Bu amaçları gerçekleştirmek için ülke yüzeyini geoidin değişimine bağlı olarak 15–70 km sıklıkta kaplayan, ITRF'in birkaç cm doğruluğunda üç boyutlu koordinatları (X,Y,Z) ve bu koordinatların zamana bağlı değişimleri ( $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ) ile uygun yükseklik sisteminde yüksekliği (H) ve jeoit yüksekliği (N) bilinen 594 noktadan oluşan Türkiye Ulusal Temel GPS ağı (TUTGA) kurulmuştur (Şekil 1.24) (Aktuğ, 2003; Aktuğ, 2005; Ayhan, 2002; URL-16, 2009; URL-19, 2008).

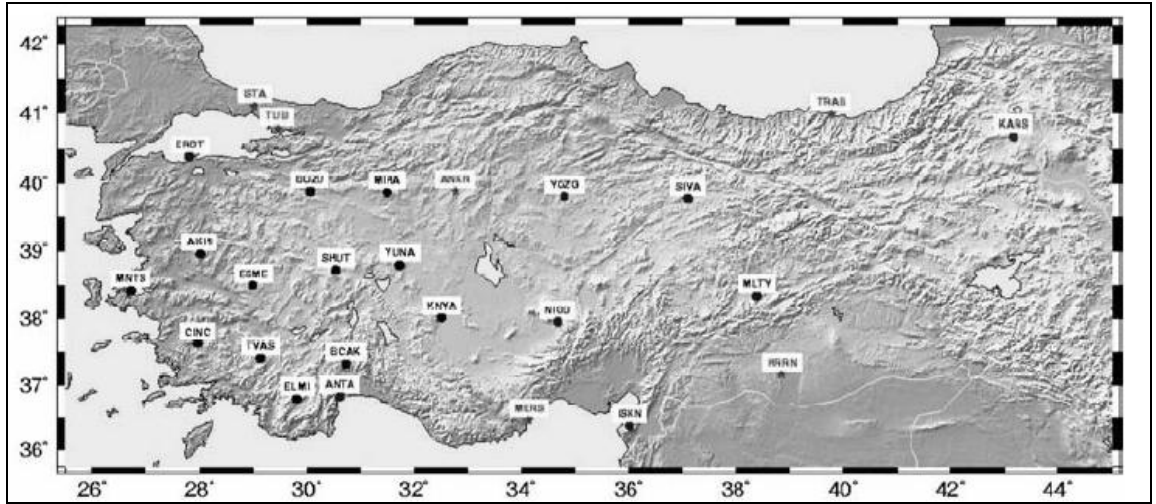


Şekil 1.24. Türkiye Ulusal Temel GPS ağı (TUTGA)

Gerçek zamanlı sabit GNSS, CORS ağları artık klasik jeodezik ağların yerini almakta ve bu ağların kurulması günümüzde tüm ülkelerde hızlı bir şekilde devam etmektedir. Standart gerçek zamanlı kinematik uygulamalardaki kısıtlayıcı faktörlerin en başta gelenleri referans (baz) istasyonu ile gezen alıcı arasındaki mesafeye bağlı hata

kaynaklarıydı. Bu nedenle, amaca uygun sonuç elde edebilmek için uygulamada referans istasyonu ile gezen alıcı arasındaki mesafenin 10 km'yi geçmemesine dikkat edilmekteydi. Fakat günümüzde Ağ-RTK yaklaşımı nedeniyle bu kısıtlamada büyük oranda giderilmiştir. Çünkü Ağ-RTK yaklaşımında birden fazla referans istasyonu verilerinden yararlanarak düzeltmeler hesaplanmakta ve böylece elde edilen konum doğruluğu büyük oranda referans ve gezen alıcılar arasındaki mesafeden bağımsız hale gelmektedir (Aktuğ, 2003; Aktuğ, 2005; Ayhan, 2002; URL-16, 2009; URL-19, 2008).

Türkiye genelinde dağılmış noktalarda 365 gün 24 saat kesintisiz olarak askeri ve sivil kullanıma yönelik jeodezik ve jeodinamik amaçlar doğrultusunda uydu bilgileri toplayan “sabit GPS istasyonlarından” oluşan bir Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA) kurulmuştur (Şekil 1.25) (Aktuğ, 2003; Aktuğ, 2005; Ayhan, 2002; URL-16, 2009; URL-19, 2008; URL-21, 2009; URL-22; 2009).



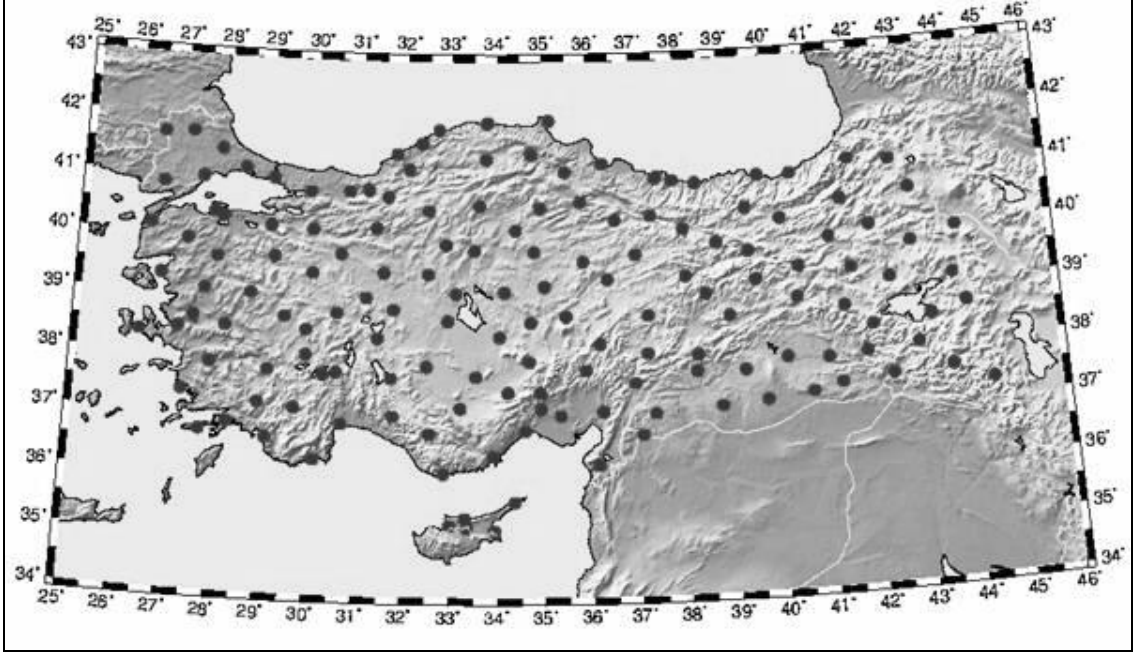
Şekil 1.25. Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA).

TUSAGA, Türkiye’de gerçekleştirilecek tüm GPS çalışmalarında referans sistemi belirsizliğini giderecek sabit nokta (nirengi) hizmeti vermektedir. TUSAGA ile yapılabilen uygulamalar;

- Jeodezik çalışmalar için gereksinen üst düzey referans ağı olarak hizmet vermesi,
- Kinematik modelleme ile Türkiye ve çevresinde mevcut yer kabuğu hareketlerinin sürekli izlenmesini sağlaması,
- Bölgesel (kampanya bazlı) GPS ölçme çalışmalarında referans nokta olarak kullanılması suretiyle zaman, personel ve alet tasarrufunu sağlaması,

- Hassas konumlama çalışmalarında kullanılmak üzere bölgesel iyonosfer modellenmesi çalışmalarını gerçekleştirmesi,
- Statik gözlem veya uygun donanımlar ile teçhiz edilmesi durumunda gerçek zamanda (DGPS); yer bilimleri çalışmalarına, coğrafi bilgi sistemlerine (CBS) ve yerel kadastral uygulamalarına yönelik veri sunumunu gerçekleştirmesi,
- Harita Genel Komutanlığının bu zamana kadar gerçekleştirdiği askeri ve sivil projelere yönelik, GPS çalışmalarında uygulanan pasif (belirli süreçler dahilinde) veri toplama şeklini aktif ve sürekli yapıya dönüştürerek, gerçek zamanda ve duyarlı 3 boyutlu konum, ham ve hesaplanmış veri sağlamak ve diferansiyel GPS (DGPS) hizmeti sunabilmesidir.

GPS, GLONASS, Galileo, Japonya'nın Quasi Zenith ve Çin'in Beidou uydu sistemleri küresel ve bölgesel amaçlı sistemler olup, bunlar GNSS olarak adlandırılmaktadır. Sabit GNSS ağlarının kurulmasıyla birlikte diğer alanlarda da bunlardan yararlanma oranı gittikçe artmaktadır. Bu nedenle, gerçek zamanlı GPS ve DGPS uygulamalarındaki artış ulusal haritacılık kuruluşları olan Harita Genel Komutanlığı ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, TÜBİTAK desteği ve İKÜ yürütücülüğünde, kadastro, jeodezik vd.,er amaçlar için de kullanılmak üzere TUSAGA-Aktif (CORS-TR) ağını kurmuştur. TUSAGA-AKTİF Ağı, Türkiye geneline dağılmış 147 sabit GPS istasyonundan oluşmaktadır (Şekil 1.26) (Lenk, 2005; Lenk vd., 2005; Ayhan, 2002; URL-16, 2009; URL-19, 2008; URL-21, 2009; URL-22, 2009).



Şekil 1.26. TUSAGA-Aktif Ağı

TUSAGA Aktif ağı için TKGM ve HGK’da kurulacak kontrol ve analiz merkezlerinde; istasyonlardan internet yolu ile alınan GPS verilerinden Diferansiyel GPS (DGPS) ve Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) konum belirlemeye olanak sağlayacak düzeltme verileri hesaplanacak ve tüm kullanıcılara bu düzeltme verileri yayımlanmaktadır. Kullanıcı bulunduğu yerin üç boyutlu konumunu (enlem boylam ve yüksekliği) bu düzeltme verilerinden yararlanarak belirlemektedir (Lenk, 2005; Lenk vd., 2005; Ayhan, 2002; URL-16, 2009; URL-19, 2008; URL-21, 2009; URL-22, 2009).

GPS kullanıcıları, statik veya RTK/DGPS (gerçek zamanlı) tekniklerinden yararlanarak, önce kendi baz istasyonlarını oluşturmakta sonra da gezici alıcılarla koordinatlarını hesaplamaktadırlar. Statik ölçülerde geziciler, baz uzunluğu ve uyguladıkları yöntemle bağlı olarak, 15 dakikadan saatlere varan ölçü zamanına gereksinim duymaktadırlar. Klasik RTK kullanımı durumunda ise baz istasyonundan ancak 510 km uzaklığa kadar çözüm sağlayabilmektedirler. Bu kadar zahmetli ve pahalı bir yaklaşım sonucu belirlenen noktalar ise arazide, değişik boyutlarda beton tesislerle (beton blok, pilye vb.) işaretlenmektedir (Lenk, 2005; Lenk vd., 2005; Ayhan, 2002; URL-16, 2009; URL-19, 2008; URL-21, 2009; URL-22, 2009).

Bu sistem, hem mevcut GPS alıcılarını hem de yeni alıcıları daha verimli kullanmaya; gayet hızlı, ekonomik ve sağlıklı koordinatlar belirlemeye olanak verecektir.

RTK kullanımı durumunda baz istasyonundan 50–75 km uzaklığa kadar çözüm sağlanmaktadır. Böylesine kolay ve ekonomik olarak belirlenen noktalar ise son derecede pratik ve ucuz malzemelerle arazide işaretlenebilmektedir. 24 saat hizmet veren CORS-TR istasyonlarının kurulması ve datum dönüşüm parametrelerinin belirlenmesi;

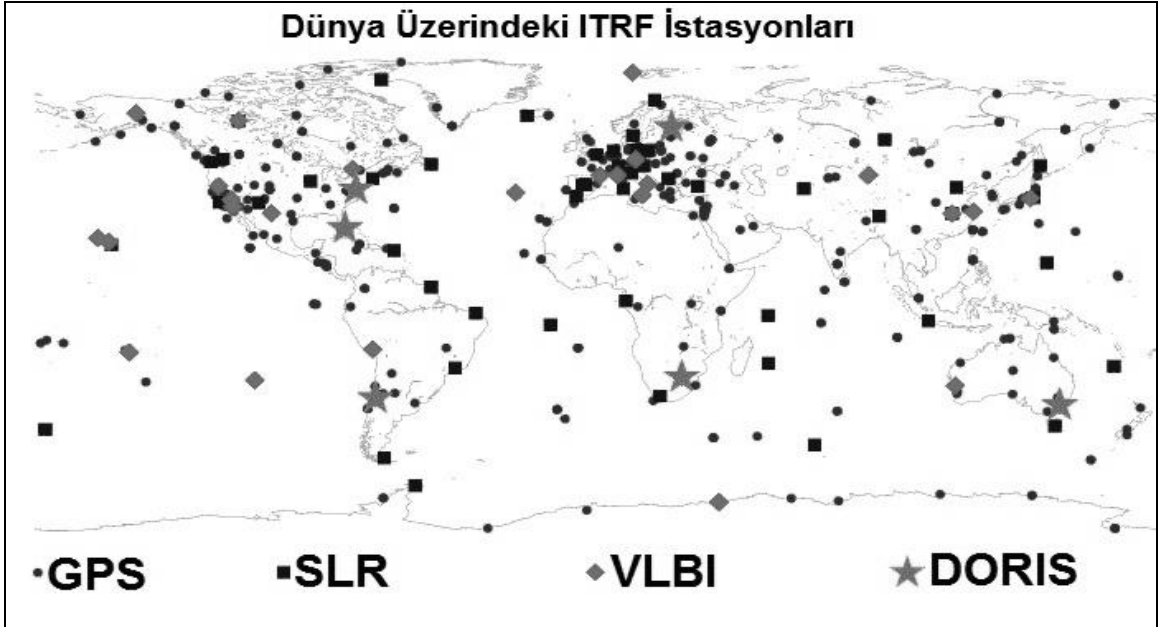
- Başta ülke savunması ve kalkınması amacına yönelik olmak üzere coğrafi belge ve bilgilerin üretilmesi ve değerlendirilmesi için gerekli olan hassas konum verilerini daha hızlı, ekonomik ve duyarlıklı elde etmeyi,
- Her türlü navigasyon, araç izleme ve ulaşım için sağlıklı konum belirlenmesini,
- Hücresel dönüşüm parametrelerinin belirlenmesi konusunda TKGM ve HGK başta olmak üzere tüm harita ve harita bilgisi üreten kurumların bu konu ile ilgili temel sorununu çözmek ve böylece klasik yöntemlerle üretilen, mevcut analog formdaki kadastro ölçülerinin ve paftalarının, halen kullanılmakta olan datuma ve TAKBİS'e aktarımını,
- Bir deprem ülkesi olan ülkemizde tektonik (plaka) hareketlerin son derecede duyarlı ve sürekli olarak izlenmesini sağlamayı; erken uyarı sistemlerine altlık oluşturmayı ve plakaların deformasyon hız ve miktarlarını belirlemeyi,
- Türkiye'nin yer aldığı bölgedeki troposferi ve iyonosferi modellemek ve böylece daha sağlıklı meteorolojik tahminler ile sinyal ve iletişim konuları başta olmak üzere birçok bilimsel çalışmaya olanak ve katkıyı,
- TKGM ve HGK başta olmak üzere büyük ölçekli harita ve harita bilgisi üreten kurumların;
  - Jeodezik nokta tesisi (nirenge, poligon vd), ölçüm ve hesabı,
  - Yersel harita ve kadastro ölçmeleri,
  - TAKBİS veri dönüşümü ve yeni verilerin derlenmesi,
  - CBS/KBS amaçlı diğer yersel ölçmeler,

olarak özetlenebilen gereksinimlerine hızlı ekonomik ve sağlıklı olarak cevap vermeyi sağlamaktadır (Aktuğ, 2003; Aktuğ, 2005; Lenk, 2005; Lenk vd., 2005; Ayhan, 2002; URL-16, 2009; URL-17, 2009; URL-22, 2009; URL-19, 2008; URL-21, 2009; URL-22, 2009).

### 1.5. ITRF Koordinat Sistemi

IGS verileri kullanılarak birçok jeodezik problem çözülebilmektedir. Kuşkusuz bu problemlerin başında ITRF sistemine dayalı jeodezik ağların kurulması ve değerlendirme çalışması gelmektedir (Altamimi, vd., 2002; Altamimi, ve Boucher, 2002; Aktuğ, 2005; Şanlıoğlu ve İnal, 2005; URL-24). ITRF küresel ve yersel referans sistemlerinin bir kombinasyonunun sonucudur. ITRF ile koordinat bilgilerinin yanında zaman bilgisi de uygulamalara dahil edilmiştir. İstasyonların konum ve hızları bu sistemin temel parametreleridir.

ITRF'in oluşturulmasında; Çok Uzun Bazlı İnterforometre (VLBI), Ay ve Uydu Lazer Ölçmeleri (LLR, SLR), Küresel Konum Belirleme (GPS) ve Doppler Uydu Yörünge Belirleme ve Radyo Konumlaması (DORIS) olmak üzere beş tür uzay tekniği kullanılmıştır. Yersel referans sistemleri bu tekniklerin ayrı ayrı veya veri setlerinin (istasyon koordinatları, dünya dönme parametreleri gibi) birleşik çözümlerinin analizi ile belirlenmiştir (Altamimi, vd., 2002; Altamimi ve Boucher, 2002; Aktuğ, 2005; Şanlıoğlu ve İnal, 2005; URL-24). (Şekil 1.27)'de ITRF çözümünde kullanılan 5 farklı uzaysal yöntemin kıtalar üzerindeki dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 1.27. ITRF'i tanımlamada kullanılan uzaysal sistemlerin konumları.



ITRF çözümünde farklı uzaysal ölçme tekniği kullanıldığından, ITRF dataları bu istasyonların Kartezyen koordinatlarını ve hızlarını, istasyonların kataloglarını, lokal bağlantıları ve güncelleştirmelerini de içermektedir.

ITRF şu esaslar çerçevesinde tanımlanmıştır:

- Sistemin ölçek değişimi tüm SLR ve VLBI çözümlerinin ağırlıklı ortalaması ile gerçekleştirilmiştir.
- Koordinat sisteminin orijini 5 ila 7 yıllık SLR çözümlerinin ağırlıklı ortalamasından elde edilmiştir.
- Sistemin yönelmesi ITRF97'nin referans epoğu aynı şekilde alınarak ve global ağıın dönmesizliğini sağlamak için NNR-NUVEL 1A jeolojik plaka modeline göre farkları minimum yapan bir koşul kullanılmıştır. Bu amaçla en az 3 yıl devamlı gözlem yapılan ve deformasyon bölgelerinden uzakta ve sabit plakalar üzerinde bulunan, hız hataları 3 mm/yıl'dan daha az ve en az üç farklı çözümden bulunan hız hataları 3 mm/yıl'dan daha iyi olan istasyon noktaları seçilmiştir (Altamimi vd., 2002; Altamimi, ve Boucher, 2002; Aktuğ, 2005; Şanlıoğlu ve İnal, 2005; URL-24).

ITRF'in kullanım amacına genel olarak bakıldığında yersel veya bölgesel konumumuzu yeryuvarı üzerinde uluslararası olarak ifade etmemize olanak verir. Bir başka açıdan ise yeryuvarı üzerinde belirlenen bir noktaya göre kendi konumumuzun referanslandırılmasını sağlamak amacıyla planlanmıştır. Dönüşüm parametrelerini kullanarak, ITRFXX'e bağlı olarak herhangi bir GPS tanımlama ağıındaki koordinatlar diğer uluslar arası referans ağıına dönüştürülebilir (Altamimi, vd., 2002; Altamimi, ve Boucher, 2002; Aktuğ, 2005; Şanlıoğlu ve İnal, 2005; URL-24).

ITRF tarihinde ilk kez, ITRF2000 ve sonrası; herhangi bir plaka modelinden bağımsız serbest uzay tekniklerine ait çözümlerin birleşiminden oluşmuştur. Sadece yersel referans ağıının (TRF) altında yatan sebepleri tanımlama için bu çözümlerde minimum zorlamalı dengeleme yapılmıştır. ITRF2000'in orijini SLR ile belirlenen dünyanın kütle merkeziyle tanımlanmıştır. SLR ve VLBI teknikleriyle ölçeklendirilmiştir. ITRF Ağıının en son güncellenmiş hali ITRF2005 olarak yayınlanmıştır (Altamimi vd., 2002; Altamimi, ve Boucher, 2002; Aktuğ, 2005; Sella, vd., 2002; Şanlıoğlu ve İnal, 2005; URL-24).

## 1.6. Regresyon Analizi

IGS istasyon noktalarının web adresinden ([www.IERS.org](http://www.IERS.org)) ITRF'in herhangi bir versiyonunun farklı epoklarında tanımlı kartezyen koordinatlarının değerlendirilmesinde  $R^2$ - Regresyon analizi kullanılabilir. Regresyon Analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan analiz metodudur. Eğer tek bir değişken kullanılarak analiz yapılıyorsa buna tek değişkenli regresyon, birden çok değişken kullanılıyorsa çok değişkenli regresyon analizi olarak isimlendirilir. Regresyon analizi ile değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı hakkında bilgi elde edilir. Regresyon, iki (ya da daha çok) değişken arasındaki doğrusal ilişkinin fonksiyonel şeklini, biri bağımlı diğeri bağımsız değişken olarak bir doğru denklemi olarak göstermekle kalmaz, değişkenlerden birinin değeri bilindiğinde diğeri hakkında kestirim yapılmasını da sağlar. Genellikle bu iki (veya çok) değişkenlerin hepsinin niceliksel ölçekli olması zorunluluğu vardır. Regresyonda, değişkenlerden biri bağımlı diğerleri bağımsız değişken olmalıdır. Buradaki mantık eşitliğin solunda yer alan değişkenin sağında yer alan değişkenlerden etkilenmesidir. Sağda yer alan değişkenlerse diğer değişkenlerden etkilenmemektedir. Burada etkilenmemek matematiksel anlamda bu değişkenleri bir doğrusal denkleme koyduğumuzda etki yapması anlamındadır.

Regresyon analizinde belirtme katsayısı, doğrusal modelin uyum iyiliğinin en iyi ölçüsüdür. Söz konusu katsayı, bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarının bağımsız değişken(ler) tarafından açıklandığını ifade etmektedir. Bu durum, regresyon modelinin açıklayıcılık gücünün iyi bir göstergesidir. Belirleme katsayısı ( $R^2$ ) değeri,

$$R^2 \equiv 1 - \frac{SS_{err}}{SS_{tot}} \quad (1)$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada,  $SS_{err}$ , hataların kareleri toplamını;  $SS_{tot}$ , hatalarının toplamının karesini göstermektedir. Bulunan  $R^2$  değerinin 0 ile 1 arasında olması gerekir. Yapılan bu analiz çeşitli şekillerde açıklanabilir. Eğer sadece iki değişkenli ( $Y$  ve  $X_0$ ) regresyon analiz yapılıyorsa, geometrik olarak  $X$ - $Y$  düzeyinde doğrusal regresyon tahmini bu düzeyde olan noktalara bir doğru uydurmaktır ve eğer bütün noktalar bu tahmin edilen doğru üzerinde ise tahmin edilen doğru hiç hatasız verilere uymaktadır. Bu noktalar tahmin edilen doğrudan uzaklaştıkça hatalar varyasyonu çoğalmaktadır. Üç değişkenli ( $Y$  ve  $X_1$  ve

$X_2$  değişkenli) çoklu regresyonda ise tahmin edilen bir üç boyutlu yüzeydir. Eğer bu doğru verilere tam olarak uyarsa bütün veri noktaları tahmin edilen yüzey üstüne gelirler. Noktalara tahmin edilen yüzey etrafında dağılmaya başlarsa hatalar varyasyonu artmaya başlar. Üç değişkinden daha çok değişkenli regresyon analizi ise grafik olarak verilemez çok boyutlu uzayı gösterir ve tahmin edilen regresyon katsayıları ise bu çok boyutlu uzayda bir hiper-yüzey olur. Genel olarak:

- Eğer  $R^2$  değeri sıfıra yakınsa, uyum iyiliği uygun olmadığı kabul edilir. Bu sonuç ortaya çıkarsa toplanan verilere kullanılan modelin uygun olmadığı sonucu çıkarılır ve bu uygunsuzluk modelinin değiştirilmesini gerektirir. Bu demektir ki model ile açıklanan varyasyon tüm varyasyonu % 0'ını açıklamakta ve geometrik olarak örneklem verileri regresyon ile elde edilen hiper-yüzeyin etrafına çok dağılmış olarak bulunmaktadır. Bu çıkarıma varılırsa bu basamağa kadar yapılmış olan analizin bir kenara bırakılması ve diğer bir modelin bulunup kullanılması gerekmektedir.
- Eğer  $R^2$  değeri bire yakınsa, uyum iyiliği uygun olduğu sonucu çıkarılır. Geometrik olarak çok değişken boyutlu uzayda, örneklem veri noktalarının hepsi uzayda dağılma göstermeyip hemen hepsi regresyon ile elde edilen hiper-düzey üzerinde bulunmaktadır (Draper, 1981; URL-11, 2009; URL-28, 2009).

### 1.7. Jeodezik Ağların Optimizasyonu

Deformasyonları belirlemek için oluşturulan jeodezik kontrol ağlarının tasarımı, geliştirilmesi ya da iyileştirilmesi sırasında bir amaç fonksiyonu seçilerek ağın datumunun, geometrik şeklinin, ölçü duyarlıklarının ya da noktaların konumlarının en uygun biçimde belirlenmesiyle jeodezik kontrol ağlarının optimizasyonu gerçekleştirilmektedir. Jeodezik ağın optimizasyonu için tasarlanan ağ için üretilen ölçüler ve jeodezik ağın tesisinden sonra yapılacak ölçülerin serbest ağ yöntemine göre dengelenmesi gerekmektedir. Böylece ağın iç duyarlığı daha iyi ortaya çıkarılarak uyuşumsuz ölçüler daha gerçekçi belirlenebilmektedir (Arslanoğlu ve Mekik, 2003; Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

### 1.7.1. Jeodezik Kontrol Ağlarının Serbest Dengelenmesi ve Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması

Nokta koordinatlarının ve bunların varyans–kovaryans matrisinin datum seçimine bağlı olarak değişmesi nedeniyle deformasyon analizlerinde değişik zamanlarda gözlenen ağları ortak noktalara göre konumlandırma, datum tanımları ya da kısmi iz minimum çözümleri kaçınılmaz olur. Datum belirsizlikleri, hiçbir datum parametresi sabit alınmaksızın, “Tüm İz Minimum” koşulu altında, düzeltmelerin ve koordinat bilinmeyenlerinin kareleri toplamının minimum yapıldığı en küçük kareler çözümü ile giderilebilir. Serbest ağ dengelemesi olarak da adlandırılan bu çözüm sonucunda, koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hatalarının en küçük olması anlamına gelen  $\text{iz}[Q_{xx}] \Rightarrow \min.$  koşulu da gerçekleşmektedir (Konak, 1996; Arslanoğlu, ve Mekik, 2003). Şu halde serbest ağ dengelemesi, dengelenmiş koordinatların yaklaşık koordinatlar sistemine bir Helmert transformasyonundan ibarettir. Ağın noktalarına ilişkin duyarlık ölçütleriyle de irdelenebilmesi için ağda bütün noktaların koordinatları bilinmeyen seçilerek serbest ağ dengelenmesi uygulanmalıdır. Böyle bir uygulama ile dış parametreler de ağın duyarlığını en iyi verecek şekilde yani optimal olarak saptanmış olmaktadır (Ayan, 1981; Baarda, 1968). Bu dış parametreler; Nivelman ağlarında 1 (yükseklik), Nirengi ağlarında 4 (2 öteleme, 1 ölçek, 1 dönüklük), Üç boyutlu jeodezik ağlarda 7 (3 öteleme, 3 dönüklük, 1 ölçek), GPS ağlarında 3 (3 öteleme) tanedirler (Arslanoğlu ve Mekik, 2003; Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Koch, 1988; Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Bu dış parametreler,

- Nivelman ağlarında en az bir noktanın yüksekliği değişmez (sabit) olarak alınırsa,
- Yalnız doğrultuların gözlendiği Nirengi ağlarında iki nokta koordinatlarıyla değişmez olarak alınırsa,
- Doğrultuların yanında en az bir kenar ve bir semtin ölçüldüğü Nirengi ağlarında bir nokta koordinatlarıyla değişmez olarak alınırsa,
- Yalnızca eğik kenarların ölçüldüğü üç boyutlu jeodezik ağlarda iki nokta koordinatlarıyla değişmez olarak alınırsa,
- GPS ağlarında bir noktanın koordinatları değişmez olarak alınırsa belirlenebilir (Arslanoğlu ve Mekik, 2003; Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Koch, 1988; Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Dış parametrelerin önceden belirlendiği durumlarda dayalı dengeleme söz konusu olmaktadır. Bu parametrelerin önceden belirlenmesi için hatasız oldukları varsayılan koordinat ve ölçü değerleri, gerçekte bir takım hatalarla yüklü olduklarından dengeleme sonuçlarının da bu hatalarla yüklü olacakları açıktır. Dayalı dengelemenin bu sakıncalı yönü ağın dış parametrelerinin de dengeleme hesabı içinde belirlendiği serbest ağ dengelemesi ile giderilmektedir. Serbest ağ dengelemesi sonucu bulunan düzeltmeler dayalı dengelemedekilerle aynıdır. Fakat hiç bir zorlama olmaksızın yalnızca ölçü değerlerinden elde edilen bilinmeyenler ve duyarlık değerleri dayalı dengeleme sonuçlarından farklı olup gerçek değerlere daha yakındırlar.

Dengelemenin matematik modeli (fonksiyonel ve stokastik model) aşağıdaki gibi kurulur.

Fonksiyonel Model

Stokastik Model

$$l + v = Ax \quad K_{ll} = s_0^2 Q_{ll} \Rightarrow Q_{ll} = \frac{1}{s_0^2} K_{ll} \Rightarrow P_{ll} = Q_{ll}^{-1} \quad (2)$$

Burada;  $l$ , ölçü vektörünü;  $v$ , düzeltmeler vektörünü;  $A$ , katsayılar matrisini;  $x$ , bilinmeyenler vektörünü;  $K_{ll}$ , ölçülerin varyans kovaryans matrisini;  $s_0^2$ , birim ölçünün öncül varyansını;  $Q_{ll}$ , ölçülerin ters ağırlık matrisini;  $P_{ll}$ , ölçülerin ağırlık matrisini göstermektedir. Matematik model en küçük kareler yöntemine göre çözümlerse bilinmeyenler;

$$x = (A^T P A)^{-1} A^T P l = N^{-1} n = Q_{xx} n \quad (3)$$

eşitliğinden hesaplanır. Serbest ağ dengelemesinde normal denklemlerden belirsiz dış parametre sayısı ( $d$ ) kadar birbiriyle bağımlıdır. Bu durum normal denklem katsayılar matrisine tekil bir yapı oluşturur. Tekil matrislerde determinant sıfır olduğundan Cayley tersi  $(A^T P A)^{-1}$  hesaplanamaz. Bu durumda normal denklemlerin sonsuz sayıda çözümü olmaktadır. Buna bağlı olarak  $(A^T P A)$ 'nın sonsuz sayıda genel ters matrisi hesaplanabilir. Bu nedenle singüler yapıdaki normal denklem matrisinin Moore-Penrose tersi  $N^+ = (A^T P A)^+$  alınarak tek anlamlı çözüm ve bu çözümü verecek ters matris ( $Q = Q_{xx}$ ) bulunabilir

(Arslanoğlu ve Mekik, 2003; Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Koch, 1988; Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Normal denklem matrisinin psodyo tersi  $N^+$

$$Q_{xx} = N^+ = (N + GG^T)^{-1} - GG^T \quad (4)$$

eşitliğinden hesaplanır. (4) eşitliğindeki G matrisi; GPS ağları için

$$G^T = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & \dots & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} & \dots & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{p}} \end{bmatrix} \quad (5)$$

olarak nivelman ağları için ise

$$G^T = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{p}} & \frac{1}{\sqrt{p}} & \dots & \frac{1}{\sqrt{p}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

biçiminde oluşturulur. Burada, p nokta sayısını göstermektedir. (4) eşitliğindeki  $Q_{xx}$  matrisi dikkate alınarak (3) eşitliğinden hesaplanan dengeleme bilinmeyenleri ( $x$ ) bilinmeyenlerin yaklaşık değerlerine ( $X_0$ ) eklenerek, koordinatların kesin değerleri

$$X = X_0 + x \quad (7)$$

eşitliğinden hesaplanır. Ölçülere getirilecek düzeltmeler,

$$v = Ax - l \quad (8)$$

birim ölçünün ortalama hatası,

$$m_0 = \sqrt{\frac{v^T P v}{n - u + d}} \quad (9)$$

bağıntılarından hesaplanır. Bilinmeyenler olan koordinatların ortalama hataları,  $q_{ii}$ ,  $Q_{xx}$  matrisinin  $i$ . köşegen terimi olmak üzere

$$m_{x_i} = \pm m_0 \sqrt{q_{ii}} \quad (10)$$

eşitliğinden hesaplanır. (8) eşitliğinden hesaplanan düzeltmeler ile dengeli ölçüler ve dengeli ölçülerin ters ağırlık matrisi

$$\hat{l} = l + v \quad (11)$$

$$Q_{\hat{l}\hat{l}} = A Q_{xx} A^T \quad (12)$$

ile dengeli ölçülerin ortalama hataları

$$m_{\hat{l}_i} = \pm m_0 \sqrt{q_{\hat{l}_i \hat{l}_i}} \quad (13)$$

eşitliklerinden hesaplanır.

Serbest ağ dengelemesi sonucunda hesaplanan değerlerin anlamlı olması için matematik modelin geçerli olması gerekir. Matematik modelin ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkilere uygun olup olmadığı, ölçülerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıtmayı yansıtmadığı model hipotezinin testi yoluyla belirlenir. Aynı koşullarda yapılan benzer türden ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda, dengelemeden önce elde edilen ve gözlemlerin ağırlıklarının belirlenmesinde yararlanılan birim ölçünün ortalama hatasının öncül (a priori) değeri ( $s_0$ ) ile dengeleme hesabı sonucunda bulunan soncul (a posteriori) değeri ( $m_0$ ) kullanılarak model hipotezinin testi için sıfır ve seçenek hipotezleri

$$\begin{aligned} H_0 : E \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E \left\{ m_0^2 \right\} \right\} \\ H_s : E \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E \left\{ m_0^2 \right\} \right\} \end{aligned} \quad (14)$$

biçiminde oluşturulur.  $s_0 > m_0$  ise Test Büyüklüğü (T),

$$T = \frac{s_0^2}{m_0^2} \quad (15)$$

F-tablo değeriyle karşılaştırılır.  $T < F_{f_s, f_m, 1-\frac{\alpha}{2}}$  ise dengeleme modeli GEÇERLİ,  $T > F_{f_s, f_m, 1-\frac{\alpha}{2}}$

ise dengeleme modeli GEÇERSİZ olarak kabul edilir. Dengeleme modeli geçersiz ise ölçülerin birinde ya da birkaçında kaba hata, ölçüler yanlış indirgenmiş, dengelemenin fonksiyonel ve stokastik modeli yanlış kurulmuş olabilir.

Model hatalarının en sık rastlanılan ölçülerde yapılan kaba yanlışlıklardır. Kaba hataların büyük bir bölümü, düzeltme denklemlerinin kurulması sırasında sabit terimlerde kendini gösterirler ve gözlemler yenilenerek düzeltilirler. Buna karşın rasgele ölçü hatalarına çok yakın büyüklükte olan uyuşumsuz ölçüler, kolaylıkla fark edilemezler ve dengeleme hesabı sonucunda bulunan büyüklükleri olumsuz yönde etkilerler. Bunlar ancak dengeleme hesabı tamamlandıktan sonra uygulanan uyuşumsuz ölçüler testi yardımı ile belirlenebilir (Arslanoğlu, ve Mekik, 2003; Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Koch, 1988; Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

$\Delta_j$ , j numaralı ölçüdeki kaba hata olmak üzere fonksiyonel model her bir j ölçüsüne karşılık,

$$l + v = A e_j \begin{bmatrix} x \\ \Delta_j \end{bmatrix} \quad (16)$$

şeklinde ayrı ayrı genişletilerek oluşturulur. Burada;  $l$ , ölçü;  $v$ , düzeltme;  $x$ , bilinmeyenler ve  $e_j$ , j. değeri 1 olan sıfır vektörünü;  $A$ , katsayılar matrisini göstermektedir. Bu modelden j. ölçüdeki kaba hatanın büyüklüğü ( $\Delta_j$ ) ve ters ağırlığı ( $q_{\Delta\Delta}$ ),

$$\Delta_j = -\frac{e_j^T P v}{e_j^T P Q_{vv} P e_j} \quad q_{\Delta\Delta} = \frac{1}{e_j^T P Q_{vv} P e_j} \quad (17)$$



biçiminde hesaplanır. Burada  $P$ , ölçülerin ağırlığını ve  $Q_{vv}$ , düzeltmelerin ters ağırlık matrisini göstermektedir. Genişletilmiş modelden birim ölçünün ortalama hatasının soncul değeri  $s_0, f$ , serbestlik derecesi olmak üzere

$$S_0 = \pm \sqrt{\frac{1}{f-1} \left( P_{vv} - \frac{\Delta_j}{q_{\Delta\Delta}} \right)} \quad (18)$$

eşitliğinden hesaplanır. Kaba hatanın anlamlı olup olmadığını irdeleyebilmek için sıfır ve seçenek hipotezleri

$$\begin{aligned} H_0 &: E(\Delta_j) = 0 \\ H_S &: E(\Delta_j) \neq 0 \end{aligned} \quad (19)$$

biçiminde kurulur. Test büyüklüğü

$$T = \frac{|e_j^T P v|}{s_0 \sqrt{e_j^T P Q_{vv} P e_j}} \quad (20)$$

şeklinde hesaplanır. Her ölçü için hesaplanan test büyüklüğü değerlerinden en büyüğü olan ( $T_{\max}$ ) değer,  $\alpha$  testin ve  $\bar{\alpha}/2 = 1 - \sqrt{1 - \alpha/2}$ 'de  $t$ -dağılımının yanılma olasılığı olmak üzere  $t$ -dağılımı cetvelinden alınan sınır değer ile karşılaştırılır.

$$T_{\max} > t_{f-1, 1-\bar{\alpha}/2} \quad (21)$$

ise ilgili ölçünün  $S=1-\alpha$  istatistik güvenle uyumsuz olduğuna karar verilir. İlgili ölçü, ölçü kümesinden çıkarılır yada yeniden ölçülür. Uyumsuz ölçü kalmayncaya kadar aynı işleme devam edilir (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Koch, 1988; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

### 1.7.2. GPS Ağlarında Duyarlık ve Güven Ölçütleri

Duyarlık optimizasyonunda amaç fonksiyonu olarak, noktaların tümünün ya da

birkaçının koordinat duyarlıkları, ağ noktalarının koordinatlarının fonksiyonlarının duyarlıkları, noktaların konum hataları, ağın ortalama koordinat duyarlılığı ya da herhangi bir noktaya ilişkin güven elipsinin alanı, güven elipsoidinin hacmi seçilebilir. Amaç fonksiyonunun ağa ilişkin güven isteklerinden oluştuğu güven optimizasyonunda; amaç fonksiyonu olarak, ağa ilişkin iç ve dış güven ölçütleri seçilebilir (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Koch, 1988; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

### 1.7.2.1. Duyarlık Ölçütleri

Jeodezik ağlar için tanımlanan duyarlık ölçütlerinin büyük bir bölümü, noktalara göre tanımlanan ölçütlerdir. Bir jeodezik ağın duyarlığına ilişkin bilgilerin tümü, koordinat bilinmeyenlerinin varyans–kovaryans matrisinde depolanmıştır. Bu nedenle, duyarlık ölçütlerinin hesaplanması için koordinat bilinmeyenlerinin varyans–kovaryans matrisinin tümünden ya da bir bölümünden yararlanılır (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Koch, 1988; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

#### 1.7.2.1.1. Noktalara Göre Tanımlanan Duyarlık Ölçütleri

- Koordinat Bilinmeyenlerinin Ortalama Hatası

Koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hataları, dengeleme sonucunda hesaplanan karesel ortalama hata ( $m_0^2$ ) ve koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisi ( $q_{X_i X_j}$ ) kullanılarak,

$$m_{X_i} = m_0 \sqrt{q_{X_i X_i}} \quad (22)$$

eşitliğinden hesaplanır.

- Helmert Nokta Konum Hatası

$$m_{P_i} = \sqrt{m_{X_j}^2 + m_{Y_j}^2 + m_{Z_j}^2} \quad (23)$$

- Werkmeister Nokta Konum Hatası

$$w_{P_i} = m_X m_Y m_Z \quad (24)$$

eşitliklerinden hesaplanır. Burada  $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$  koordinatların ortalama hatalarını göstermektedir (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

- Helmert Ortalama Hata ve Güven Elipsoidleri

Bir noktanın konum duyarlılığı Helmert elipsoidleri ile tanımlanabilir. Söz konusu elipsoidler, nokta konum hatalarına göre daha çok bilgi taşırlar. Bir noktaya ilişkin ortalama hata elipsoidinin elemanları,

$$\begin{aligned} A_H &= m_0 \sqrt{\lambda_1} & \text{x yönündeki yarı eksen} \\ B_H &= m_0 \sqrt{\lambda_2} & \text{y yönündeki yarı eksen} \\ C_H &= m_0 \sqrt{\lambda_3} & \text{z yönündeki yarı eksen} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \cos \alpha_j &= \frac{M_j}{W_j} & \text{x eksenini yönündeki dönüklük} \\ \cos \beta_j &= \frac{N_j}{W_j} & \text{y eksenini yönündeki dönüklük} \\ \cos \gamma_j &= \frac{T_j}{W_j} & \text{z eksenini yönündeki dönüklük} \end{aligned} \quad (26)$$

hesaplanır (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf, 1975). Buradaki ara değerler aşağıdaki formüllerden hesaplanır.

$$\begin{aligned}
M_j &= Q_{xz}(Q_{yy} - \lambda_j) - Q_{xy}Q_{yz} \\
N_j &= (Q_{xx} - \lambda_j)Q_{yz} - Q_{xy}Q_{xz} \\
T_j &= Q_{xy}^2(Q_{xx} - \lambda_j) - (Q_{yy} - \lambda_j) \\
W_j^2 &= M_j^2 + N_j^2 + T_j^2
\end{aligned} \tag{27}$$

Deneysel güven elipsoidinin yarı eksenleri de

$$\begin{aligned}
A_G &= m_0 \sqrt{\lambda_1} 3F_{3,f,1-\alpha} \\
B_G &= m_0 \sqrt{\lambda_2} 3F_{3,f,1-\alpha} \\
C_G &= m_0 \sqrt{\lambda_3} 3F_{3,f,1-\alpha}
\end{aligned} \tag{28}$$

eşitliklerinden hesaplanır. Yarı eksenlere ilişkin dönüklükler de (25) ve (26) eşitliklerinden elde edilir. Bu eşitliklerden görüleceği üzere, bir noktanın geometrik yeri olarak düşünülen hata elipsoidi içine düşme olasılığı, yaklaşık % 27 civarındadır. Oysa, bir noktanın güven elipsoidi içine düşme olasılığı  $S$  istatistik güvene bağlı olup, her durumda % 95 - % 99 olarak alınabilmektedir (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf and Ghilani, 1997).

### 1.7.2.1.2. Lokal Duyarlık Ölçütleri

Noktaların birbirlerine göre konum duyarlıkları lokal duyarlık ölçütleri ile hesaplanır (Kurt, 1996).

- Bağlı Hata ve Güven Elipsoidleri

Herhangi iki ağ noktasının birbirlerine göre konumları koordinatların farklarının bir fonksiyonu olarak düşünüldüğünde, bağlı hata kavramından söz edilir. Hesaplanan bağlı hata elipsoidlerinin geometrik yeri, iki noktayı birleştiren doğrunun orta noktası olarak düşünülür. Her iki noktanın koordinat farkları vektörü ( $d$ ) ve bu vektörün ters ağırlık matrisi ( $Q_{dd}$ ), birim matris  $I$  olmak üzere,

$$d = \begin{bmatrix} I & I \\ I & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ x_k \\ y_k \\ z_k \end{bmatrix} = FX \quad (29)$$

$$Q_{dd} = FQ_{xx}F^T \quad (30)$$

$$Q_{dd} = \begin{bmatrix} q_{d_x d_x} & q_{d_x d_y} & q_{d_x d_z} \\ q_{d_y d_x} & q_{d_y d_y} & q_{d_y d_z} \\ q_{d_z d_x} & q_{d_z d_y} & q_{d_z d_z} \end{bmatrix} \quad (31)$$

eşitliklerinden hesaplanır. Bağlı hata ve güven elipsoidinin yarı eksenleri ve doğrultuları (25), (26), (27) ve (28) eşitliklerinde verilen temel bağıntılara göre  $Q_{dd}$  matrisinden hesaplanır (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf and Ghilani, 1997).

### 1.7.2.1.3. Global Duyarlık Ölçütleri

- Varyans Ölçütü

Varyans ölçütü, deneysel varyans-kovaryans matrisinin ana köşegen elemanlarının toplamı olarak ele alınır (Güllü, 1998; Konak, 1994).

$$iz(K_{xx}) = m_0^2 iz(Q_{xx}) = m_0^2 \sum_{i=1}^{3p} \lambda_i \quad (32)$$

Varyans ölçütünün ayırma gücü, hacim ölçütünün ayırma gücünden çok fazladır. Bu nedenle ağın iç duyarlılığının yüksek olması istenildiğinde varyans ölçütünün minimum olması en uygun amaç fonksiyonudur (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü,

1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf and Ghilani, 1997).

- Ortalama Koordinat Duyarlığı

Ortalama koordinat duyarlığının gerçekleştirilebilir değerleri

$$m_x, m_y, m_z = \sqrt{\frac{\text{iz}(K_{xx})}{3p}} \quad (33)$$

bağıntısından hesaplanır.

- Özdeğer Ölçütü

Ağda koordinat bilinmeyenlerinin belirli bir fonksiyonun karesel ortalama hatasının minimum olması, amaç fonksiyonu olarak benimsenebilir. Bilinmeyenlerin herhangi bir fonksiyonu, en genel biçimiyle,

$$f = FX \quad (34)$$

matris fonksiyonu olarak yazılabilir. Karesel ortalama hatanın minimum olması öngörülen bu fonksiyonun diferansiyeli,

$$df = \frac{\partial F(X)}{\partial x} dx \quad (35)$$

$$df = a^T dx$$

biçimindedir. Karesel ortalama hata,

$$m_f^2 = a^T K_{xx} a = m_0^2 a^T Q_{xx} a \quad (36)$$

şeklinde elde edilir. Varyansın olası değerleri Rayleigh ilişkisi,

$$\lambda_{min} \leq \frac{a^T Q_{xx} a}{a^T a} \leq \lambda_{max} \quad (37)$$

eşitsizliği ile sınırlanabilir. Buradan minimum ve maksimum değerler varyans-kovaryans matrisinin özdeğerlerinin minimum ve maksimum değerleridir. Söz konusu eşitsizlikte sadeleştirmeler yapıldığında,

$$\lambda_{min} \cong \lambda_{max} \quad (38)$$

koşulunu sağlayan jeodezik ağların homojen ve izotrop oldukları sonucuna varılır. Homojen bir ağda güven elipslerinin tümü benzer görünümlü ve aynı büyüklüktedir. İzotrop ağlarda güven elipslerinin yarı eksenleri birbirine eşit ve elipsler daire görünümündedir. Kısaca homojen ve izotrop bir ağda güven hiperelipsoidlerinin yarı eksenlerinin tümü birbirine eşittir. Bunun sonucunda özdeğerler arasında,

$$\lambda_1 \cong \lambda_2 \cong \dots \cong \lambda_{3p} \quad (39)$$

ilişkisi vardır. Bunun gibi,

$$\lambda_{max} - \lambda_{min} \quad (40)$$

amaç fonksiyonlarının her biri homojen ve izotrop bir ağı gösterir (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf and Ghilani, 1997). Jeodezik ağlar da bir işletmeye benzetilerek optimizasyona konu edilebilir. Henüz tasarım aşamasındaki Jeodezik ağın amacı; örneğin kurulacak ağın noktalarının konum hataları en küçük olmalı veya  $\pm 5$  cm. yi aşmamalı, veya ağın nokta hata elipslerinin büyük yarı eksenleri 5 cm'yi aşmamalı şeklinde, ya da güvenilirlik ölçütleriyle ağın kontrol edilebilirlik derecesini gösteren serbestlik derecesi bileşenleri 0,5 den küçük olmamalı, şeklinde ortaya konulabilir (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Özşamlı, 1994; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf and Ghilani, 1997).

### 1.7.2.2. Güven Ölçütleri

Güvenirlilik, hipotez testleri yardımıyla tespit edilmiş model hatalarının büyüklüğünü verir (Ayan, 1981) Güvenirlilik bir ağın ölçülerdeki kaba hataları teşhis edilebilme ve ortaya çıkarabilme kabiliyeti olarak da tanımlanabilir (Dilaver, 1996). Dengeleme sonuçlarına ve onların duyarlıklarına ilişkin yorumlar, matematik modelin gerçeği yansıtması durumunda doğrudur. Model hataları ya da sistematik hatalar dengeleme sonuçlarını etkilemektedir. Duyarlık ölçütleri yalnız başlarına sonuçların güvenirliliğini tanımlamada yetersiz kalırlar. Bu nedenle kaba hatalı ölçüleri ayırma gücü olan iç güvenirlilik ve ortaya çıkarılmayan model hatalarının dengeleme sonuçlarına olan etkilerini gösteren dış güvenirliliğin belirlenmesi gerekir (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf and Ghilani, 1997). Bir jeodezik ağ küçük kaba hataları teşhis edebildiği zaman o ağın güvenirliliğinin yüksek olduğu farz edilir (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf and Ghilani, 1997).

#### 1.7.2.2.1. İç Güven Ölçütü

İç güven ölçütü, bir ölçüdeki hatanın model hipotezinin testi yada model hatalarının genel testi yöntemlerinden biriyle açığa çıkarılabilmesi için en az ne büyüklükte bir değere ulaşması gerektiğini gösterir. Bir ağda oluşabilecek model hatalarının denetlenmesi amacıyla, herhangi bir ölçüde yapılacak hatanın yüzde kaçının bu ölçünün düzeltmesine yansıtacağı

$$r_j = (Q_{vv})_j P_j \quad (41)$$

redundanz payı ile belirlenir. Redundanz payı her ölçü için hesaplanır. Redundanz payı 1'e çok yakın olan ölçüler, ölçü planından çıkarılabilir, küçük değerlere dik yönde yeni ölçüler planlanır.

İç güven ölçütü, bir ölçüdeki kaba hatanın düzeltmeler üzerindeki etkilerini



belirlemek için kullanılan birer sınır değeri olmaktadır (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf and Ghilani, 1997).  $\alpha_0$ , 1. tip hata;  $\beta_0$ , 2. tip hata;  $w_0 = F_{(\alpha_0, \beta_0, f, \infty)}$  dış merkezlik parametresinin sınır değeri, olmak üzere iç güven ölçütü,

$$|A_{0j}| = m_0 \sqrt{\frac{w_0}{P_j r_j}} \quad (42)$$

şeklinde hesaplanır. İç güven ölçütü, bir ağda yapılan ölçülerden herhangi birinin diğer ölçüler yardımıyla denetlenebilirliğinin bir ölçütüdür. Bu ölçüt, bir ölçüde model hipotezi ile saptanamayan en büyük hatanın büyüklüğü hakkında bilgi verir.

#### 1.7.2.2.2. Dış Güven Ölçütü

Dış güven ölçütü, ortaya çıkarılmayan bir model hatasının koordinat bilinmeyenlerine yada bunların fonksiyonlarına etkime katsayısıdır. Ortaya çıkarılmayan bir model hatasının koordinat bilinmeyenlerine etkisi, bunun dengeli ölçülere etkisinden çok daha önemlidir. Dış güven ölçütü,

$$\delta_{oi}^2 = \frac{1 - r_i}{r_i} w_0 \quad (43)$$

şeklinde hesaplanır.

### 1.7.3. Duyarlık ve Güven Ölçütlerinden Türetilen Amaç Fonksiyonları

#### 1.7.3.1. Duyarlık Ölçütlerinden Türetilen Amaç Fonksiyonları

Ağın tüm duyarlık ölçütlerinin kaynağı olan varyans-kovaryans matrisinin bazı özel fonksiyonları, amaç fonksiyonu olarak seçildiğinde, bu amaç fonksiyonlarını sağlayan ağlarda optimizasyon deyimleri ile adlandırılmaktadır. Amaç fonksiyonlarını (Z), sağlayan ağlara verilen adlar aşağıda sıralanmıştır.

a- Ağın global konum duyarlılığı için varyans ölçütünün

$$Z = iz(\underline{K}_{XX}) \Rightarrow \min. \quad (44)$$

olması istenebilir. Bu amaç fonksiyonu sağlayan ağlara A-Optimal ağlar denir.

b- Varyans-kovaryans matrisinin determinantının

$$Z = det(\underline{K}_{XX}) \Rightarrow \min. \quad (45)$$

olması istenebilir. Bu amaç fonksiyonu sağlayan ağlara D-Optimal ağlar denir.

c- Varyans-kovaryans matrisinin özdeğerlerinden en büyüğünün,

$$Z = \lambda_{max.} \Rightarrow \min. \quad (46)$$

olması istenebilir. Bu amaç fonksiyonu sağlayan ağlara E-Optimal ağlar denir.

d- Varyans-kovaryans matrisinin özdeğerlerinden en büyük ve en küçük eksenleri arasındaki farkların

$$Z = \lambda_{max.} - \lambda_{min.} \Rightarrow \min. \quad (47)$$

olması istenebilir. Bu amaç fonksiyonunu sağlayan ağlara S-Optimal ağlar denir.

e- Konum duyarlıklarının her doğrultuda birbirine yakın olması yani,

$$Z = 1 - \lambda_{min.} / \lambda_{min.} \Rightarrow \min. \quad (48)$$

olması istenebilir. Bu amaç fonksiyonu sağlayan ağlara I-Optimal ağlar denir (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf and Ghilani, 1997).

Deformasyon ağları gibi bazı ağlarda noktalara ilişkin güven elipsoidlerinin homojen ve izotrop yapıda olmasının yanı sıra noktaların konum hatalarının minimum olmasını da öngören

$$Z = iz(Q_{XX}) + (\lambda_{max} - \lambda_{min}) \Rightarrow \min . \quad (49)$$

bileşik amaç fonksiyonu seçilebilir. Bu amaç fonksiyonunda birim uyuşumunu sağlamak amacıyla  $(\lambda_{max} - \lambda_{min})$  değeri  $m_0^2$  bölünür.

### 1.7.3.2. Güven Ölçütlerinden Türetilen Amaç Fonksiyonları

Bir jeodezik ağa ilişkin dış yada iç güven ölçütleri amaç fonksiyonu olarak ele alınırsa güven optimizasyonu gündeme gelir (Konak, 1994) Güven ölçütlerinden seçilecek amaç fonksiyonları aşağıda sıralanmıştır.

a- Jeodezik ağlarda ölçülerin redundanz payı önemli bir güven ölçütüdür. Ölçülerin redundanz paylarının,

$$Z = r_i > 0.5 \text{ ya da } r_i > 0.3 \quad (50)$$

sınır değerlerini aşması, bununla birlikte ağın ortalama serbestlik derecesine yakın değerler almaları istenir.

b- İyi planlanmış ve dengelemenin matematik modeli doğru kurulmuş bir ağda, iç güven ve dış güven ölçütlerinin,

$$Z = \Delta_{oi} \cong (6 \text{ ya da } 8) m_i \quad (51)$$

$$Z = \delta_{oi} \cong (6 \text{ ya da } 10) \quad (52)$$

amaç fonksiyonları ile belirlenen sınır değerlerini aşmamaları ve mümkün olduğu kadar küçük değerler almaları istenir (Barda, 1977; Öztürk, 1992; Konak, 1994; Kurt, 1996; Ayan, 1981; Dilaver, 1996).

### 1.8. Deformasyon Modelleri

Deformasyon analizinde kullanılacak deformasyon modelinin seçimi önemlidir. Uygun bir deformasyon modeli deformasyon olayını doğru bir şekilde tanımlarken yetersiz bir model deformasyon analizinde başarısızlıklara neden olabilmektedir. Kompleks deformasyon modelleri modelin doğruluk, güvenilirlik ve hassasiyetini azaltmaz buna karşılık deformasyon analizinin başarısızlığına sebep olabilmektedir. Diğer yandan basit deformasyon modelleri araştırılan objenin deformasyonunu tanımlamak için yetersiz kalabilmektedir. Deformasyon seyri ve şiddeti konusunda bir ön bilgi mevcut olmadığı zaman basit modellerle başlangıç yapılabilmektedir. Eğer basit modeller istatistik testler sonucunda yetersiz görülürse daha kompleks modellerle çalışılabilir.

Deformasyonlar, problemin şekline, kapsamına ve uygulanan ölçme yöntemlerinin türüne göre değişik modeller içinde incelenir. Deformasyon modelleri:

- zamana bağlı olmayan statik,
- zamana ve konuma bağlı olan kinematik,
- hareketin nedeninin de dikkate alındığı zamana ve konuma bağlı dinamik

modellerden oluşmaktadır (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf and Ghilani, 1997).

Statik modelin konusu, deformasyon irdelemesi yapılan objenin karakteristik noktalarına ait deformasyon vektörlerinin, zamandan ve etkiyen dış kuvvetlerden bağımsız olarak belirlemektir. Bu modellerle deformasyonun belirlenmesi için öncelikle obje farklı periyotlarda ölçülmeli; her periyottaki ölçüler ayrı ayrı dengelenmeli; her ölçme periyodunda hesaplanan koordinatlar istatistik yöntemlerle test edilerek deformasyon irdelemesi yapılmalıdır. Bu modelde tüm sistemin bir kez ölçülmesi sırasında noktaların sabit kaldığı varsayılır. Bu tanımla statik model jeodezik olarak en çok uygulanan bir deformasyon modelidir (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf and Ghilani, 1997).

Araştırılan obje bir kez ölçülmesi sırasında genellikle az ya da çok sürekli bir hareket içindedir. Bu durumlarda, zamana bağlı olarak hareket parametrelerinin (konum, hız, ivme) belirlendiği kinematik deformasyon modelleri uygulanmalıdır. Kinematik modelin amacı, deformasyona neden olan dış güçleri dikkate almaksızın zamana bağlı fonksiyonlar yardımıyla nokta hareketlerinin uygun bir tanımını bulmaktır (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Wolf and Ghilani, 1997).

Gelişen ölçme teknikleri, deformasyon analizinde de yeni değerlendirme modellerinin kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Günümüzde artık mühendislik ölçmelerinin amacı, objelerin davranışlarını analiz etmek olmuştur. Başka bir deyişle hareket davranışlarının, harekete neden olan güçler belirlenerek analiz modelinin içine katıldığı dinamik modelle belirlenmesi yeni uğraş alanını oluşturmuştur. Son yıllarda dinamik deformasyon modelleri klasik deformasyon modellerinin (statik ve kinematik) yerini almaya başlamıştır. Dinamik deformasyon modeli, statik ve kinematik deformasyon modellerini kapsayan en genel modeldir. Dinamik deformasyon modeli, deformasyon ile deformasyona neden olan kuvvetler arasındaki fonksiyonel ilişkiyi ifade etmektedir. Bu modelde yalnız geometrik değişimler değil, deformasyona neden olan kuvvetlerin zamana ve dış etkenlere bağlı olarak değişimi ve birbirleriyle ilişkileri yanında, bu kuvvetlerin deformasyon sonucunu doğuran dönüşüm fonksiyonu da araştırılmaktadır. Deformasyon modellerinin sınıflandırılması (Tablo 1.9)'da verilmiştir (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996; Öztürk ve Şerbetçi, 1992)

Tablo 1.9. Deformasyon modellerinin sınıflandırılması

Parametre	Statik Model	Kinematik Model	Dinamik Model
Zaman	Modelleme yok	Hareketler zamanın fonksiyonu olarak düşünülür	Hareketler zamanın ve yüklerin fonksiyonu olarak düşünülür
Etkiyen Güçler	Hareketler yüklerin fonksiyonu olarak düşünülür	Modelleme yok	
Objenin Durumu	Yükler altındaki dengede yeterlilik	Harekette devamlılık	Harekette devamlılık

### 1.8.1. Statik Deformasyon Modeli

Basit olarak iki koordinat değerinin karşılaştırılması yerine, ölçülerin tamamının değerlendirildiği istatistik testlere dayalı çeşitli statik deformasyon modelleri geliştirilmiştir. Statik deformasyon modellerinde bir objede hareket oluşup oluşmadığını, o obje ve çevresini kapsayan deformasyon ağının çeşitli periyotlarda belirlenen nokta koordinat farklarını istatistik olarak eşdeğerlik testi ile saptanmaktadır (Bayrak, 2003; Niemeier, 1977; Niemeier, 1985; Tanır, 2000; Wuhan, 1987; Yalçınkaya, 2003).

Statik deformasyon modellerinden bazıları, Pelzer tarafından geliştirilmiş  $\theta^2$ -Ölçütü, Hech, tarafından geliştirilen ve noktaların analitik yoldan irdelenmesini sağlayan analitik yöntemler, Mierlo tarafından geliştirilen Mierlo Yöntemi, Caspary-Schwintzer tarafından geliştirilen Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemleri olarak isimlendirilir. Bu çalışmada, deformasyon belirlemede en çok kullanılan statik modellerden  $\theta^2$ -Ölçütü yöntemi uygulanacaktır (Hech, 1984; Mierlo, 1978; Pelzer 1987; Tanır, 2000; Wuhan, 1987; Yalçınkaya, 2003).

Deformasyon ağlarının ölçme planı ve uygulanan ölçme yöntemleri, araştırma süresi boyunca aynı kalırsa yöntemden kaynaklanan sistematik etkiler, karşılaştırılan periyotların tümünde benzer ve aynı büyüklükte ortaya çıkmaktadır. Eşdeğerlik testleri sırasında koordinat vektörlerinin farkları ile işlem yapıldığından belirlenen deformasyonlar, sistematik hatalardan arındırılmış olur. İki ölçme periyodu arasında geçen sürede hiçbir noktada deformasyon olmasa bile kaçınılmaz ölçü hataları nedeniyle, bu ölçülerden elde edilen nokta kümeleri arasında kesin bir eşdeğerlik beklenemez. İki ölçü periyodunda elde edilen nokta kümelerinin birbiri üzerine dönüştürülmesi sonucunda bazı noktalar az çok farklılıklar gösterecektir. Bu farklılığın rastgele hatalardan mı kaynaklandığı, yoksa karşılaştırılan bu iki konum bilgileri kümesi arasında bir değişim mi bulunduğu sorusuna  $\theta^2$ -Ölçütü yöntemi ile çözüm aranmaktadır (Niemeier, 1977; Niemeier, 1985; Tanır, 2000; Wuhan, 1987; Yalçınkaya, 2003).

$\theta^2$ -Ölçütü yönteminde, önce tüm periyotlardaki ölçüler ayrı ayrı serbest ağ yöntemiyle dengelenerek, dengeli koordinatlar vektörü ( $x$ ), düzeltmelerin kareleri toplamı ( $v^T p v$ ), bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi ( $Q_{xx}$ ) hesaplanmaktadır. İki periyot arasında anlamlı nokta hareketi olup olmadığını belirlemek için, periyotlardan elde edilen dengeli koordinatların fark vektörü ( $d$ ) hesaplanmaktadır. İki ölçü periyodunda hesaplanan dengelenmiş koordinatlar Helmert dönüşümü ile birbiri üzerine karşılaştırıldığında ortak noktadaki fark doğrudan doğruya  $d$  vektörünün elemanını verir.

İki ölçü periyodunda hesaplanan nokta koordinatları ( $x_1, x_2$ ) ile fark vektörü,

$$d = x_2 - x_1 \quad (53)$$

olarak hesaplanır. Ağın herhangi bir noktasında deformasyon olup oluşmadığını araştırmak için, sıfır hipotezi hiçbir noktada deformasyon yoktur şeklinde

$$H_0: d = 0 \quad (54)$$

oluşturulur.  $d$  fark vektörüne ait kofaktörler matrisi  $Q_d$ , iki grup ölçülerin birbirinden bağımsız olduğu varsayımı ile hata yayılma kuralı uygulandığında,

$$Q_d = Q_{xx1} + Q_{xx2} = (A_1^T P_1 A_1)^+ + (A_2^T P_2 A_1)^+ \quad (55)$$

olarak elde edilir. Hipotezin düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi olan  $\theta^2$ -ölçütü,

$$\theta^2 = (x_2 - x_1)^T \{ (A_1^T P_1 A_1)^+ + (A_2^T P_2 A_1)^+ \} (x_2 - x_1) \quad (56)$$

biçiminde elde edilir.  $Q_d$ 'nin rangı, ağın geometrik şeklinin ve datum parametrelerinin her iki ölçme periyodunda da aynı kaldığı durumlarda

$$h = \text{rang}(Q_{xx1}) = \text{rang}(Q_{xx2}) = u_k - d_{datum} \quad (57)$$

biçiminde hesaplanır. Burada,  $u_k$ , ağdaki koordinat bilinmeyen sayısı,  $d_{datum}$ ; datum parametreleri sayısıdır. Ölçülerin; aynı aletler, aynı meteorolojik koşullarda, aynı ölçme ekibince yapıldıkları varsayılırsa her iki ölçü dizisinin kuramsal varyansları eşit olur. Her iki ölçü kümesinin ortak standart sapması

$$s_0^2 = \sqrt{\frac{v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2}{f_1 + f_2}} \quad (58)$$

$$f_i = n_i - u_i + d_{datum}; \quad i = 1, 2 \quad (59)$$

eşitliğinden hesaplanır. Eşdeğerlik testinin test büyüklüğü,

$$T = \frac{\theta^2}{s_0^2 h} \quad (60)$$

olarak hesaplanır (Kapman, 1991; Niemeier, 1977; Tanır, 2000; Wuhan, 1987; Yalçınkaya, 2003).

Test değeri  $T$ ,

$$f = f_1 + f_2 \quad (61)$$

olmak üzere, F-tablo değeri ile karşılaştırılır.  $T < F_{h,f,1-\alpha}$  ise  $H_0$  hipotezi geçerlidir. Yani iki periyot arasında geçen sürede  $S=1-\alpha$  kadar bir istatistik güvenle ağ noktalarında deformasyon gözlenmemiştir denilebilir.  $T > F_{h,f,1-\alpha}$  ise  $H_0$  hipotezi geçerli değildir. Yani iki periyot arasında geçen sürede  $S=1-\alpha$  kadar bir istatistik güvenle ağ noktalarından birinde ya da birkaçında deformasyon olduğuna karar verilir.

Deformasyon olduğuna karar verildikten sonra, ağda hareket eden noktalar tek tek belirlenir. Bunun için ağ noktaları içinde her seferinde bir nokta hareketli, diğerleri sabit olduğu varsayımı ile nokta sayısı kadar  $\theta^2$ -Ölçütü değeri hesaplanır.  $d$  fark vektörü ve  $Q_d$  kofaktörler matrisi aşağıdaki gibi alt matrislere ayrılır (Bayrak, 2003; Bayrak, ve Yalçınkaya, 2002, Gründlig, 1985; Nevreither ve Bahndorf, 1984; Kashuhe., Hein, W. G., Kisterman, R., 1979, McElroy, 1990; Pelzer, 1971)

$$d = \begin{bmatrix} d_F \\ d_B \end{bmatrix} \quad Q_d = \begin{bmatrix} Q_{FF} & Q_{FB} \\ Q_{BF} & Q_{BB} \end{bmatrix} \quad (62)$$

Burada  $B$ , hareketli noktaları ve  $F$ , sabit noktaları göstermektedir.  $Q_{dd}$  matrisinin tersi alınarak ağırlık matrisi aşağıdaki biçimde,

$$Q_{dd}^+ = P_{dd} = \begin{bmatrix} P_{FF} & P_{FB} \\ P_{BF} & P_{BB} \end{bmatrix} \quad (63)$$

elde edilmiş olur. Her nokta deformasyon kuşkusu bulunan  $B$  noktası olarak ele alınır. Böylelikle her yeni adımda başka bir noktanın koordinatları, alt vektör  $d_B$  olarak yazılır.



Bu durumda ağın nokta sayısı  $p$  kadar aykırılık etkisi hesaplanır. Alt matrisler Gauss yöntemi ile indirgenerek,

$$\bar{d}_B = d_B - P_{BB}^{-1} P_{BF} d_F \quad \bar{P}_{FF} = P_{FF} - P_{FB} P_{BB}^{-1} P_{BF} \quad (64)$$

değerleri hesaplanır. Bu değerler yardımıyla  $\theta^2$  değeri,

$$\theta^2 = d^T P_{dd} d = d_F^T \bar{P}_{FF} d_F + \bar{d}_B^T P_{BB} \bar{d}_B \quad (65)$$

olarak bağımsız iki bileşene ayrılır.  $d_F^T \bar{P}_{FF} d_F$  sabit olduğu varsayılan noktaya ait aykırılık,  $\bar{d}_B^T P_{BB} \bar{d}_B$  hareketli olduğu varsayılan her noktaya ait aykırılıktır.

$$(\theta^2)_i = (\bar{d}_B^T P_{BB} \bar{d}_B)_i \quad i=1,2,\dots,p \quad (66)$$

Toplam aykırılıktaki payı en büyük olan  $(\theta^2)_{max} = \max(\theta^2)_i$  olan noktada,  $S=1-\alpha$  kadar istatistik güvenle deformasyon olduğuna karar verilir. Ağda hareket eden başka nokta bulunup bulunmadığını araştırmak için  $d$  ve  $Q_{dd}$  matrislerine bir  $S$ -dönüşümü yapılarak geriye kalan  $(p-1)$  noktadan yararlanarak yeni bir datum verilir.  $d$  ve  $Q_{dd}$  de deformasyon noktasına ait elemanlar, en son satır ve sütunlara atılır.

GPS ağları için ortogonal özellikli dönüşüm parametre katsayılar matrisi ( $G$ ),  $p$  sayıda nokta için aşağıdaki biçimde oluşturulur.

$$\underline{G}^T = \begin{vmatrix} \frac{1}{\sqrt{P}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{P}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{P}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{P}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{P}} & 0 & \dots & 0 & \frac{1}{\sqrt{P}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{P}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{P}} & \dots & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{P}} \end{vmatrix} \quad (67)$$

$G$  matrisinden yararlanarak  $S$  dönüşüm matrisi aşağıdaki biçimde elde edilir.

$$s_i = I - G(GG^T)^{-1} G^T \quad (68)$$

Dönüşüm matrisi yardımıyla  $d$  ve  $Q_{dd}$  matrisi

$$d_i = s_i d \quad (69)$$

$$Q_{d_i d_i} = s_i Q_{dd} s_i^T \quad (70)$$

biçiminde dönüştürülür.  $i$ . dönüşümden sonra fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisi

$$d_i = \begin{vmatrix} d_D \\ d_N \end{vmatrix} = s_i = \begin{vmatrix} d_F \\ d_B \end{vmatrix} = s_i d \quad (71)$$

$$Q_{didi} = \begin{vmatrix} Q_{DD} & Q_{DN} \\ Q_{ND} & Q_{NN} \end{vmatrix} \quad (72)$$

biçiminde alt matrislere ayrılır. Burada,  $D$ , datum noktalarını;  $N$ , datum dönüşümüne katılmayan noktaları göstermektedir.  $d_N$  toplam aykırılıktaki payları en büyük olan  $\theta^2_{max}$  noktalarına ait  $d_B$  değerinin dönüşümden sonraki değeridir.  $i$ . belirleme adımından sonra kalan aykırılık,

$$\theta^2_{kalan} = d_D^T Q_{DD}^+ d_D \quad (73)$$

olarak hesaplanır. Serbestlik dereceleri,  $m$ ; deformasyon olduğu belirlenen noktaya ilişkin koordinatların sayısı olmak üzere  $h_D = h - m$ ,  $f_D = f - 3$  biçiminde hesaplanır. Test büyüklüğü,

$$T_D = \frac{\theta^2_{kalan}}{s_0^2 h_D} > F_{h_D, f_D, 1-\alpha} \quad (74)$$

ise ağda hareketli nokta vardır. Yeni hareketli nokta, yukarıda açıklanan işlemler tekrar edilerek belirlenir. Bu işlemlere test büyüklüğü, tablo değerinde küçük oluncaya kadar devam edilir. Son bir  $S$  dönüşümü ile ağda sabit kalan noktalar ( $P_D$ ), deformasyon olduğu kanıtlanan noktalar ( $P_N$ ) ve deformasyon büyüklükleri ( $d_N$ ) elde edilir (Ayan, 1981; Baarda, 1968; Dilaver, 1996; Güllü, 1998; Koch, 1988; Konak, 1994; Kurt, 1996 ; Niemeier, 1977; Niemeier, 1985; Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Öztürk, Şerbetçi, 1992; Pelzer, 1971. Pelzer, 1987; Wolf and Ghilani, 1997; Wuhan, 1987; Yalçinkaya, and Öztürk, 1994; Yalçinkaya, Tanır, 2000; Yalçinkaya, 2003).

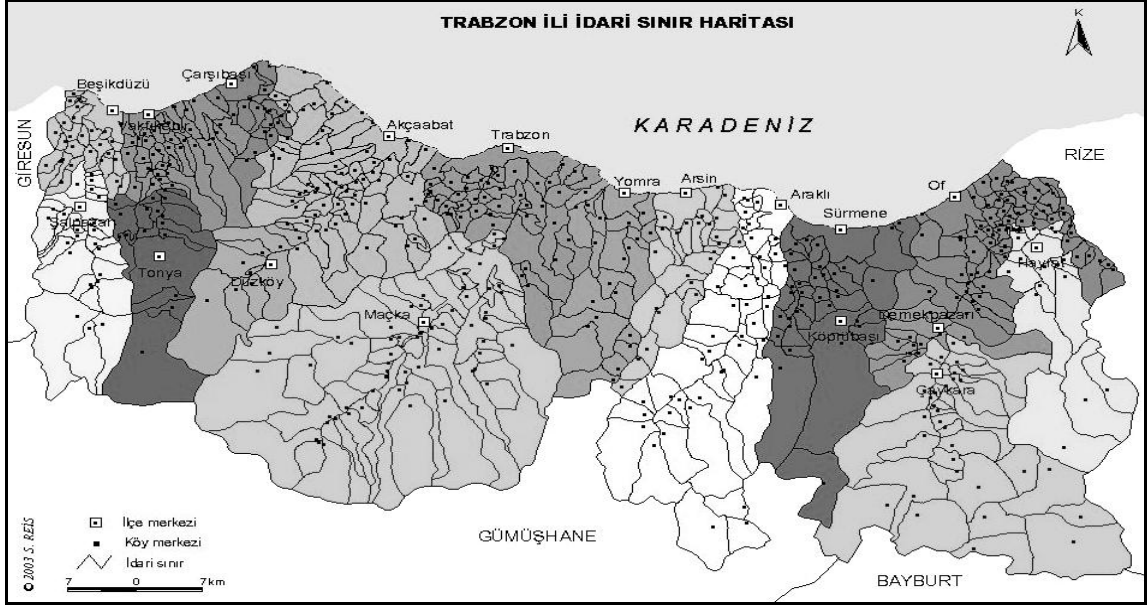
## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışmada, Trabzon ilinde KTÜ Kanuni kampusündeki Harita Mühendisliği binası üzerinde bulunan TRAB IGS noktası ve üzerine tesis edildiği binanın hareketliliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla;

- Araştırma alanının özellikleri ve tektonik yapısı araştırılması,
  - Türkiye'deki IGS noktaları ve TRAB IGS noktasının incelenmesi,
  - TRAB IGS İstasyonunun 2000–2005 yılları arasında IERS tarafından değerlendirilmiş ITRF2005 kartezyen koordinat kümeleri ve hız verilerinin incelenmesi,
  - Harita Mühendisliği binası ve çevresini kapsayacak biçimde bir jeodezik GPS kontrol ağı ile deformasyonların belirlenmesi,
  - Harita Mühendisliği Bölüm binasını ve çevresini kapsayacak şekilde bir nivelman kontrol ağı ile deformasyonların belirlenmesi
- çalışmaları yapılmıştır.

### 2.1. Araştırma Alanının Özellikleri

4.664 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahip Trabzon ili, Doğu Karadeniz Dağlarının oluşturduğu yayın ortasındaki Kalkanlı dağlık kütesinin kuzeye bakan yamaçlarında 38° 30' – 40° 30' doğu meridyenleri ile 40° 30' – 41° 30' kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Gümüşhane ve Bayburt, doğusunda Rize, batısında Giresun ili bulunmaktadır (Şekil 2.1) (Ardel, 1943; İnan, vd. 2002; URL-13, 2008).



Şekil 2.1. Trabzon İli (Reis, 2003)

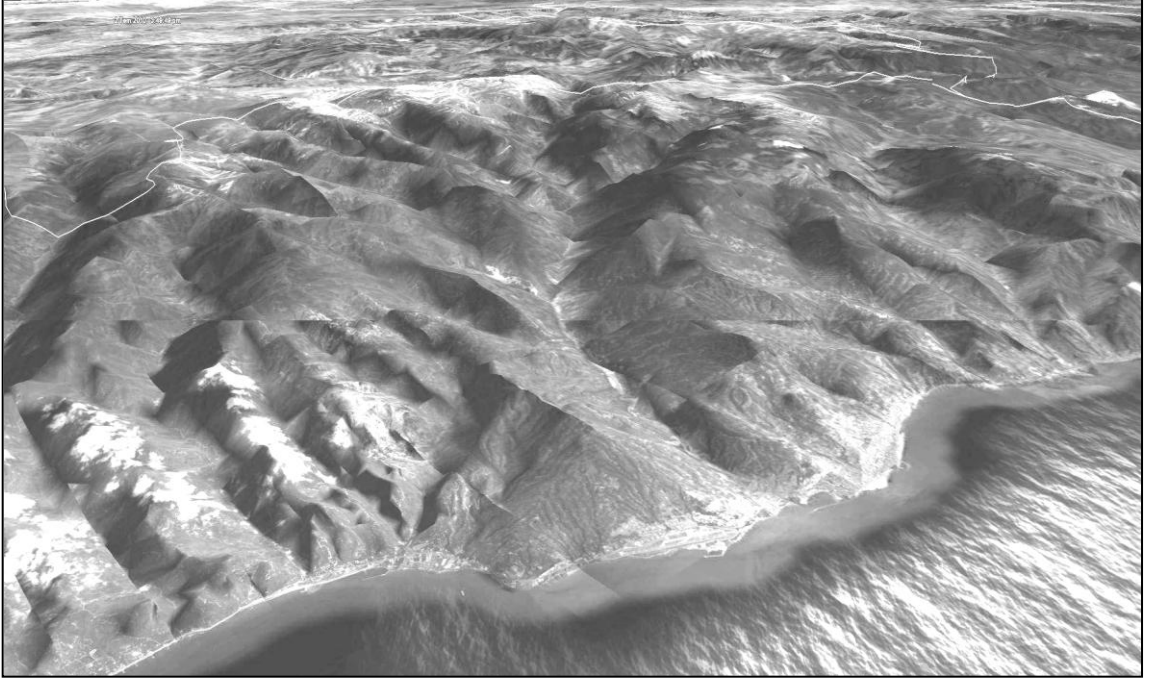
Trabzon ilinin başlıca yeryüzü şekilleri; güneyde su bölümü çizgisi boyunca Doğu-Batı doğrultusunda uzanan dağlık alanlar, bunların ana akarsuyun kolları arasına, Kuzeye doğru sokulan ve gittikçe alçalan tepelik sahalar ile sahadaki mevcut şekillenmeyi sağlayan önemli dış etmen olan Solaklı, Yomra, Değirmendere, Sera, Kalenima, Foldere gibi akarsuların oluşturduğu vadiler ve deltalardır (URL-13, 2008).

### 2.1.1. Trabzon İli'nin Topografik Yapısı

Trabzon ilinde dağlık alanlar Doğu-Batı doğrultusunda uzanmakta olup, Kuzeyinde Karadeniz kıyılarını gören yay gibi bir eksen oluştururlar. Bölgenin yüksek dağ karakteri, düşey hareketler sonucunda teşekkül etmiştir.

Doğu-Batı yönünde uzanan su bölümü hattının en yüksek bölümü doğudaki Haldizen Dağları'dır. Bu dağlar aynı zamanda Doğu Karadeniz Dağları'nın en yüksek bölümü olan Kaçkarlar'ın batıya doğru olan son uzantılarıdır. Daha batıda yer alan Soğanlı dağlık kütleleri bir bindirme fayından itibaren meydana gelmiştir. Dağlık alanların batı kısmını Kalkanlı ve Horos Dağları oluşturmaktadır ve genel yükselti seviyesi giderek düşmektedir. Dağlık kütlelerin kuzeye doğru devam eden vadiler arası bölümleri giderek daralmış ve yan derelerle önemli ölçüde parçalanmışlardır. Bu nedenle tepelik alanlar, yükseltileri güneyden kuzeye doğru giderek alçalan komşu havzalarla olan su bölümü çizgilerini takip

etmektedir. (Ardel, 1943; İnan vd., 2002; URL-13, 2008). GoogleEarth uydu görüntüsünden Trabzon İlinin bir bölümünün yüzey şekilleri (Şekil 2.2)'de gösterilmiştir.



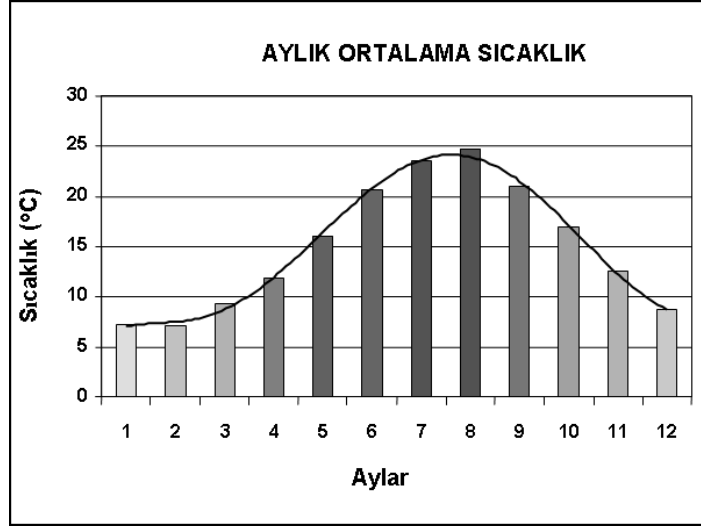
Şekil 2.2. Trabzon İlinin topoğrafyası (URL-23, 2010)

Akarsuların oluşturduğu vadiler özellikle ikinci dereceden kolların ve onlara karışan yan derelerin buldukları kısımlarda oldukça dardırlar. Bu özellik sahanın büyük kısmında hakimdir.

### 2.1.2. Trabzon İli'nin İklimi

Trabzon İli, kuzeydeki kutupsal hava kütleleriyle, güneydeki tropikal hava kütlelerinin geçiş sahası üzerinde yer almaktadır. Kışın, güneşim zahiri hareketlerine bağlı olarak, Tropikal Yüksek Basınç'ın güneye inmesiyle, genellikle kuzeyden gelip Anadolu yüksek kara parçası üzerine yerleşmiş bulunan Sibirya Antisiklonu'nun ve kuzeyde Doğu Avrupa üzerinde yer alan kutbi kava kütlelerinin etkisindeki bir konverjans sahası özelliği taşır. Ancak, yeryüzüne yakın kısımlarda, kış sıcaklıkları, kuzeyde Karadeniz'in varlığı ve kıyıya yakın mesafede set gibi uzanan Doğu Karadeniz Dağları'nın bulunuşu nedeniyle, aynı enlemlerdeki diğer sahalara göre oldukça ılıman hale gelmektedir (Anlı, vd., 2009; Bayrak ve Ulukavak, 2009; Gürgen, 2004; Jansen, vd., 2002; URL-29, 2009).

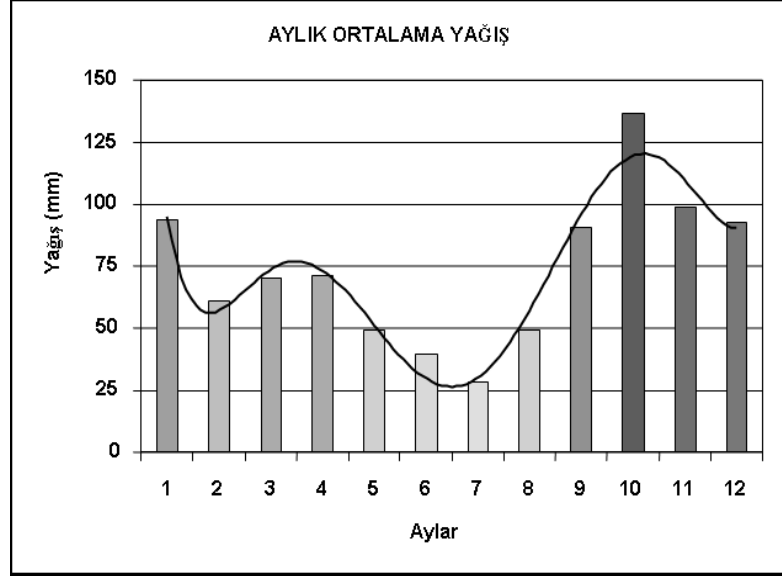
9 yıllık yapılan gözlemler sonucunda Trabzon'un yıllık sıcaklık ortalaması 14.8 °C olarak belirlenmiştir. Trabzon, denizsel iklimlerin karakteristik özelliğini taşır. Trabzon'da aylık ortalama sıcaklık eğrisi bütün yıl 5 °C üzerinde seyretmektedir. Sıcaklık ortalaması 20 °C yi geçen ay sayısı sadece 4'tür. (Şekil 2.3)'te Trabzon İli'nin aylık ortalama sıcaklık grafiği verilmiştir (Bayrak ve Ulukavak, 2009).



Şekil 2.3. Trabzon İli aylık ortalama sıcaklık grafiği.

Yağışlar, kıyıya yakın alanlarda yağmur, orta ve yüksek kesimlerde ise genellikle kar şeklindedir. Yazın ise yeryüzüne yakın atmosfer bölümlerinde Azor Yüksek Basınç Alanı'nın uzantıları ve Basra Alçak Basınç Merkezi arasında gelişen kuzey sektörlü hava akımları ile Karadeniz üzerinden taşınan nemli kara kütleleri, kıyı kesiminde orografik yağışlara yol açmakta, zaman zaman yine kuzeyden sokulan serin hava baskınları ile soğuk cephe sağanak yağışları da sık sık görülmekte, yüksek seviyelerin soğuk hava damla durumlarında büyük kararsızlık ve önceden kestirilemeyen gelişmeleri ile bol yağışlar düşmektedir (Anlı, vd., 2009; Bayrak ve Ulukavak, 2009; Gürgen, 2004; URL-29, 2009).

Trabzon'un yıllık toplam yağış miktarının 9 yıllık ortalaması 882.3 mm (Türkiye ortalaması 735 mm) olup yağışlar her mevsim dengeli olarak dağılmıştır. Bu nedenle Trabzon'da kurak mevsim yoktur. En az yağış alan yazın toplam yağış miktarı kuraklık sınırının üzerindedir. Trabzon için oluşturulmuş aylık ortalama yağış grafiği (Şekil 2.4)'de görüldüğü üzere Trabzon'un sıcaklık gibi, istikrarlı bir yağış rejimine de sahip olduğu sonucunu çıkarmak mümkündür (Bayrak ve Ulukavak, 2009).



Şekil 2.4. Trabzon İli Aylık ortalama yağış grafiği.

Bahar mevsimleri kış ve yaz arasında yumuşak bir geçişi sağlamakta ve bol yağmurlarıyla dikkati çekmekte, özellikle kıyıya yakın alanlar bu aylarda yoğun ekip-dikme faaliyetlerine sahne olmaktadır. İlkbahar mevsimi Mart ayından itibaren kendini göstermeye başlar, Nisan ve Mayıs aylarını içine alır. Bu mevsimde aylık ortalama sıcaklıklar 15 °C'nin üzerine çıkar. Sonbahar mevsimi ise yaklaşık üç aylık bir dönemi kapsar ancak Eylül ayı kısmen yaz, Kasım ayı da nispeten kış mevsimi özelliklerini taşır (Anlı, vd., 2009; Bayrak ve Ulukavak, 2009; Gürgen, 2004; URL-29, 2009).

## 2.2. Araştırma Alanının Tektonik Yapısı

### 2.2.1. Doğu Karadeniz Bölgesinin Aktif Fayları

KAF'ın kuzeyinde kalan Doğu Karadeniz Bölgesinin tektonik açıdan incelenmesi, fayın bu bölgedeki yaptığı hareketliliğin açıklanmasında aydınlatıcı bilgi verecektir. Araştırma alanında yapılan jeolojik çalışmalar, bölgede var olan fayların Karadeniz'deki fay sistemlerine paralel olduğunu göstermiştir. Jeolojik, jeofiziksel ve hava fotoğraflarından elde edilen verilerde Trabzon ve çevresinde Doğu Pontid aktif ve paleo kırık sistemine paralellik gösteren KD-GB, D-B ve KB-GD olmak üzere üç ana kırık sisteminin varlığını ortaya koymaktadır (Bektaş ve Çapkinoğlu, 1997; Bektaş ve Eyüboğlu vd., 2003; Keskin, 2007). Anadolu ile Avrasya levhalarını sınırlayan D-B doğrultulu ters

fay gerçekte tek bir fay olarak değil, üç ayrı fay sistemi olarak çalışmaktadır (Şekil 2.5) (Bektaş ve Çapkınoğlu, 1997; Bektaş ve Eyüboğlu, 2003; Keskin, 2007; Özener, 2004; Özener, vd., 2005).



Şekil 2.5. Kuzeydoğu Anadolu Bölgesinde görülen aktif ters fay kırıkları (A- KB-GD doğrultusunda, B- D-B doğrultusunda ve C- KD-GB doğrultusunda) (Keskin S., 2007).

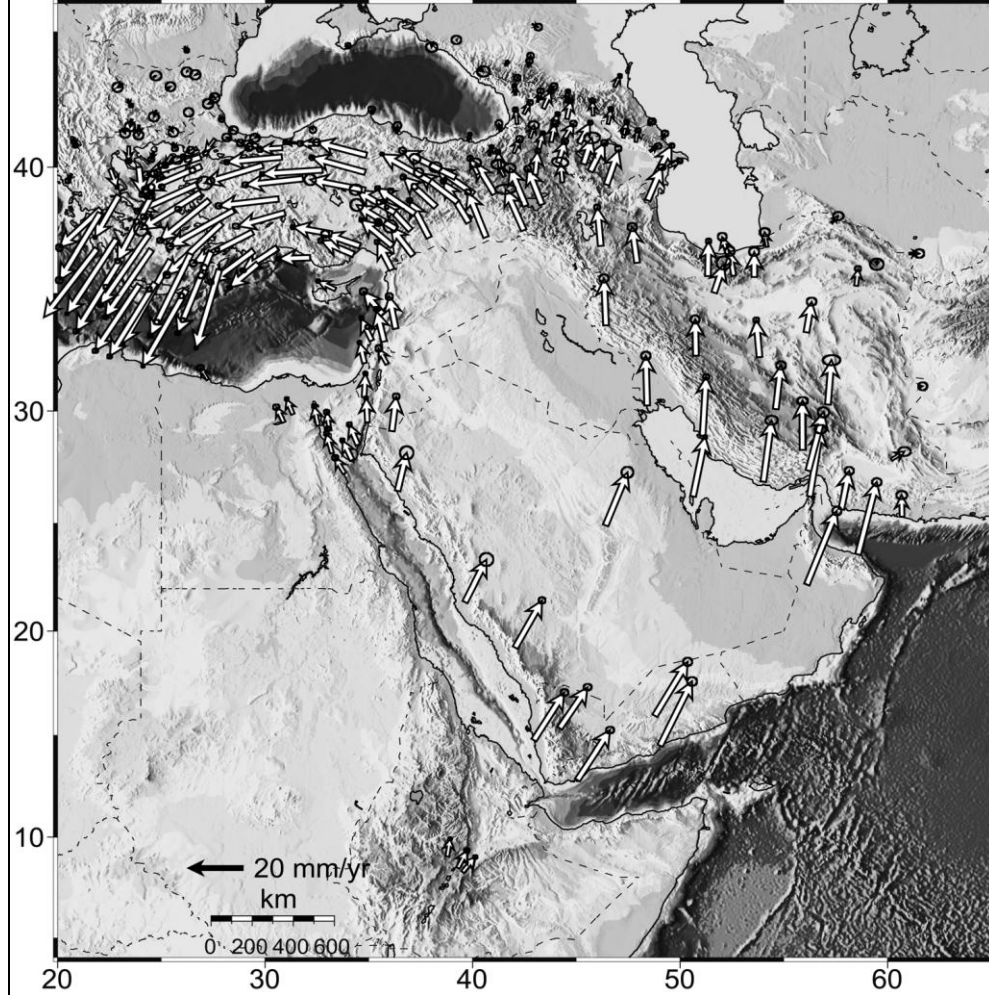
### 2.2.2. Trabzon Bölgesi'nin Tektoniği ve Depremselliği

Güncel aletsel verilere göre her üç doğrultudaki kırıklar aktif özellik göstermektedir. Tarihsel ve güncel deprem verilerine göre Trabzon ve çevresinde can ve mal kaybına sebebiyet veren deprem olmamasına karşın magnitüdü M=6 büyüklüğüne kadar olan deprem kayıtları mevcuttur. Bu depremlerin odak merkezleri faylara paralellik göstermektedir.

Fayların hareket miktarları hakkında kesin veriler olmamasına rağmen güncel GPS verilerine göre Trabzon yöresi yılda birkaç mm Kuzeybatıya doğru hareket etmektedir. Türkiye, Afrika Kıtası'nın Kuzeydoğusu ve Arap Yarımadası'nı içine alan çalışmada yapılmış GPS oturumlarının değerlendirilmesi sonucu hareket hızları belirlenmiştir (Şekil



2.6). (Bektaş ve Çapkinoğlu, 1997; Bektaş ve Eyüboğlu, 2003; Keskin, 2007; Özener, 2004; Özener, vd., 2005; McClusky vd., 2006).



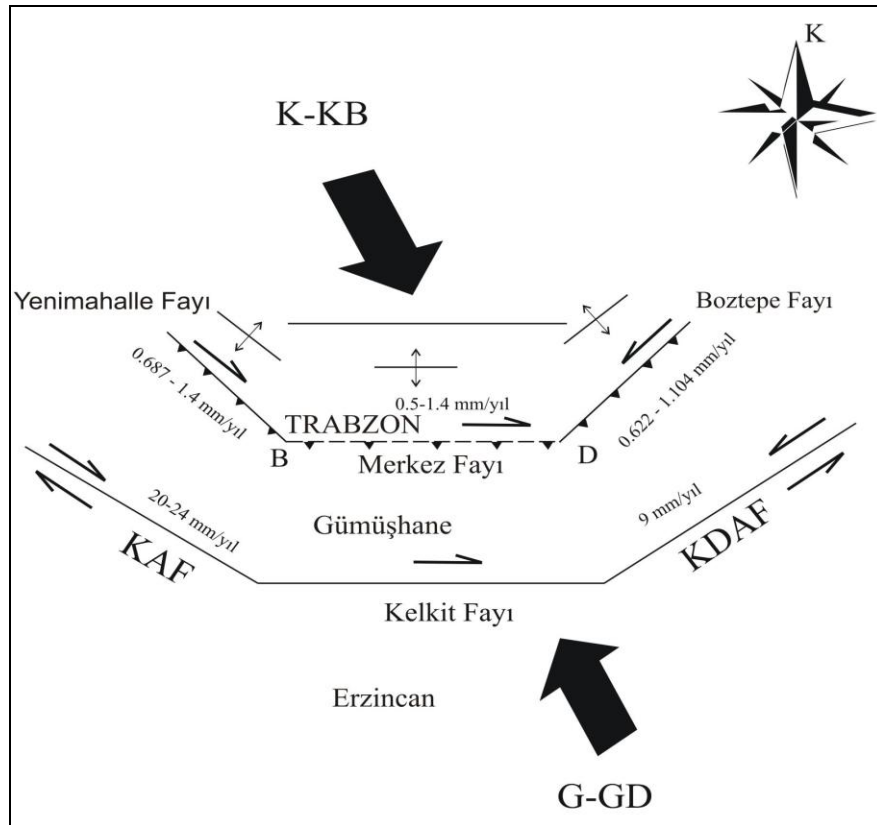
Şekil 2.6. Avrasya, Afrika ve Arap Levhalarında yapılan GPS oturumlarından elde edilen hız vektörleri (McClusky, vd., 2000)

### 2.2.3. Trabzon Faylarının Kinematığı ve Diğer Faylarla İlişkileri

Trabzon Bölgesindeki fay hareketleri incelendiğinde Petrol aramalarına yönelik yapılan sismik çalışmalar (Rangin vd., 2002), Karadeniz'deki normal fay sistemlerinin inversiyona uğrayarak aktif ters faylara dönüştüğünü göstermiştir. Bu aktif ters faylar (blind fault), Doğu Karadeniz'de Trabzon Fay Zonu'nu oluşturmakta ve aktif kıvrımların içinde yer almaktadır.

Karadeniz'in güneye doğru oblik yitiminden kaynaklanan aktif deformasyon, self bölgesindeki itki fayları ve karadaki doğrultu atımlı faylar tarafından farklı oranlarda

paylaşmıştır. Bu nedenle KAF'ın yıllık sağ yanal hareketi 20-24 mm/yıl, Kafkaslar'ın 3-5 mm/yıl ve Kuzey Doğu Anadolu Fayı (KDAF)'ın 9 mm/yıl iken (McClusky vd., 2000), Doğu Pontidler'in kuzeye doğru itilmesi yılda birkaç mm'dir (Bektaş ve Eyüboğlu, 2003). İnceleme alanında yürütülen çalışmalarda, bölgede var olan fayların Karadeniz'deki fay sistemlerine paralellik gösterdiği saptanmıştır (Bektaş ve Çapkınoğlu, 1997; Eyüboğlu vd., 2006). (Şekil 2.7)'de inceleme alanında ortaya çıkarılmış fay hareketleri ve bu hareket eden fayların yıllık hareketleri gösterilmiştir (Bektaş ve Çapkınoğlu, 1997; Bektaş ve Eyüboğlu vd., 2003; Keskin, 2007; Özener, 2004; Özener, vd., 2005; McClusky, vd., 2006).



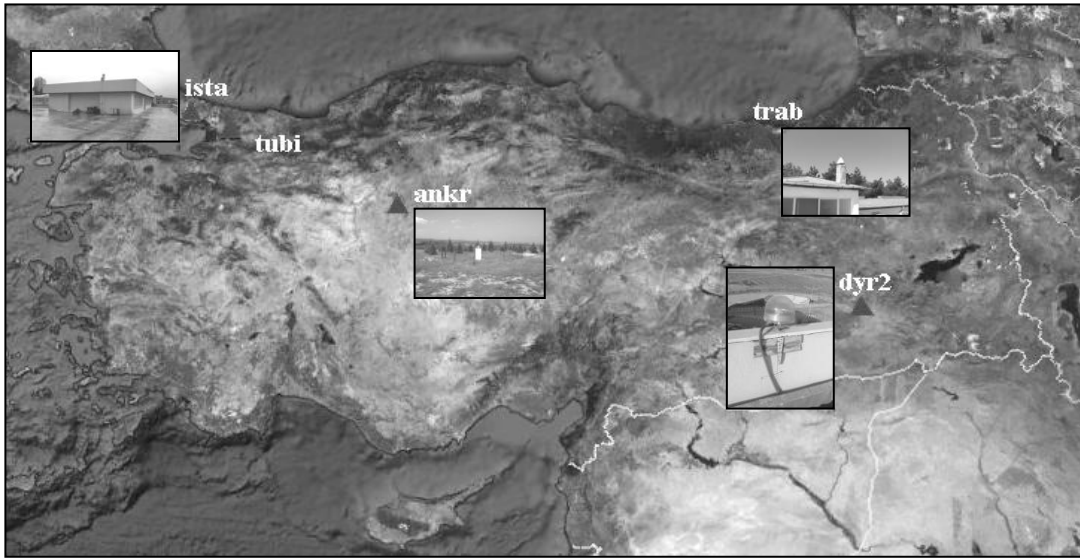
Şekil 2.7. Bölgedeki fayların kinematiki, hareket miktarları ve aktif olan KAF ve KDAF olan ilişkileri (Keskin S., 2007)

Türkiye, üzerinde bulunan Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fayları'nın hareketliliğinin sonucunda deprem araştırmalarının önemli bir gözlem alanı olarak nitelenmiştir. Trabzon yöresini de kapsayan Güneydoğu (GD) Karadeniz sahil kesiminin denizel taraçaları ve aktif tektoniği araştırılması sonucunda, belirlenen faylardan KB-GD

doğrultu olan Yenimahalle ve Faroz faylarının yatay hareket miktarları sırasıyla, 0.687-0.016 mm/yıl ve 0.687-1.4 mm/yıl olarak bulunmuştur. Diğer yandan KD-GB doğrultulu olan bu faylardan Fatih, Erdoğan ve Boztepe faylarının hareket miktarları 0.622-1.4 mm/yıl, 0.687-1.104 mm/yıl ve 0.622-1.104 mm/yıl arasında değişmektedir (Keskin, 2007).

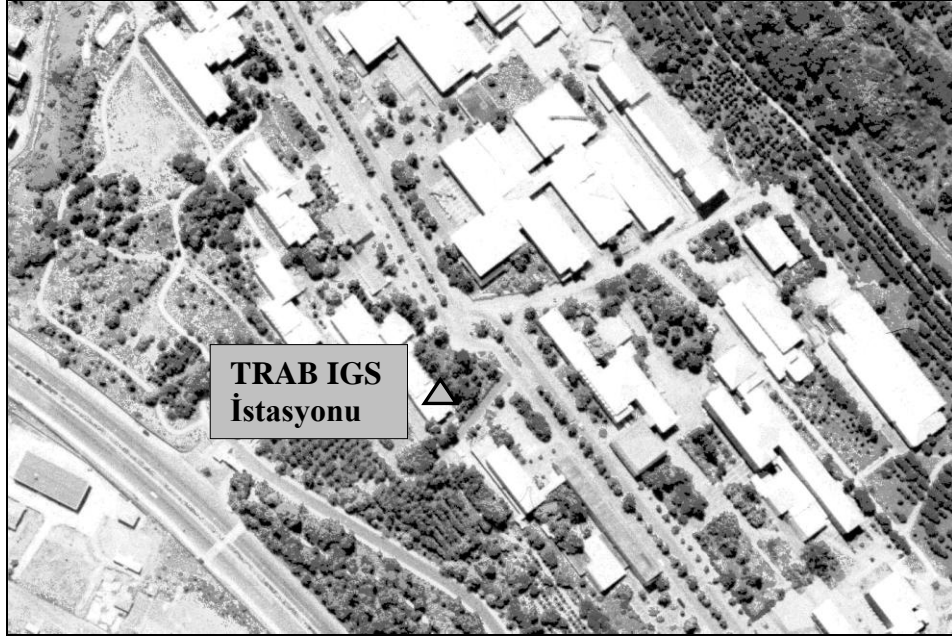
### 2.3. TRAB IGS İstasyonu

Yeryüzünde kurulmuş IGS GPS ağına bağlı ülkemizde beş IGS istasyon noktası bulunmaktadır (Şekil 2.8). Ankara'da ANKR, Diyarbakır'da DYR2, Gebze'de TUBI, Trabzon'da TRAB ve İstanbul'da ISTA isimli noktalar Türkiye'de yapılan tektonik araştırmalarda, deformasyon çalışmalarında vb. birçok konuma dayalı uygulamalarda da kullanılmaktadır.



Şekil 2.8. Türkiye'de yer alan IGS İstasyonları.

TRAB IGS İstasyonu, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Kuzey Anadolu Fayının kuzey bölgesinde Trabzon ilinde bulunmaktadır. TRAB IGS İstasyonu KTÜ Kanuni kampüsü içerisinde bulunan Harita Mühendisliği Bölüm Binasına Alman Federal Kartografya ve Jeodezi Dairesi (Bundesamt für Kartographie und Geodesie) tarafından kurulmuştur (Şekil 2.9) (URL-14, 2009).



Şekil 2.9. KTÜ Harita Mühendisliği Bölümü Binası üzerinde TRAB IGS noktası.

TRAB IGS anteni Harita Mühendisliği Binasının çatısına tesis edilmiştir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. KTÜ Harita Mühendisliği binası çatısına tesis edilmiş TRAB IGS anteni.

8 Aralık 1999 tarihinde bu istasyonun GPS sinyali alıcısının anteni GLONASS uydu sinyallerine uyumlu Jeodezik GPS anteninin takılmasıyla GNSS istasyonuna dönüştürülmüştür (URL-14, 2009). GPS sinyalleri alındıktan sonra veriler bina içerisinde bulunan servere kaydedilmektedir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. IGS istasyonunun server terminali.

Bu istasyon tektonik araştırmalarda, Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı'nın (TUSAGA) Türkiye'de gerçekleştirilecek tüm GPS çalışmalarında referans koordinat sisteminin sabit bir noktası olarak, periyodik ölçülen noktalarda yatay hız alanlarının hesaplanmasında, Türkiye ve çevresinin ITRF sistemlerindeki hız alanlarının hesaplanmasında, Türkiye ve çevresinin Anadolu-Sabit sisteminde hız alanı hesaplanmasında, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı 1999A'da (TUTGA-99A) referans koordinat sisteminin oluşturulmasında, fay kinematiği belirleme çalışmalarında ve bunlara benzer birçok uygulamada referans noktası veya örnekleme noktası olarak kullanılmaktadır (URL-17, 2009; URL-18, 2009).

#### **2.4. TRAB IGS Noktasının ITRF 2005 2000.0 Epoklu Kartezyen Koordinatlarının İncelenmesi**

Çalışmada, TRAB IGS noktasının, ITRF 2005, 2000.0 epoklu kartezyen koordinatları incelenmiştir. Noktanın, 2000–2005 yılları arasındaki 2191 günlük kartezyen koordinatlarının elde edilmesinde aşağıdaki işlem adımları izlenmiştir:

- Öncelikle Uluslararası Yer Dönüklük ve Referans Sistemleri Servisi'nin (IERS) <http://www.iers.org> web adresinden IERS'in ana sayfasına girildi.

- Açılan sayfadan Veri/Ürünler (Data/Products) bağlantısına tıklanarak (<http://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/data.html>) IERS tarafından üretilen veri ve ürünlerin web sayfasına ulaşıldı. Bu sayfada ITRF/ITRS satırına gelinerek ITRF (<http://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/ITRF/itrf.html>) bağlantısına tıklandı. Tekrar açılan sayfadan ITRF2005 ile ilgili satıra gelinerek ITRF tanıtımı (ITRF Description) ([http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF\\_solutions/2005/ITRF2005.php](http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2005/ITRF2005.php)) bağlantısına tıklandı (URL-24, 2009).
- TRAB IGS noktasının IERS'in bünyesinde tanımlanmış olan kod numarası belirlendi. MERIT (Monitoring of Earth Rotation and Intercomparison of Techniques: Yer Dönüklüklerinin Farklı Tekniklerle Belirlenmesi) istasyonlarının listesi kelimelerinin kısaltılmasıyla oluşan ve her bir istasyon için farklı oluşturulan kod numarası DOMES (Directory of MERIT Sites) TRAB IGS istasyonu için 20808M001 olarak belirlenmiştir (URL-24, 2009).
- TRAB noktasına ait olan 20808M001 DOMES (URL-15, 2009) numarasını yeni açılan sayfanın üst kısmında yer alan DOMES numarasına göre ara (Search by DOMES Number) yazan kısmın yanındaki kutucuğa yazılıp, OK yazısının üzerine tıklanarak [http://itrf.ign.fr//site\\_info\\_and\\_select/site.php](http://itrf.ign.fr//site_info_and_select/site.php) bağlantısından açılan yeni sayfada TRAB noktasının haritadaki konumu, hangi plaka üzerinde yer aldığı, coğrafi koordinatları ve yıllara göre değerlendirilmiş ITRF koordinatları ve bu koordinatların kullanılabilirliği görülmüştür (Şekil 2.12) (URL-24, 2009).


### Site Information and Selection

---

**General site information**

Site Name : TRABZON

Country Name : TURKEY  
Longitude : 39°47'  
Latitude : 41°00'  
Tectonic plate : EURA



2008 site velocity

— horizontal (1cm/yr)  
— vertical (1cm/yr)

**Local tie information**

No ties information available yet.

**Point information and selection**

▶ View all points

		ITRF						
Domes	Description	code	93	94	96	97	2000	2005
20808M001	Roof of the technical university/Survey Marker on a pillar	TRAB	■	■	■	■	■	■

**ADD SELECTED POINTS TO CART** ↗

Caption :  Calculated  Not Calculated  Information not available

Şekil 2.12. ITRF koordinatlarının kullanılabilirliğinin web adresindeki gösterimi

(Şekil 2.12)'de ITRF'in kullanılabilir versiyonları görülmektedir. Hangi koordinat sisteminin verilerinin hesaplanmış, hesaplanmamış veya herhangi bir bilgisinin olup olmadığı altında bulunan kutucuklardan anlaşılabilir (URL-24, 2009).

- Açılan pencereden seçilen noktaları sepete ekle (Add Selected Points To Cart) kutucuğunu işaretleyip, sayfanın sol sütununda yer alan koordinatları çağır (Get Coordinates) bağlantısına tıklanarak yeni açılan web sayfasının ([http://itrf.ign.fr/site\\_info\\_and\\_select/solutions\\_extraction.php](http://itrf.ign.fr/site_info_and_select/solutions_extraction.php)) üst kısmında ITRF istasyon konumları ve hızları (ITRF station positions & velocities) başlığı altındaki satırlarda ITRF'in yılı, epoklar, veri formatı ve veriyi alacağımız e-posta adresinin yazılabileceği satırlar bulunmaktadır. Epokların yıl, ay ve gün (yyyy/mm/dd) şeklinde girilmesi istenmektedir. Çalışmada, verileri daha hızlı bir şekilde kayıt edebilmek için veri formatı SINEX olarak değil, tablo olarak istenmiştir (Şekil 2.13) (URL-24, 2009).

**ITRF station positions & velocities**

This page extracts positions and velocities of the selected points from an ITRF solution at any epoch. Follow the guidelines. If you request a SINEX file, you will be informed by email when the SINEX is ready to be downloaded on the LAREG ftp server.

---

Choose an ITRF

Choose the epoch  format : yyyy/mm/dd

Choose the file format

Your e-mail (only if you order a SINEX file)

CAUTION : for you to be able to extract them, the coordinates of the selected points have to be available in the ITRF solution.


Şekil 2.13. Koordinat ve Hız bilgilerinin istendiği web bağlantısı

- Koordinat ve Hız verilerinin istenmesi aşamasında, ITRF'in versiyonu (Choose an ITRF) ITRF2005, epok (Choose the epoch) başlamak istediğimiz 2000/01/01 tarihi, veri formatı (Choose the format) tablo (Table) olarak seçildi. Sonrasında tamam (OK, Submit) bağlantısına tıklanarak verilerin ekranda görünmesi sağlandı. (Şekil 2.14)'te 2000/01/01 epogu için istenilen koordinat ve hız verilerinin görüntülenmesi örnek olarak verilmiştir (URL-24, 2009).

<< Back

DATA SET EXPRESSED IN ITRF2005 FRAME  
STATION POSITIONS AND VELOCITIES AT EPOCH 2000/01/01

DOMES NB	SITE NAME	ID	SOLN	X/Vx	Y/Vy	Z/Vz	SIGMA x/vx	SIGMA y/vy	SIGMA z/vz
				m-ly	m-ly	m-ly	m-ly	m-ly	m-ly
20808M001	TRABZON	TRAB	1	3705250.482	3084421.625	4162044.717	0.002	0.002	0.002
				-0.0230	0.0135	0.0104	0.0004	0.0003	0.0004

 << Back to computation option setting

Şekil 2.14. İstenilen epoktaki koordinat ve hızların tablo halinde gösterilmesi

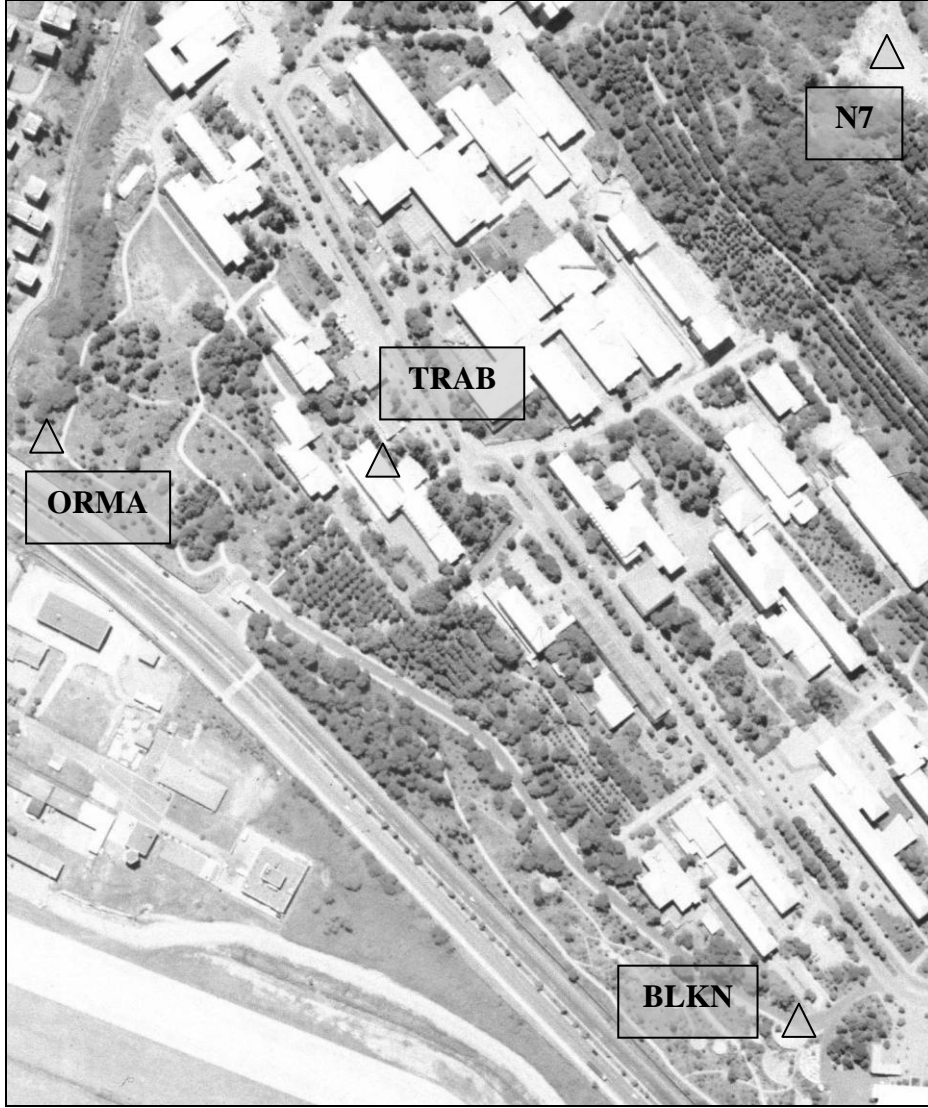
(Şekil 2.14)'de görüldüğü gibi ekranda açılan yeni bağlantıda istenilen epok için X, Y ve Z kartezyen koordinatları,  $V_x$ ,  $V_y$  ve  $V_z$  hız bilgileri ile koordinatların ve hızların standart sapmaları da bulunmaktadır. Bu tablodan 01/01/2000–31/12/2005 tarihleri arasında toplam 2191 gün için koordinatlar ve hızları doğrudan alınarak kaydedilmiştir (URL-24, 2009).



TRAB IGS noktasının 2191 gün için elde edilen kartezyen koordinat kümeleri (X, Y ve Z) ayrı ayrı regresyon analizine tabi tutularak doğrusallıkları değerlendirilmiştir. Her koordinat kümesi için yapılan regresyon analizinde (1) eşitliğinden belirtme katsayıları ( $R^2$ ) değerleri hesaplanmış ve bu değere göre yorumlama yapılmıştır. Bunun yanı sıra koordinatların  $V_x$ ,  $V_y$  ve  $V_z$  hızları da incelenerek değerlendirmeye katılmıştır.

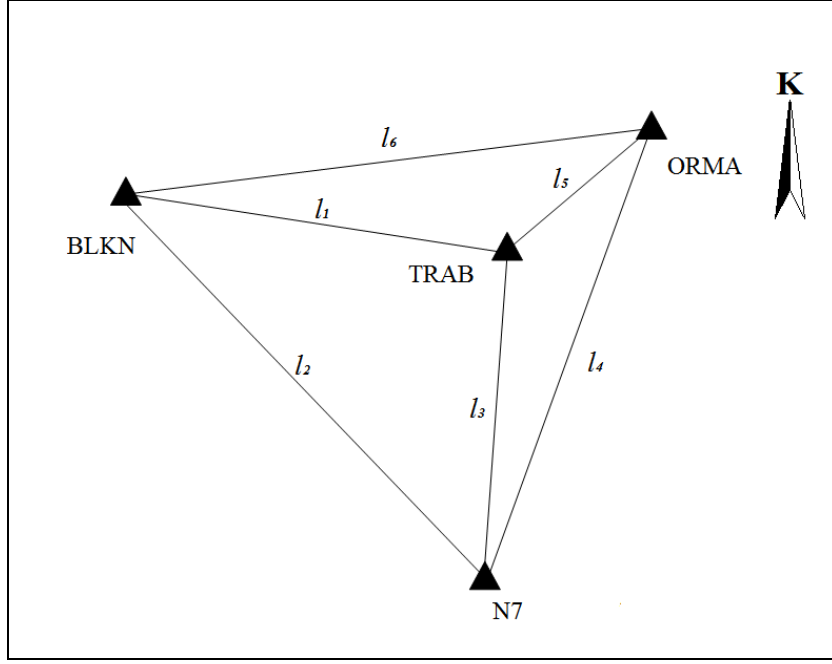
## **2.5. GPS Kontrol Ağı**

Çalışmada sabit GPS noktası olarak kullanılan TRAB IGS noktasının gerçekte sabit olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla, Harita Mühendisliği binası üzerinde bulunan TRAB IGS noktası ve çevresini kapsayacak biçimde bir GPS kontrol ağı tasarlanmıştır. Ağda Kütüphane binasının doğusunda bulunan BLKN noktası, Tıp Fakültesinin kuzey kısmında bulunan N7 noktası, Üniversitenin C-Kapısının doğu yönünde bulunan ORMA noktası ve Harita Mühendisliği Bölümünün çatısında bulunan TRAB noktası kullanılmıştır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. GPS kontrol ağ noktaları.

(Şekil 2.15)'de gösterilmiş noktalarla GPS kontrol ağı tasarlanmıştır (Şekil 2.16.).



Şekil 2.16. GPS ağı.

GPS kontrol ağında Mayıs 2009 (I. Periyot), Eylül 2009 (II. Periyot) ve Ocak 2010 (III. Periyot) tarihlerinde üç periyot GPS ölçüsü yapılmıştır. GPS ağı ölçüleri Geogenius 2000 programı ile değerlendirilerek GPS baz ölçüleri ve onların varyans-kovaryans matrisleri elde edilmiştir.

Her periyotta belirlenen baz ölçüleri serbest ağı yöntemine göre dengelenmiştir. Uyuşumsuz ölçüler testi (18) ve (20) eşitliklerine göre yapılmış ve tüm periyotlarda uyuşumsuz ölçü belirlenmemiştir. Böylece uyumlu ölçülerle yapılmış olan serbest ağı dengelemesi sonucu (7) ve (2) eşitliklerinden ağı noktalarının dengeli koordinatları ve varyans-kovaryans matrisleri, (13) eşitliğinden de baz bileşenlerinin ortalama hataları hesaplanmıştır.

GPS ağına optimum olup olmadığını belirlemek için duyarlık ve güven ölçütleri hesaplanmıştır. Duyarlık ölçütü olarak, (22) eşitliğinden her noktanın koordinatlarının ortalama hataları ve (23) eşitliğinden de noktaların nokta konum hataları hesaplanmıştır. Güven ölçütü olarak da (41), (42) ve (43) eşitliklerinden ölçülerin redundanz payları, iç ve dış güven ölçütleri hesaplanmıştır. Bu ölçütlere göre ağına optimum olduğuna karar verilmiştir.

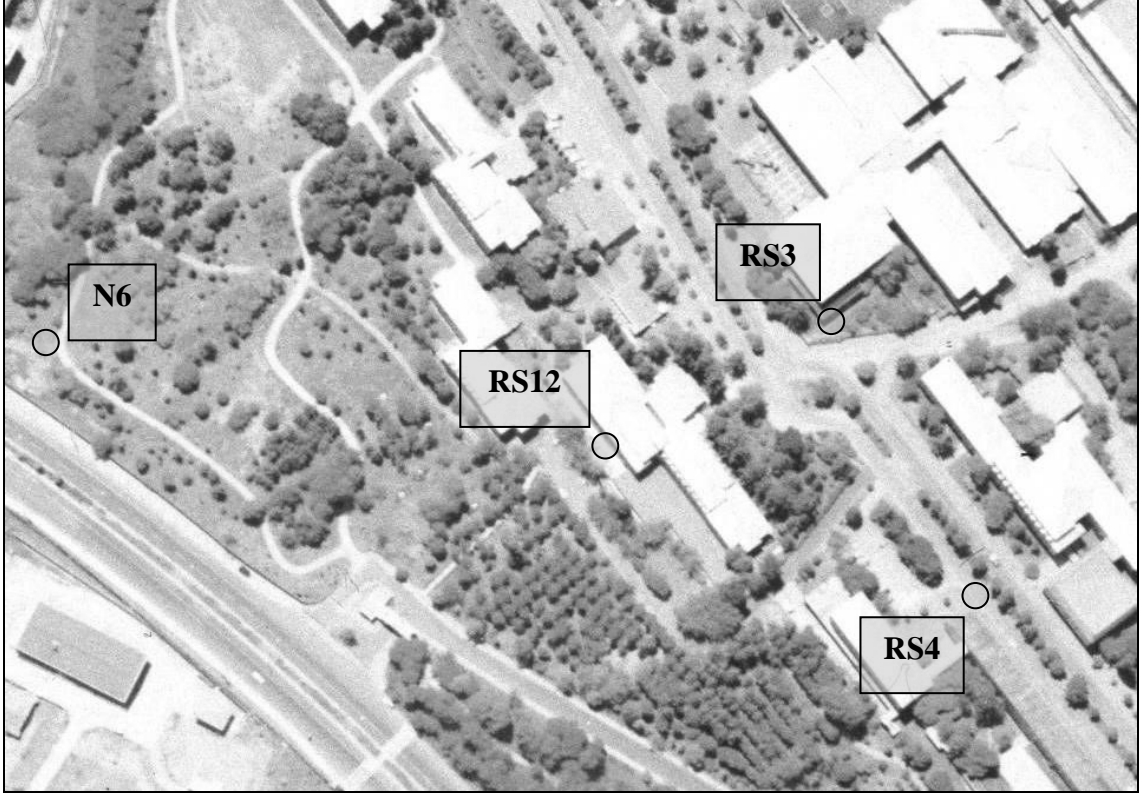
8 Mayıs 2009, 8 Eylül 2009 ve 7 Ocak 2010 tarihlerinde yapılmış olan GPS ölçülerinden, 8 Mayıs 2009 tarihi başlangıç periyodu ( $t_0$ ), 8 Eylül 2009 tarihi ( $t_1$ ) ve 7 Ocak 2010 tarihi ( $t_2$ ) periyotları olarak kabul edilmiştir.

Geçen zaman içinde ağda hareket oluşup oluşmadığı statik deformasyon modeli ile belirlenmiştir. Uygulamada statik deformasyon yöntemlerinden  $\theta^2$ -ölçütü yöntemi kullanılmıştır.  $\theta^2$ -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizinde üç periyot ( $t_0$ ,  $t_1$  ve  $t_2$ ) ölçünün dengelenmesi sonucu elde edilen ağ noktalarının kesin koordinatları ve varyans-kovaryans matrisleri veri olarak kullanılmıştır.

( $t_1$ )-( $t_0$ ) ve ( $t_2$ )-( $t_0$ ) zamanları için  $\theta^2$ -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizinde, (56) eşitliğinden  $\theta^2$ -Ölçütü, (58) eşitliğinden birim ölçünün öncül ortalama hatası ( $s_0^2$ ), (60) eşitliğinden test büyüklüğü ( $T$ ) hesaplanmıştır. Test büyüklüğü F-tablo değeriyle ( $q$ ) karşılaştırılarak global test yapılmıştır. Global test sonucunda hareket olduğuna karar verildiğinde hangi noktada deformasyon olduğu araştırılmıştır. Bu amaçla (66) eşitliğinde her nokta için ( $\theta^2$ ) hesaplanmış ve noktalar arasında toplam aykırılıktaki payı en büyük olan ( $\theta^2$ )<sub>max</sub> = max( $\theta^2$ )<sub>i</sub> noktada,  $S=1-\alpha$  kadar istatistik güvenle deformasyon olduğuna karar verilmiştir. Bu nokta hareketli noktalar kümesine alınmıştır. Geri kalan noktalar arasında S-dönüşümü (68) eşitliğine göre yapılmış ve aynı işleme hareket eden nokta kalmayınca kadar devam edilmiştir. Böylece ( $t_1$ )-( $t_0$ ) ve ( $t_2$ )-( $t_0$ ) zamanları arasında ağda hareket eden noktalar ve hareket büyüklükleri belirlenmiştir.

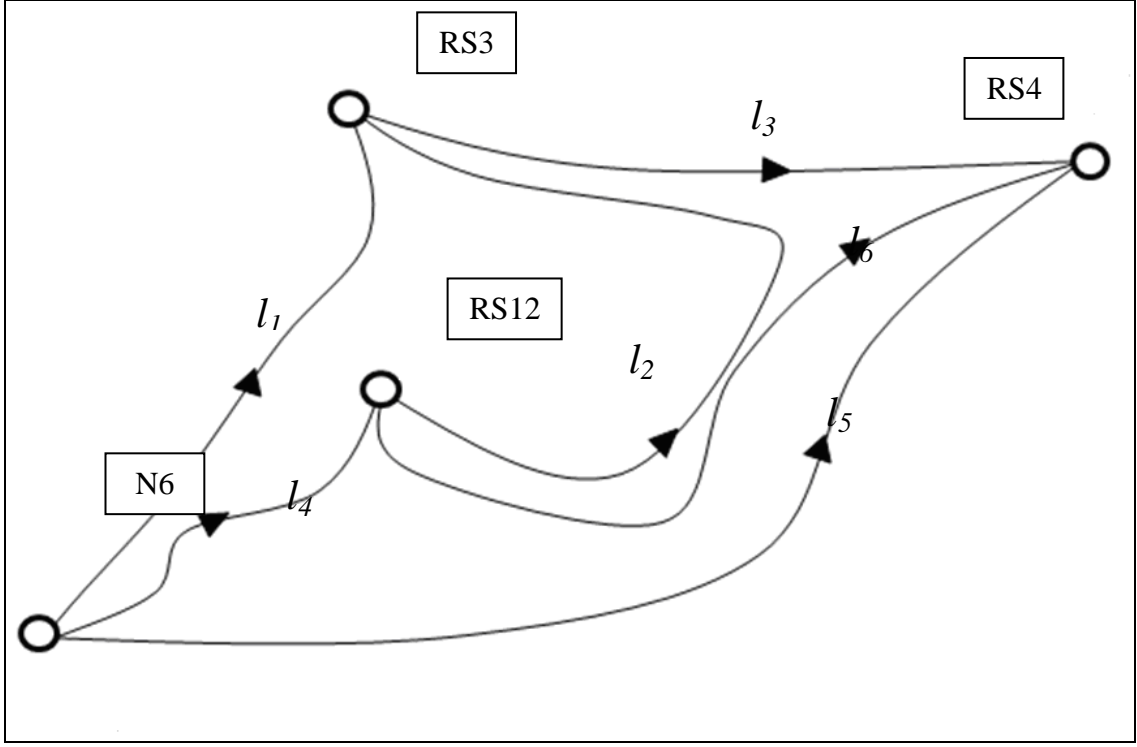
## 2.6. Nivelman Kontrol Ağı

Çalışmada, Harita Mühendisliği Bölüm binasının düşey hareketini belirlemek için TRAB IGS noktasının bulunduğu yeri örnekleyen düşey doğrultuda Harita Mühendisliği Bölüm binasının kuzey duvarında bulunan RS12 kodlu nokta ve çevresini kapsayacak şekilde bir nivelman kontrol ağı tasarlanması planlanmıştır. Nivelman kontrol ağında, Makine Mühendisliği bölümünün kuzey bahçe duvarındaki RS3 noktası, Fizik Bölümü binasının güneydoğu duvarındaki RS4 noktası, Üniversitenin C-Kapısının doğu yönü doğrultusunda beton pilye olarak tesis edilmiş olan N6 noktası kullanılmıştır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Nivelman kontrol ağ noktaları.

(Şekil 2.17)'de gösterilmiş noktalarla nivelman kontrol ağı tasarlanmıştır (Şekil 2.18.).



Şekil 2.18. Nivelman ağı.

Nivelman ağında Mayıs 2009 (I. Periyot), Eylül 2009 (II. Periyot) ve Ocak 2010 (III. Periyot) tarihlerinde olmak üzere üç periyot hassas nivelman ölçüsü yapılmıştır. Her periyotta ölçülen yükseklik farkları serbest ağ yöntemine göre dengelenmiştir. Uyuşumsuz ölçüler testi (18) ve (20) eşitliklerine göre yapılmış ve tüm periyotlarda uyuşumsuz ölçü belirlenmemiştir. Böylece uyumlu ölçülerle yapılmış olan serbest ağ dengelemesi sonucu (7) ve (2) eşitliklerinden ağ noktalarının dengeli yükseklikleri ve varyans-kovaryans matrisleri hesaplanmıştır. Ayrıca (13) eşitliğinden yükseklik farklarının ortalama hataları hesaplanmıştır.

Nivelman ağının optimum olup olmadığını belirlemek için duyarlık ve güven ölçütleri hesaplanmıştır. Duyarlık ölçütü olarak, (22) eşitliğinden her noktanın yüksekliğinin ortalama hatası, güven ölçütü olarak da (41), (42) ve (43) eşitliklerinden ölçülerin redundanz payları, iç ve dış güven ölçütleri hesaplanmıştır.

9 Mayıs 2009, 9 Eylül 2009 ve 8 Ocak 2010 tarihlerinde yapılmış olan GPS ölçülerinden 9 Mayıs 2009 tarihi başlangıç periyodu ( $t_0$ ), 9 Eylül 2009 tarihi ( $t_1$ ) ve 8 Ocak 2010 tarihi ( $t_2$ ) periyotları olarak kabul edilmiştir.

Geçen zaman içinde ağda hareket oluşup oluşmadığı statik deformasyon modeli ile belirlenmiştir. Uygulamada statik deformasyon yöntemlerinden  $\theta^2$ -ölçütü yöntemi

kullanılmıştır.  $\theta^2$ -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizinde üç periyot ( $t_0$ ,  $t_1$  ve  $t_2$ ) ölçünün dengelenmesi sonucu elde edilen ağ noktalarının kesin koordinatları ve varyans-kovaryans matrisleri veri olarak kullanılmıştır.

$(t_1)-(t_0)$  ve  $(t_2)-(t_0)$  zamanları için  $\theta^2$ -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizinde, (56) eşitliğinden  $\theta^2$ -Ölçütü, (58) eşitliğinden birim ölçünün öncül ortalama hatası ( $s_0^2$ ), (60) eşitliğinden test büyüklüğü ( $T$ ) hesaplanmıştır. Test büyüklüğü F-tablo değeriyle ( $q$ ) karşılaştırılarak global test yapılmıştır. Global test sonucunda hareket olduğuna karar verildiğinde hangi noktada deformasyon olduğu araştırılmıştır. Bunun amaçla (66) eşitliğinde her nokta için ( $\theta^2$ ) hesaplanmış ve noktalar arasında toplam aykırılıktaki payı en büyük olan  $(\theta^2)_{max} = \max(\theta^2)_i$  noktada,  $S=1-\alpha$  kadar istatistik güvenle deformasyon olduğuna karar verilmiştir. Bu nokta hareketli noktalar kümesine alınmıştır. Geri kalan noktalar arasında S-dönüşümü (68) eşitliğine göre yapılmış ve aynı işleme hareket eden nokta kalmayınca kadar devam edilmiştir. Böylece  $(t_1)-(t_0)$  ve  $(t_2)-(t_0)$  zamanları arasında ağda hareket eden noktalar belirlenmiştir.

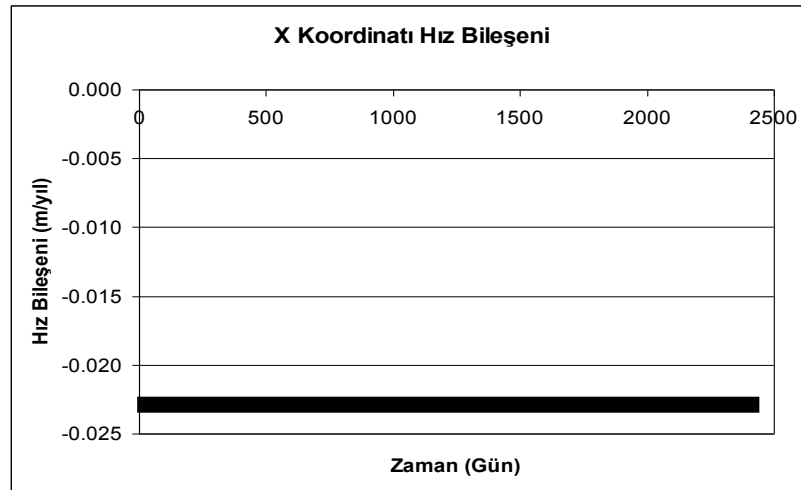
### 3. BULGULAR VE İRDELEMER

Çalışmada, TRAB IGS noktasının ve üzerine tesis edildiği Harita Mühendisliği binasının hareketliliğini belirlemek amacıyla; önce TRAB IGS İstasyonunun 2000–2005 yılları arasında IERS tarafından değerlendirilmiş ITRF2005 kartezyen koordinat kümeleri ve hız verileri irdelenmiştir. Sonra Harita Mühendisliği binası ve çevresini kapsayacak biçimde kurulmuş GPS kontrol ağında ve nivelman kontrol ağında periyodik olarak yapılan ölçülerle deformasyon belirlenmesi yapılmıştır (Erol ve Ayan, 2005).

#### 3.1. TRAB IGS Noktasının ITRF2005 2000.0 Epoklu Koordinatlarının İncelenmesi

TRAB IGS noktasının 01/01/2000–31/12/2005 tarihleri arasındaki 2191 gün için elde edilen kartezyen koordinat kümelerinin (X, Y ve Z) ayrı ayrı regresyon analizine yapılarak doğrusallıkları değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra koordinatların hızları ( $V_x$ ,  $V_y$  ve  $V_z$ ) da incelenerek değerlendirmeye katılmıştır.

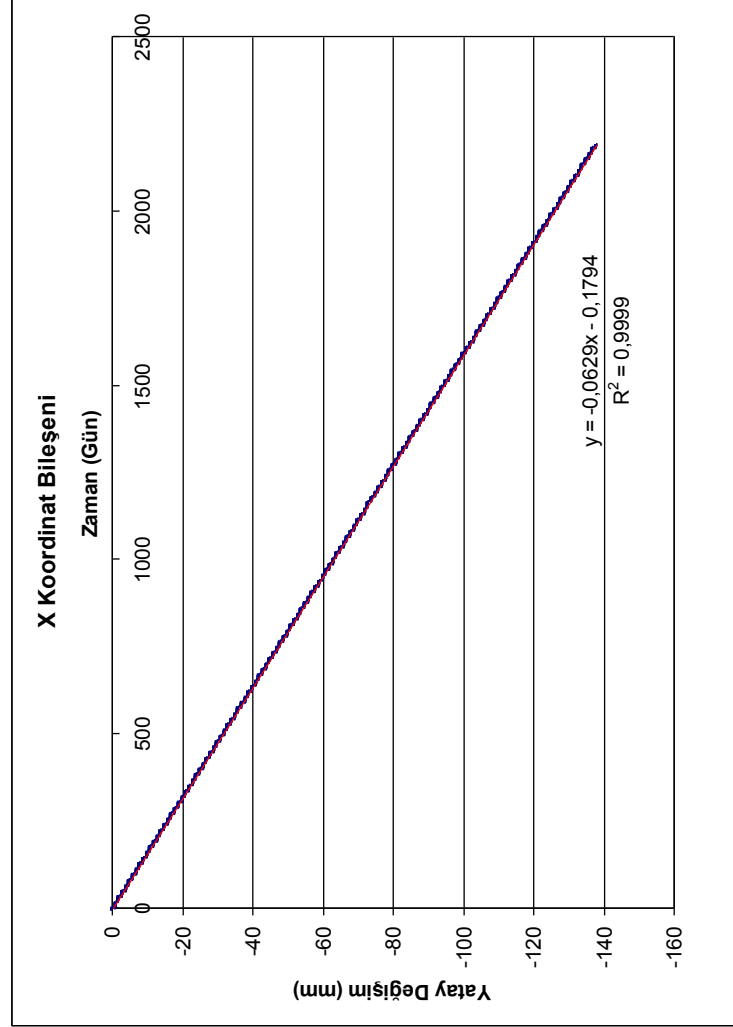
TRAB IGS noktasının X kartezyen koordinatının hız bileşenine ( $V_x$ ) ait veri kümesinin grafiği çizilmiştir (Şekil 3.1). Şekil 3.1’de görüldüğü gibi tüm veri kümesi için hız sabit ( $V_x = -0.023$  m/yıl) olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1. TRAB IGS noktasının X koordinat bileşeninin hız vektörü değişimi



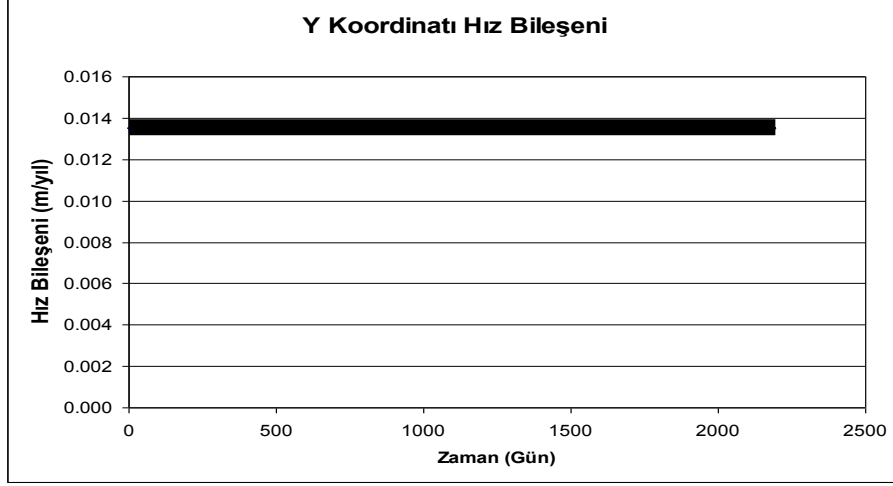
TRAB IGS noktasının X koordinat kümesinin her bir değerine karşı zaman grafiği oluşturulmuş ve grafik üzerindeki koordinat değerlerinden regresyon analizi (URL-11, 2009) ile eğri geçirilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. TRAB IGS noktasının X koordinat bileşeninin değişimi

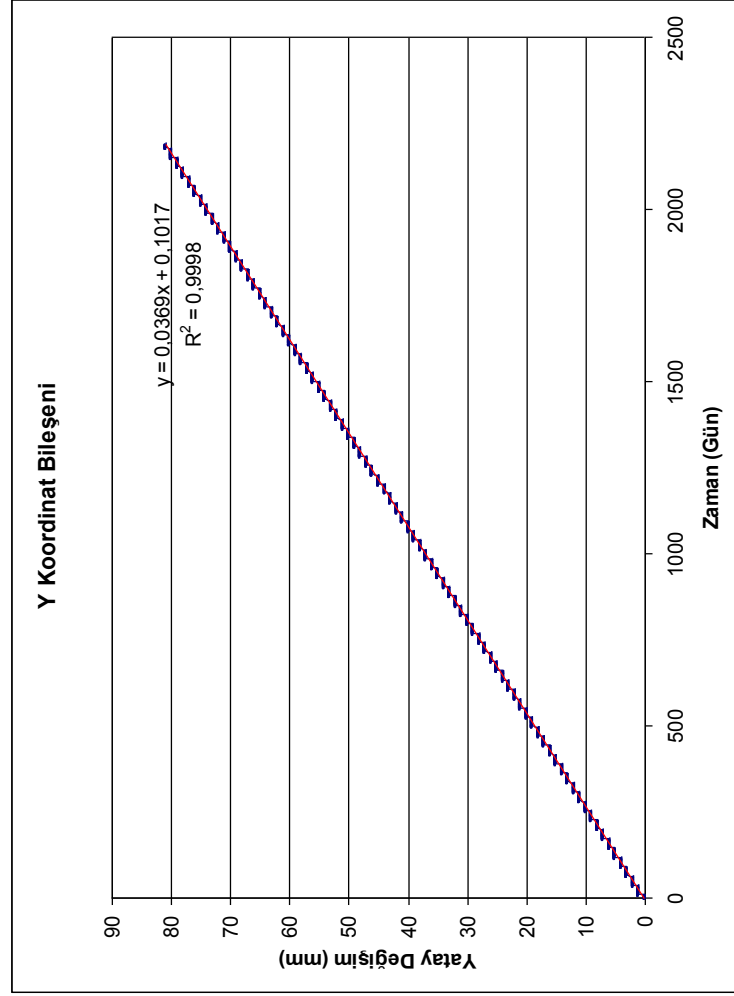
(Şekil 3.2)'de görüldüğü gibi regresyon analizi sonucu belirtme katsayısının ( $R^2$ ) değeri 0,9999 olarak (1) formülünden hesaplanmıştır.  $R^2 \leq 1$  olduğundan X koordinat kümesinin lineer (doğrusal) olduğuna karar verilmiştir. Yani bu noktada herhangi bir ani koordinat değişimi olmamıştır. Bu değerler incelendiğinde, TRAB IGS noktasının X doğrultusunda 16 günde -1 mm kaydığı, dolayısıyla 2000–2005 yılları arasındaki toplam 2191 gün için yer değiştirme miktarının da 138 mm olduğu belirlenmiştir.

TRAB IGS noktasının Y kartezyen koordinatının hız bileşenine ( $V_y$ ) ait veri kümesinin grafiği çizilmiştir (Şekil 3.3). Şekil 3.3'te görüldüğü gibi tüm veri kümesi için hız sabit ( $V_y = 0.014$  m/yıl) olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.3. TRAB IGS noktasının Y koordinat bileşeninin hız vektörü değişimi

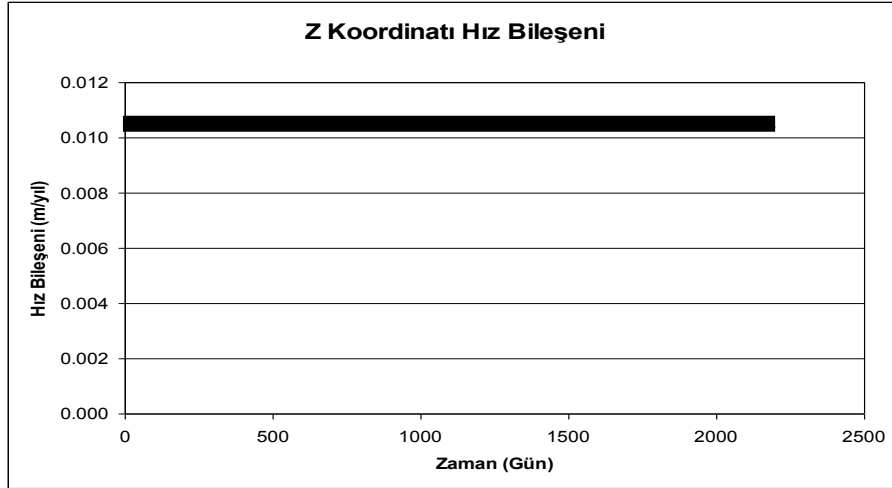
TRAB IGS noktasının Y koordinat kümesinin her bir değerine karşı zaman grafiği oluşturulmuş ve grafik üzerindeki koordinat değerlerinden regresyon analizi (URL-11, 2009) ile eğri geçirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. TRAB IGS noktasının Y koordinat bileşeninin değişimi

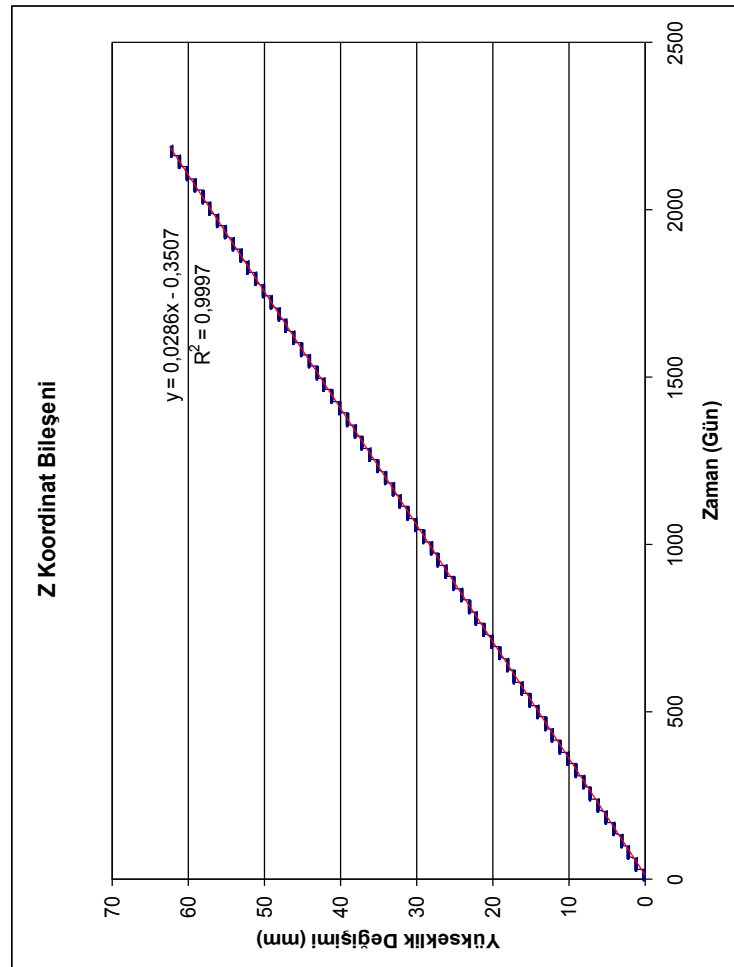
(Şekil 3.4)'te görüldüğü gibi regresyon analizi sonucu belirtme katsayısının ( $R^2$ ) değeri 0,9998 olarak (1) formülünden hesaplanmıştır.  $R^2 \leq 1$  olduğundan Y koordinat kümesinin lineer (doğrusal) olduğuna karar verilmiştir. Yani bu noktada herhangi bir ani koordinat değişimi olmamıştır. Bu değerler incelendiğinde, TRAB IGS noktasının Y doğrultusunda 27 günde 1 mm kaydedildiği, dolayısıyla 2000–2005 yılları arasındaki toplam 2191 gün için yer değiştirme miktarının da 81 mm olduğu belirlenmiştir.

TRAB IGS noktasının Z kartezyen koordinatının hız bileşenine ( $V_z$ ) ait veri kümesinin grafiği çizilmiştir (Şekil 3.5). Şekil 3.5'de görüldüğü gibi tüm veri kümesi için hız sabit ( $V_z = 0.010$  m/yıl) olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.5. TRAB IGS noktasının Z koordinat bileşeninin hız vektörü değişimi

TRAB IGS noktasının Z koordinat kümesinin her bir değerine karşı zaman grafiği oluşturulmuş ve grafik üzerindeki koordinat değerlerinden regresyon analizi (URL-11, 2009) ile eğri geçirilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. TRAB IGS noktasının Z koordinat bileşeninin değişimi

(Şekil 3.6)'da görüldüğü gibi regresyon analizi sonucu belirtme katsayısının ( $R^2$ ) değeri 0,9997 olarak (1) formülünden hesaplanmıştır.  $R^2 \leq 1$  olduğundan Z koordinat kümesinin lineer (doğrusal) olduğuna karar verilmiştir. Yani bu noktada herhangi bir ani koordinat değişimi olmamıştır. Bu değerler incelendiğinde, TRAB IGS noktasının Z doğrultusunda 35 günde 1 mm kaydığı, dolayısıyla 2000–2005 yılları arasındaki toplam 2191 gün için yer değiştirme miktarının da 62 mm olduğu belirlenmiştir.

### 3.2. GPS Kontrol Ağı Ölçüleriyle Deformasyon Analizi

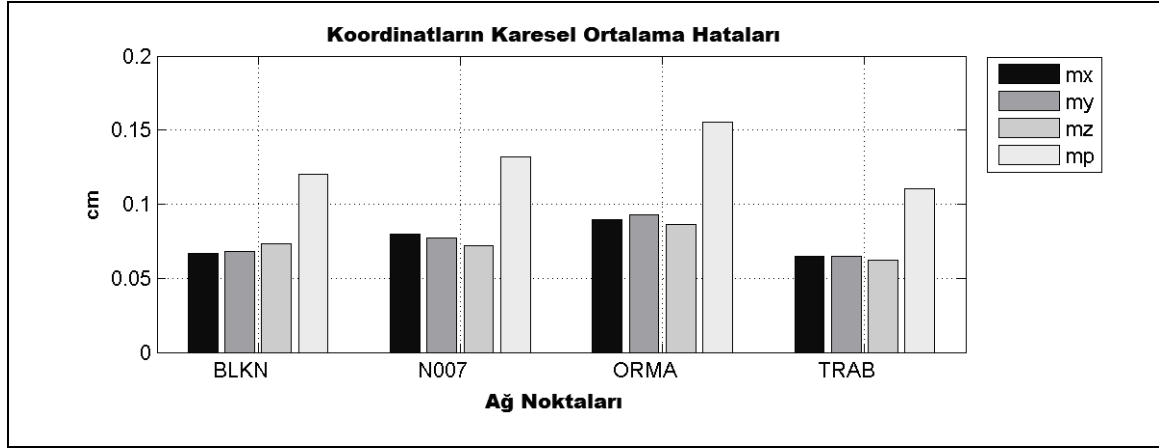
(Şekil 2.16.)'da gösterilen GPS kontrol ağında Mayıs 2009 (I. Periyot), Eylül 2009 (II. Periyot) ve Ocak 2010 (III. Periyot) tarihlerinde yapılmış olan ölçüler Geogenius 2000 programı ile değerlendirilerek üç periyot için baz vektörleri ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ) ve onların varyans-kovaryans matrisleri ( $Q_{ii}$ ) elde edilmiştir.

#### 3.2.1. GPS Kontrol Ağı Ölçülerinin Dengelenmesi

Her periyotta elde edilmiş olan baz bileşenleri ve onların varyans-kovaryans matrisleri veri olarak kullanılıp (GPS\_DEN) programıyla serbest ağ yöntemine göre dengelenerek ağ noktalarının dengeli koordinatları (X, Y, Z) ve onların varyans-kovaryans matrisleri ( $Q_{xx}$ ) ayrı ayrı hesaplanmıştır. (Bayrak, 2003; Bayrak ve Yalçınkaya,2003; Gülal, 1992) Ağın optimum olup olmadığını test etmek için her periyotta ağın duyarlık ve güven ölçütleri hesaplanmıştır.

- I. Periyot GPS Ölçülerinin Dengelenmesi

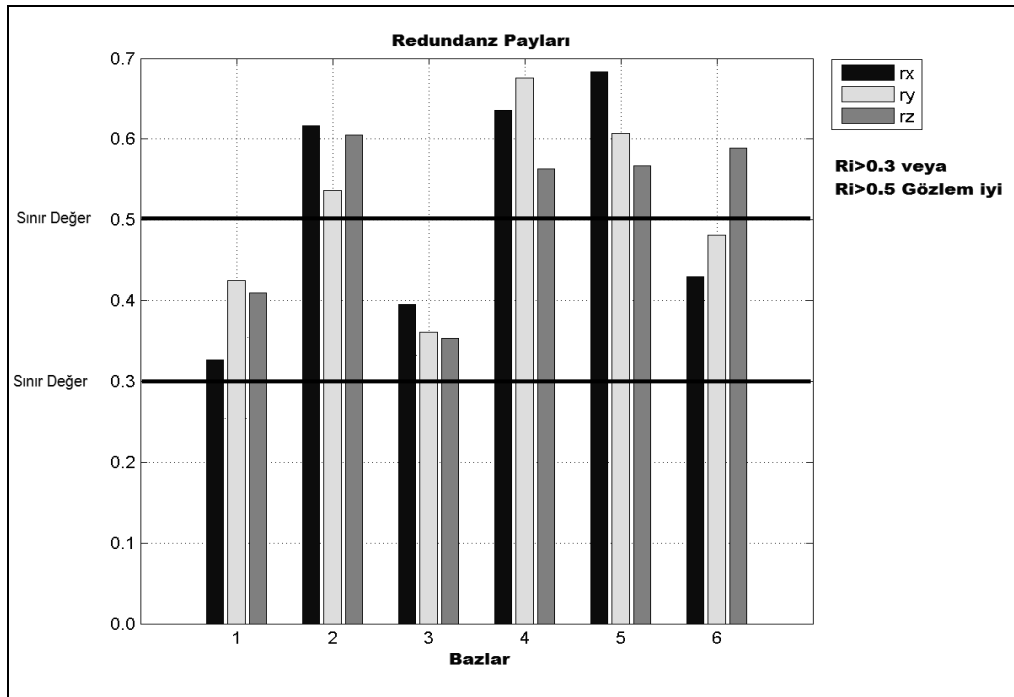
I. periyot ölçülerden duyarlık ölçütü olarak, nokta koordinatlarının ortalama hataları ( $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$ ) (22) eşitliğinden ve nokta konumunun ortalama hataları ( $m_p$ ) (23) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Ağdaki nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hataları.

(Şekil 3.7)'de görüldüğü gibi ağ noktalarının koordinatlarının ortalama hataları maksimum 0.08 mm, nokta konumlarının ortalama hataları da maksimum 0.15 mm civarındadır. Bu da ağın duyarlık açısından iyi olduğunu göstermektedir.

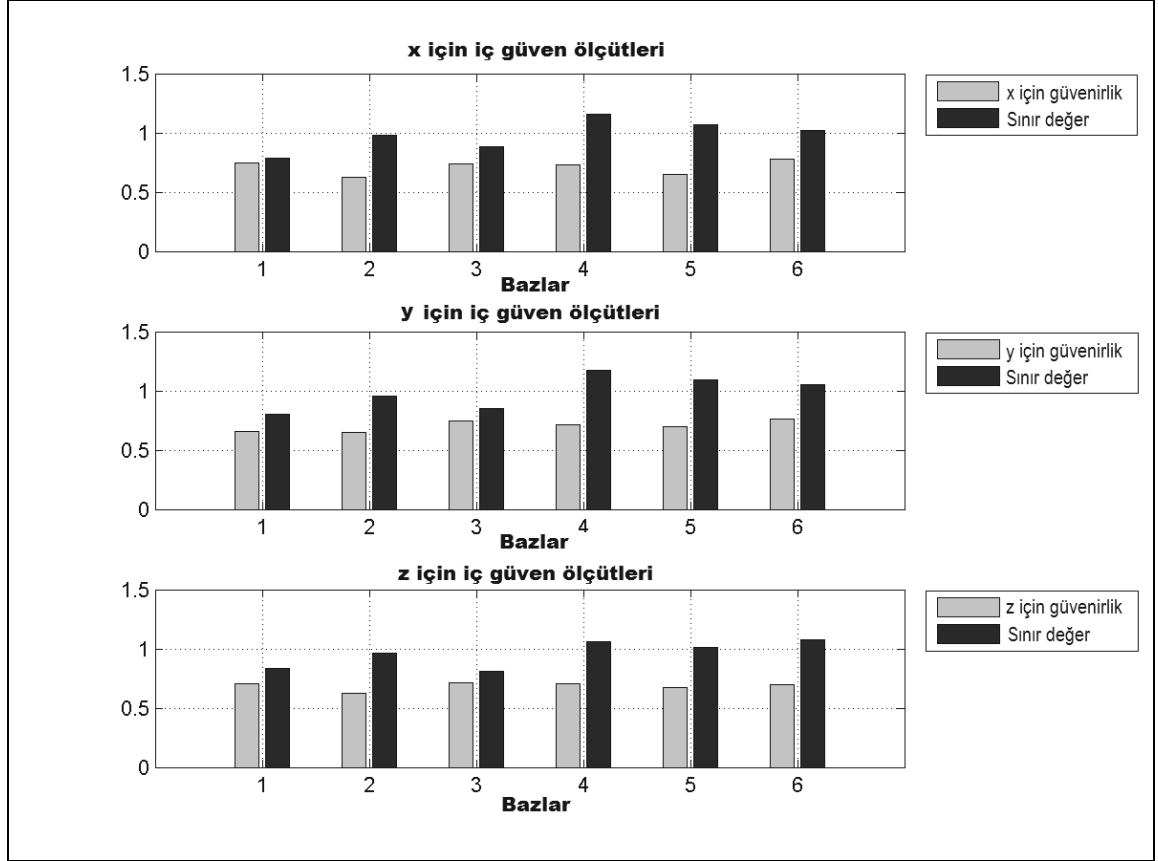
Güven ölçütü olarak, ağ ölçülerinin redundanz payları, iç ve dış güven ölçütleri hesaplanmıştır. Ağda herhangi bir ölçüde yapılacak hatanın yüzde kaçının bu ölçünün düzeltilmesine yansıtacağı belirlemek için redundanz payları (41) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. GPS ölçülerinin redundanz payları

(Şekil 3.8)'da görüldüğü gibi gözlemlerin redundanz payları sınır değer olan 0,3'ten büyük bulunmuştur. Bu bağlamda, bir ölçünün diğer ölçüler yardımı ile kontrol edilebilir olduğuna karar verebiliriz.

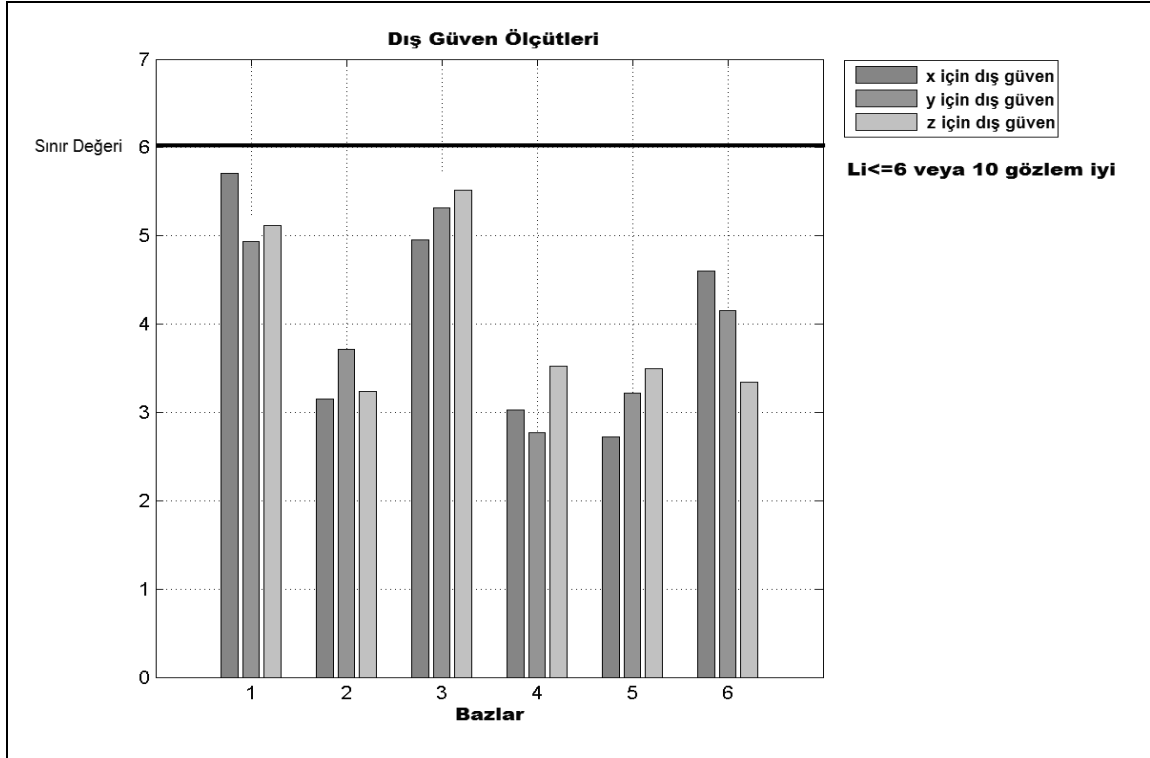
Ağdaki ölçülerden herhangi birinin diğer ölçüler yardımıyla denetlenebilirliğini belirlemek için iç güven ölçütleri (42) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. GPS ölçülerinin iç güven ölçütleri.

(Şekil 3.9)'da görüldüğü gibi ölçülerin iç güven ölçütleri sınır değerlerinden küçüktür. Ayrıca iç güven ölçütü değerleri küçük ve birbirine yakın değerler olarak saptanmıştır. Bu durum, ölçülerin diğer ölçüler tarafından denetlenebildiğini göstermektedir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Ağda ortaya çıkarılmayan bir model hatasının koordinat bilinmeyenlerine yada bunların fonksiyonlarına etkiye katsayısını belirlemek için dış güven ölçütleri (43) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. GPS ölçülerinin dış güven ölçütleri.

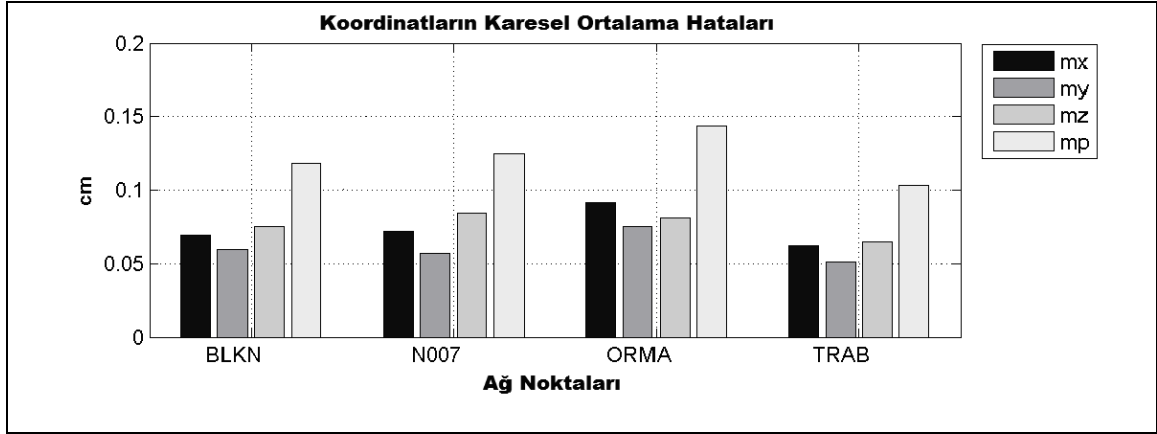
(Şekil 3.10)'de görüldüğü gibi tüm ölçüler minimum sınır değer olan 6'dan küçük bulunmuştur.

Tüm bu sonuçlara bakılarak, ağın duyarlık ve güven açısından optimum olduğuna karar verilmiştir.

- II. Periyot GPS Ölçülerin Dengelenmesi

II. periyot ölçülerden duyarlık ölçütü olarak, nokta koordinatlarının ortalama hataları ( $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$ ) (22) eşitliğinden ve nokta konumunun ortalama hataları ( $m_p$ ) (23) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.11).

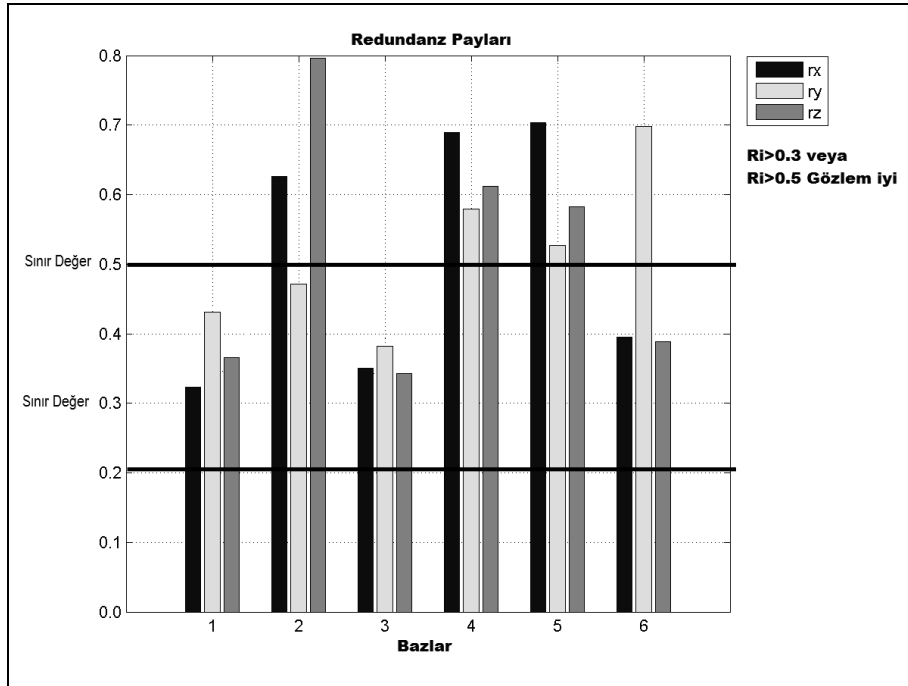




Şekil 3.11. Ağdaki nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hataları

(Şekil 3.11)'de görüldüğü gibi ağ noktalarının koordinatlarının ortalama hataları maksimum 0.08 mm, nokta konumlarının ortalama hataları da maksimum 0.14 mm civarındadır. Bu da ağın duyarlık açısından iyi olduğunu göstermektedir.

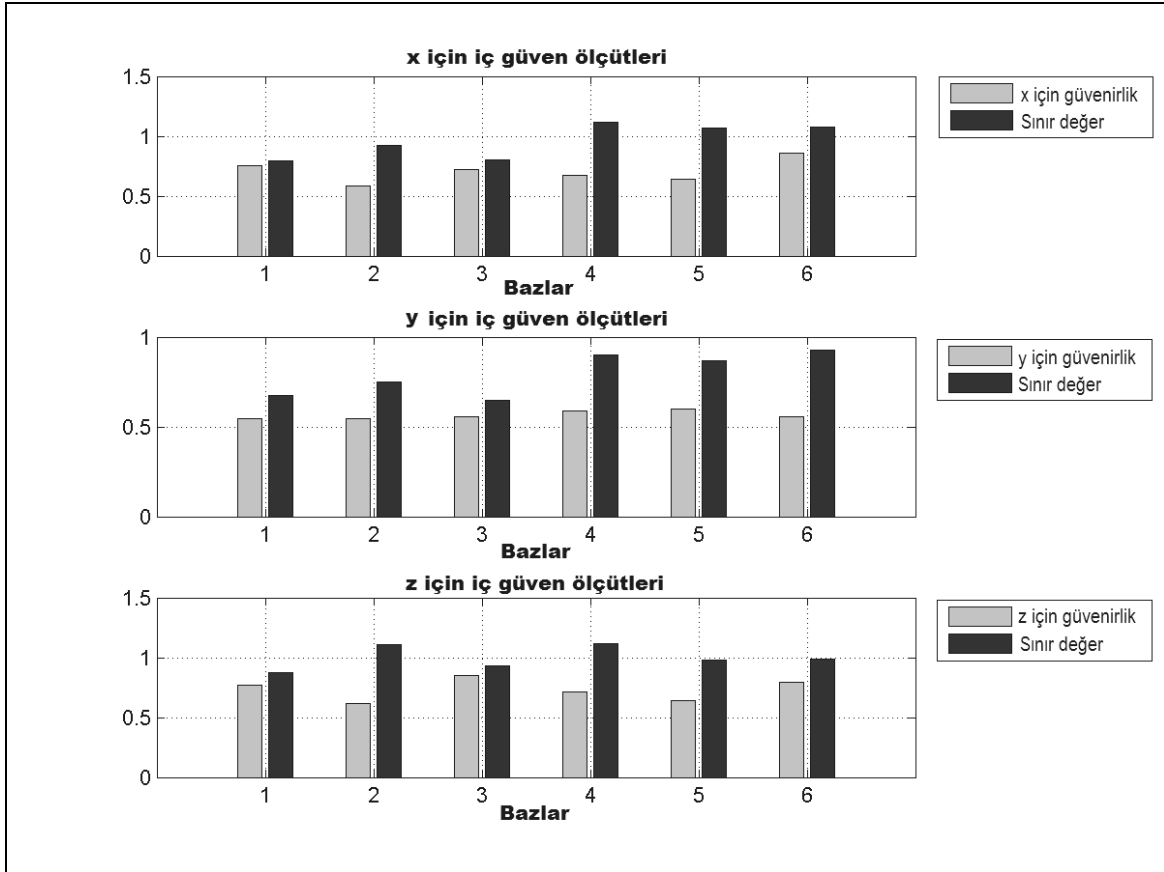
Güven ölçütü olarak, ağ ölçülerinin redundanz payları, iç ve dış güven ölçütleri hesaplanmıştır. Ağda herhangi bir ölçüde yapılacak hatanın yüzde kaçının bu ölçünün düzeltilmesine yansıtacağı belirlemek için redundanz payları (41) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. GPS ölçülerinin redundanz payları

(Şekil 3.12)'te görüldüğü gibi gözlemlerin redundanz payları sınır değer olan 0,3'ten büyük bulunmuştur. Bu bağlamda, bir ölçünün diğer ölçüler yardımı ile kontrol edilebilir olduğuna karar verebiliriz.

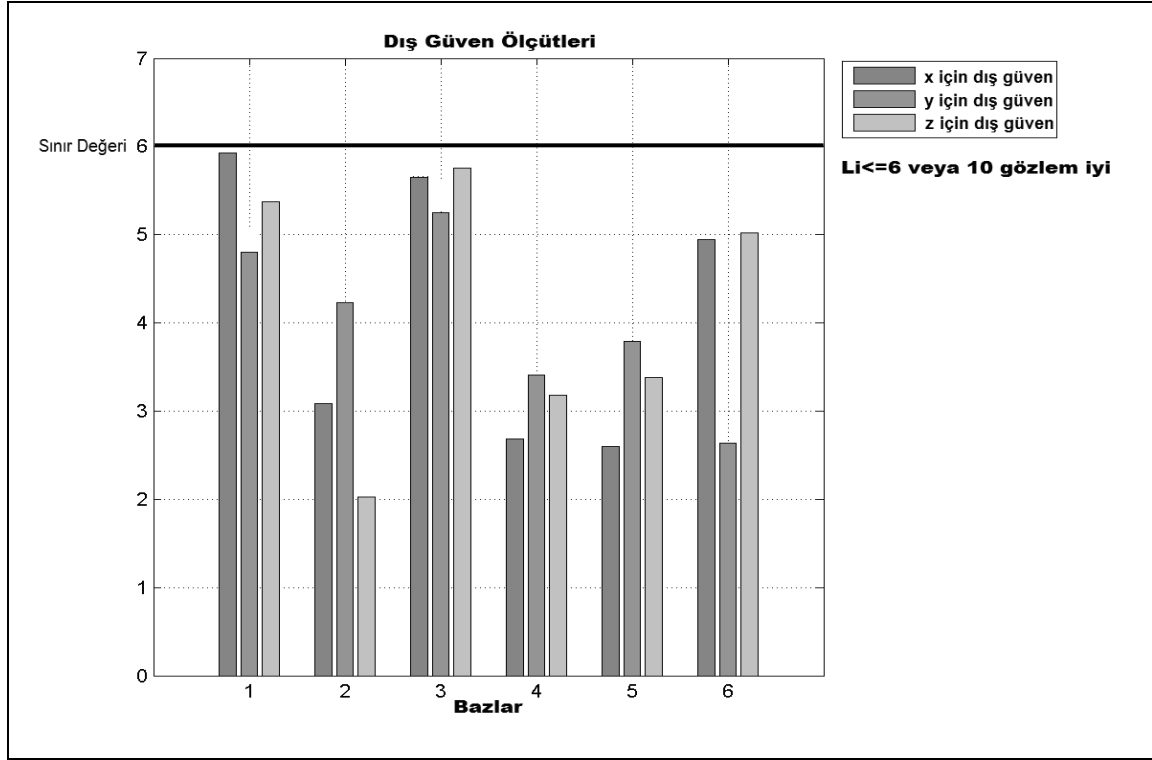
Ağdaki ölçülerden herhangi birinin diğer ölçüler yardımıyla denetlenebilirliğini belirlemek için iç güven ölçütleri (42) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. GPS ölçülerinin iç güven ölçütleri.

(Şekil 3.13)'de görüldüğü gibi ölçülerin iç güven ölçütleri sınır değerlerinden küçüktür. Ayrıca iç güven ölçütü değerleri küçük ve birbirine yakın değerler olarak saptanmıştır. Bu durum, ölçülerin diğer ölçüler tarafından denetlenebildiğini göstermektedir.

Ağda ortaya çıkarılmayan bir model hatasının koordinat bilinmeyenlerine yada bunların fonksiyonlarına etkime katsayısını belirlemek için dış güven ölçütleri (43) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.14)



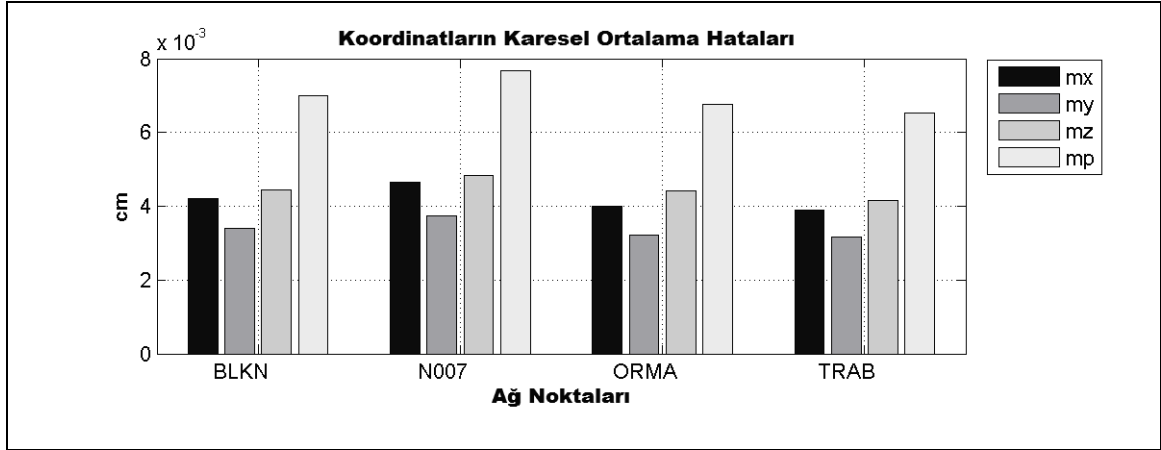
Şekil 3.14. GPS ölçülerinin dış güven ölçütleri.

(Şekil 3.14)'te görüldüğü gibi tüm ölçüler minimum sınır değer olan 6'dan küçük bulunmuştur.

Tüm bu sonuçlara bakılarak, ağın duyarlık ve güven açısından optimum olduğuna karar verilmiştir.

- III. Periyot GPS Ölçülerin Dengelenmesi

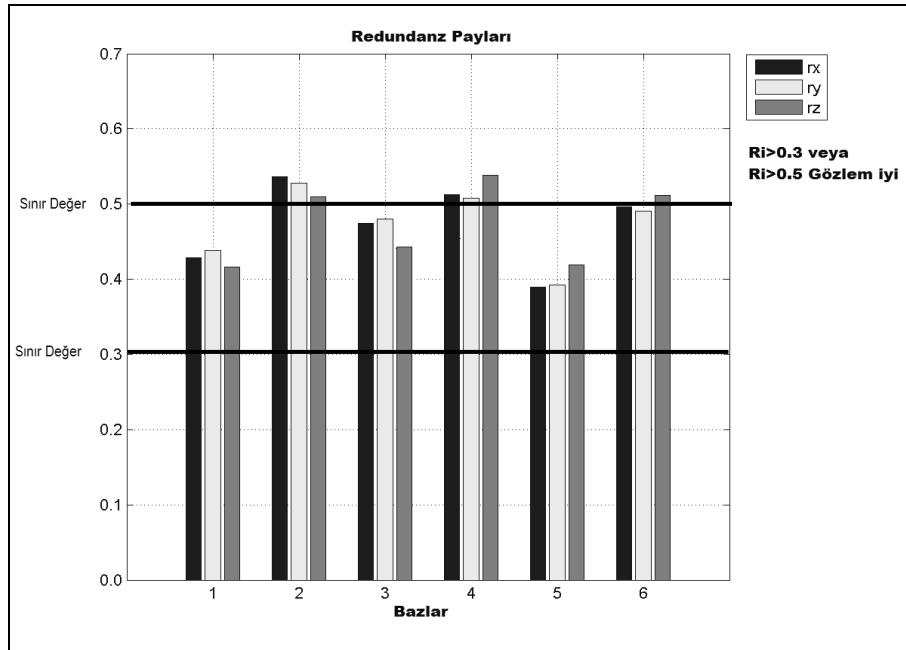
III. periyot ölçülerden duyarlık ölçütü olarak, nokta koordinatlarının ortalama hataları ( $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$ ) (22) eşitliğinden ve nokta konumunun ortalama hataları ( $m_p$ ) (23) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Ağdaki nokta koordinatlarının ve nokta konumunun ortalama hataları

(Şekil 3.15)'da görüldüğü gibi ağ noktalarının koordinatlarının ortalama hataları maksimum 0.08 mm, nokta konumlarının ortalama hataları da maksimum 0.4 mm civarındadır. Bu da ağın duyarlık açısından iyi olduğunu göstermektedir.

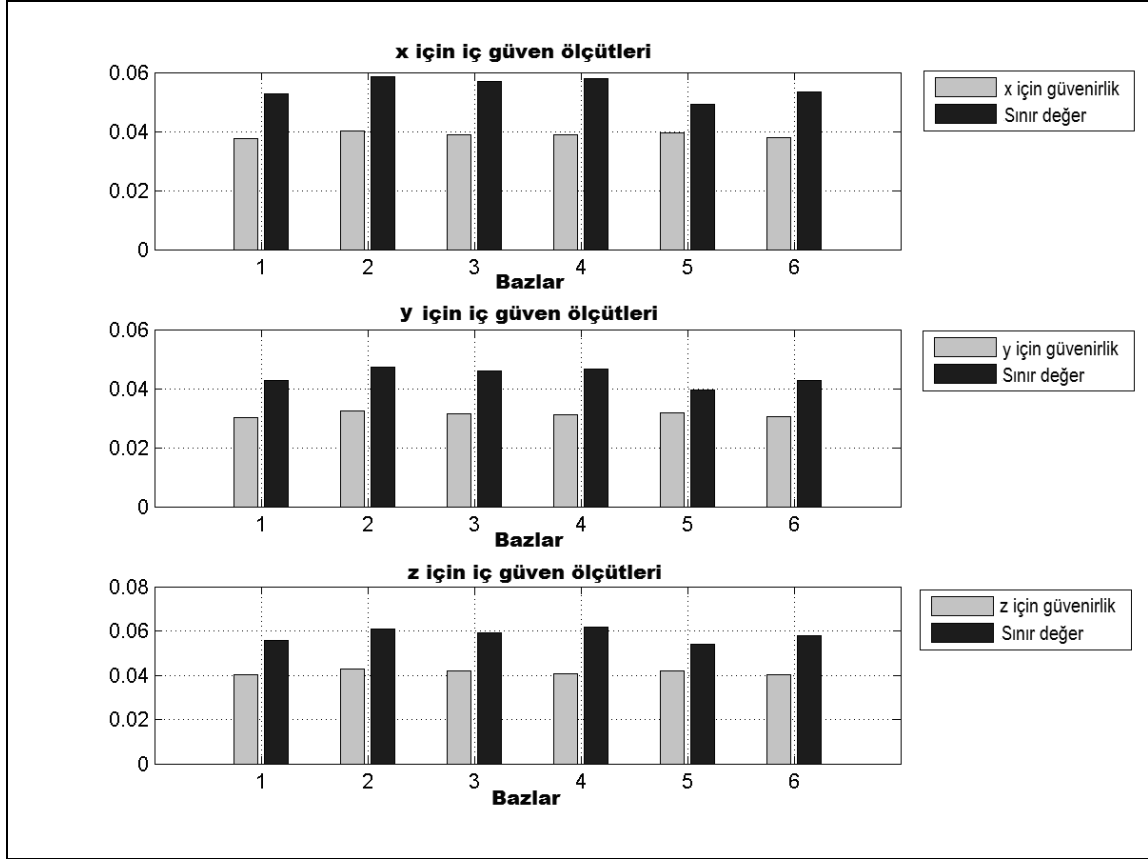
Güven ölçütü olarak, ağ ölçülerinin redundanz payları, iç ve dış güven ölçütleri hesaplanmıştır. Ağda herhangi bir ölçüde yapılacak hatanın yüzde kaçının bu ölçünün düzeltilmesine yansıtacağı belirlemek için redundanz payları (41) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. GPS ölçülerinin redundanz payları

(Şekil 3.16)'de görüldüğü gibi gözlemlerin redundanz payları sınır değer olan 0,3'ten büyük bulunmuştur. Bu bağlamda, bir ölçünün diğer ölçüler yardımı ile kontrol edilebilir olduğuna karar verebiliriz.

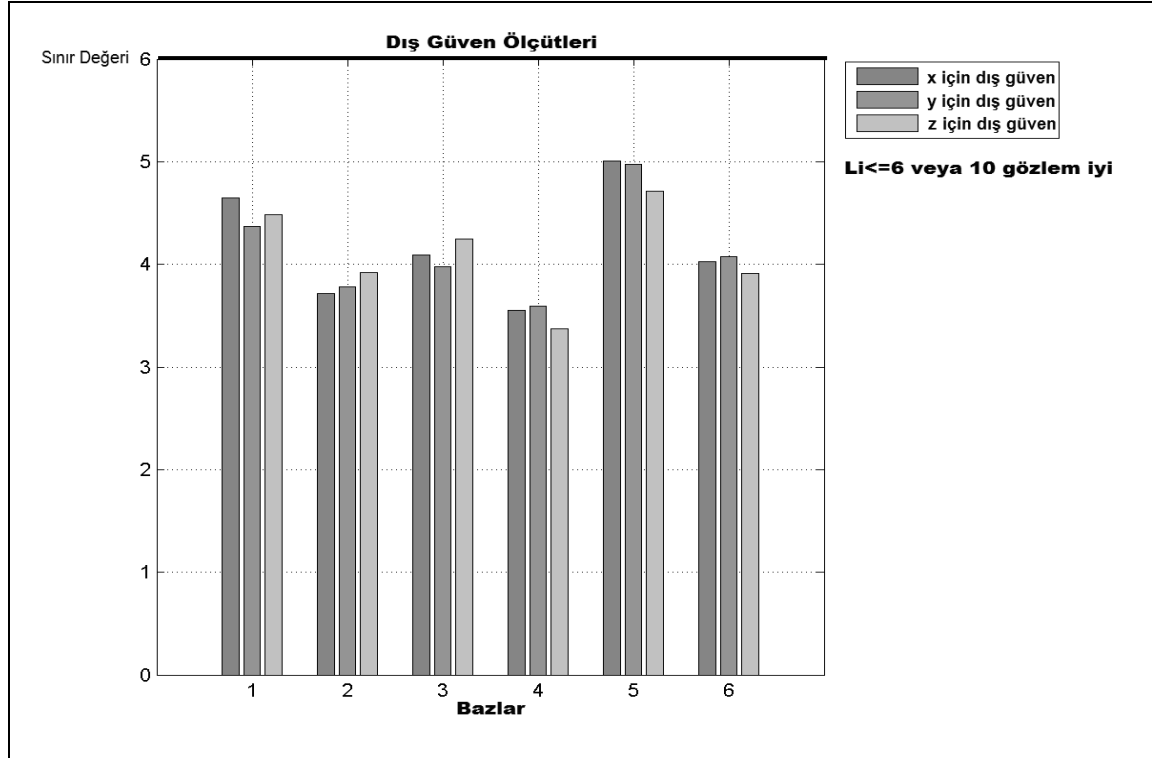
Ağdaki ölçülerden herhangi birinin diğer ölçüler yardımıyla denetlenebilirliğini belirlemek için iç güven ölçütleri (42) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. GPS ölçülerinin iç güven ölçütleri.

(Şekil 3.17)'de görüldüğü gibi ölçülerin iç güven ölçütleri sınır değerlerinden küçüktür. Ayrıca iç güven ölçütü değerleri küçük ve birbirine yakın değerler olarak saptanmıştır. Bu durum, ölçülerin diğer ölçüler tarafından denetlenebildiğini göstermektedir.

Ağda ortaya çıkarılmayan bir model hatasının koordinat bilinmeyenlerine yada bunların fonksiyonlarına etkime katsayısını belirlemek için dış güven ölçütleri (43) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.18)



Şekil 3.18. GPS ölçülerinin dış güven ölçütleri.

(Şekil 3.18)'da görüldüğü gibi tüm ölçüler minimum sınır değer olan 6'dan küçük bulunmuştur.

Tüm bu sonuçlara bakılarak, ağın duyarlık ve güven açısından optimum olduğuna karar verilmiştir.

### 3.2.2. GPS Kontrol Ağında Deformasyon Analizi

GPS ağı ölçüleri 8 Mayıs 2009, 8 Eylül 2009 ve 7 Ocak 2010 tarihlerinde olmak üzere üç farklı zamanda yapılmıştır. 8 Mayıs 2009 tarihi başlangıç periyodu ( $t_0$ ) olarak alınmıştır. 8 Eylül 2009 tarihi ( $t_1$ ) ve 7 Ocak 2010 tarihi ( $t_2$ ) olarak kabul edilmiştir. ( $t_0$ ) ile ( $t_1$ ) ve ( $t_0$ ) ve ( $t_2$ ) zamanları arasında oluşan deformasyonlar statik deformasyon modeli ile belirlenmiştir. Uygulamada statik deformasyon yöntemlerinden  $\theta^2$ -ölçütü yöntemi ile deformasyon analizi yapan (GPS\_STA\_DEF) programıyla ( $t_1$ )-( $t_0$ ) ve ( $t_2$ )-( $t_0$ ) zamanları arasında ağ noktalarında oluşan hareketler belirlenmiştir.

- $t_1 - t_0$  Periyotları için Deformasyon Analizi

$\theta^2$ -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizinde, (56) eşitliğinden  $\theta^2$ -Ölçütü, (58) eşitliğinden birim ölçünün öncül ortalama hatası ( $s_0^2$ ), (60) eşitliğinden test büyüklüğü ( $T$ ) hesaplanmıştır. Test büyüklüğü F-tablo değeri ( $q$ ) ile karşılaştırılarak global test yapıp deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1.  $t_1 - t_0$  periyotları için I. adım global test sonuçları

Testler	Sonuçlar
$\theta^2$ -Ölçütü	25.298
$s_0^2$	0.407
Test büyüklüğü (T)	6.898
F-tablo (q)	2.929
<b>KARAR</b>	T > q Deformasyon var.

(Tablo 3.1)'de görüldüğü gibi global test sonucunda, test büyüklüğü ( $T$ ) değeri, F-Tablo ( $q$ ) değerinden büyük bulunduğu için ağda deformasyon olduğuna karar verilmiştir. Hangi noktada deformasyon olduğunu belirlemek için noktalar arasında aykırılık testi yapılmıştır. (66) eşitliğinden her nokta için toplam aykırılık değerleri ( $\theta^2$ ) hesaplanmıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2.  $t_1 - t_0$  periyotları için I. adım toplam aykırılık değerleri

Nokta No	I. Adım Toplam Aykırılık Değerleri ( $\theta^2$ )
BLKN	2.750
TRAB	3.657
ORMA	1.774
N7	1.807

(Tablo 3.2)'de görüldüğü gibi toplam aykırılıkta payı en büyük olan  $(\theta^2)_{max} = \max(\theta^2)_i$  TRAB noktasında,  $S=1-\alpha$  kadar istatistik güvenle deformasyon olduğuna karar verilmiştir. TRAB noktasının X, Y ve Z koordinatlarının deformasyon değerleri (dx, dy ve dz) ve noktanın hareket büyüklüğü ( $d$ ) (Tablo 3.3)'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3.  $t_1 - t_0$  periyotları için I. adımda hareket belirlenen noktanın deformasyon değerleri

TRAB Noktasının Deformasyon Değerleri (cm/4ay)	
<b>dx</b>	-0.54
<b>dy</b>	-0.16
<b>dz</b>	0.07
$d = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$	0.57

TRAB noktası dışındaki diğer noktalarda hareket olup olmadığını belirlemek için TRAB noktası hareketli noktalar kümesine alınmış ve geri kalan noktalar arasında S-dönüşümü (68) eşitliğine göre yapılarak II. adıma geçilmiştir.

II. adımda aynı işlemler yinelenerek (56) eşitliğinden  $\theta^2$  -Ölçütü, (58) eşitliğinden birim ölçünün öncül ortalama hatası ( $s_0^2$ ), (60) eşitliğinden test büyüklüğü ( $T$ ) hesaplanmıştır. Test büyüklüğü F-tablo değeri ( $q$ ) ile karşılaştırılarak global test yapıp deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir (Tablo 3.4).

Tablo 3.4.  $t_1 - t_0$  periyotları için II. adım global test sonuçları

Testler	Sonuçlar
$\theta^2$ -Ölçütü	17.133
$s_0^2$	0.407
Test büyüklüğü ( $T$ )	7.007
F-tablo ( $q$ )	3.221
<b>KARAR</b>	$T > q$ Deformasyon var.

Tablo 3.4'te görüldüğü gibi global test sonucunda, test büyüklüğü ( $T$ ) değeri, F-Tablo ( $q$ ) değerinden büyük bulunduğu için ağda deformasyon olduğuna karar verilmiştir. Hangi noktada deformasyon olduğunu belirlemek için noktalar arasında aykırılık testi yapılmıştır. (66) eşitliğinden her nokta için toplam aykırılık değerleri ( $\theta^2$ ) hesaplanmıştır (Tablo 3.5).

Tablo 3.5.  $t_1 - t_0$  periyotları için II. adım toplam aykırılık değerleri

Nokta No	II. Adım Toplam Aykırılık Değerleri ( $\theta^2$ )
BLKN	0.539
ORMA	1.516
N7	1.052



(Tablo 3.5)'te görüldüğü gibi toplam aykırılıkta payı en büyük olan  $(\theta^2)_{max} = \max(\theta^2)_i$  ORMA noktasında,  $S=1-\alpha$  kadar istatistik güvenle deformasyon olduğuna karar verilmiştir. ORMA noktasının X, Y ve Z koordinatlarının deformasyon değerleri (dx, dy ve dz) ve noktanın hareket büyüklüğü ( $d$ ) Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6.  $t_1 - t_0$  periyotları için II. adımda hareket belirlenen noktanın deformasyon değerleri

ORMA Noktasının Deformasyon Değerleri (cm/4ay)	
<b>dx</b>	0.15
<b>dy</b>	0.47
<b>dz</b>	-0.79
$d = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$	0.93

TRAB ve ORMA noktaları dışındaki diğer noktalarda hareket olup olmadığını belirlemek için ORMA noktası da hareketli noktalar kümesine alınmış ve geri kalan noktalar arasında S-dönüşümü (68) eşitliğine göre yapılarak III. adıma geçilmiştir.

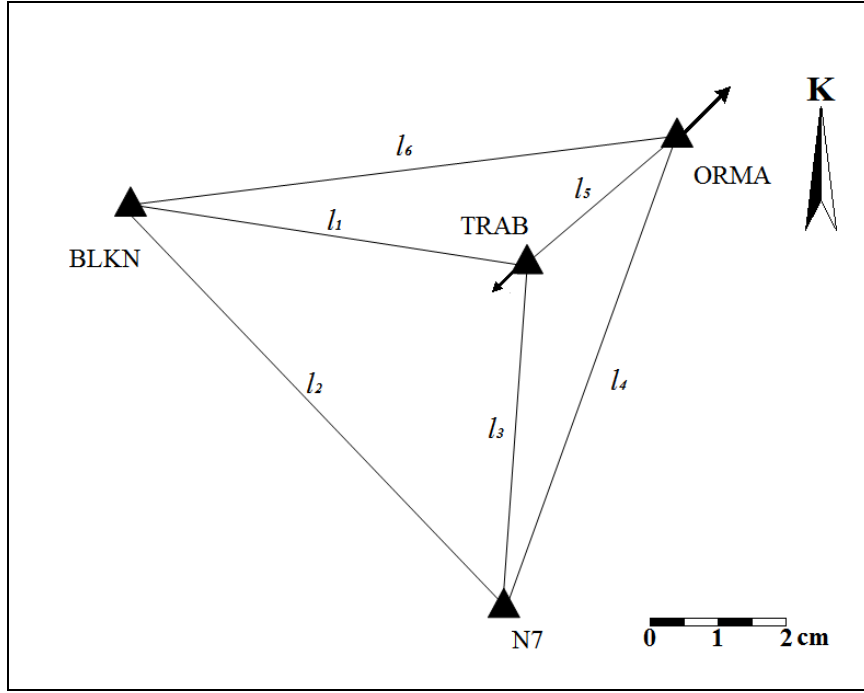
III. adımda aynı işlemler yinelenerek (56) eşitliğinden  $\theta^2$ -Ölçütü, (58) eşitliğinden birim ölçünün öncül ortalama hatası ( $s_0^2$ ), (60) eşitliğinden test büyüklüğü ( $T$ ) hesaplanmıştır. Test büyüklüğü F-tablo değeri ( $q$ ) ile karşılaştırılarak global test yapıp deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir (Tablo 3.7).

Tablo 3.7.  $t_1 - t_0$  periyotları için III. adım global test sonuçları

Testler	Sonuçlar
$\theta^2$ -Ölçütü	4.334
$s_0^2$	0.407
Test büyüklüğü ( $T$ )	3.545
F-tablo ( $q$ )	3.954
<b>KARAR</b>	$T < q$ Deformasyon yok.

Tablo 3.7'de görüldüğü gibi global test sonucunda, test büyüklüğü ( $T$ ) değeri, F-Tablo ( $q$ ) değerinden küçük bulunduğu için ağda deformasyon olmadığına karar verilmiştir.

Deformasyon analizi sonucunda  $t_1 - t_0$  periyotları arasında geçen süre içerisinde TRAB ve ORMA (Şekil 3.19) noktalarında hareket belirlenmiş, BLKN ve N7 noktalarda ise hareket belirlenmemiştir. Bu periyotlar için TRAB ve ORMA noktalarının hareket yönleri ve büyüklükleri (Şekil 3.19)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.19. TRAB ve ORMA Noktalarının Hareket yönü ve büyüklüğü

(Şekil 3.19)'de görüldüğü gibi TRAB noktası Güney-Batı yönünde, ORMA noktası da Kuzey-Doğu yönünde hareket etmiştir. Bölgenin aktif faylarının kinematiğini gösteren (Şekil 2.7) incelendiğinde araştırma alanını içine alan bölgede bulunan Boztepe Fayı ve KDAF Fayı da Güney-Batı yönünde hareket ettiği görülecektir. Bu bağlamda, TRAB IGS noktasının hareket yönünde ve (0.57 cm/4ay) büyüklüğünde Boztepe Fayı ve KDAF Fayı ile aynı yönde olduğu ortaya çıkmıştır. ORMA noktasının hareket yönü ise farklı yönde ve (0.93 cm/4ay) büyüklüğünde belirlenmiştir. Bunun nedeninin de bu noktanın çevresinde yapılan hafriyat amaçlı çalışmalar olduğu söylenebilir.

- $t_2 - t_0$  Periyotları için Deformasyon Analizi

$\theta^2$ -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizinde, (56) eşitliğinden  $\theta^2$ -Ölçütü, (58) eşitliğinden birim ölçünün öncül ortalama hatası ( $s_0^2$ ), (60) eşitliğinden test büyüklüğü ( $T$ ) hesaplanmıştır. Test büyüklüğü F-tablo değeri ( $q$ ) ile karşılaştırılarak global test yapıp deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8.  $t_2 - t_0$  periyotları için I. adım global test sonuçları

Testler	Sonuçlar
$\theta^2$ -Ölçütü	198.599
$s_0^2$	1.393
Test büyüklüğü (T)	15.845
F-tablo (q)	2.929
<b>KARAR</b>	T > q Deformasyon var.

(Tablo 3.8)'de görüldüğü gibi global test sonucunda, test büyüklüğü ( $T$ ) değeri, F-Tablo ( $q$ ) değerinden büyük bulunduğu için ağda deformasyon olduğuna karar verilmiştir. Hangi noktada deformasyon olduğunu belirlemek için noktalar arasında aykırılık testi yapılmıştır. (66) eşitliğinden her nokta için toplam aykırılık değerleri ( $\theta^2$ ) hesaplanmıştır (Tablo 3.9).

Tablo 3.9.  $t_2 - t_0$  periyotları için I. adım toplam aykırılık değeri sonuçları

Nokta No	I. Adım Toplam Aykırılık Değerleri ( $\theta^2$ )
BLKN	9.091
N7	14.236
ORMA	1.661
TRAB	26.307

(Tablo 3.9)'da görüldüğü gibi toplam aykırılıkta payı en büyük olan  $(\theta^2)_{max} = \max(\theta^2)_i$  TRAB noktasında,  $S=1-\alpha$  kadar istatistik güvenle deformasyon olduğuna karar verilmiştir. TRAB noktasının X, Y ve Z koordinatlarının deformasyon değerleri (dx, dy ve dz) ve noktanın hareket büyüklüğü ( $d$ ) (Tablo 3.10)'da gösterilmiştir.

Tablo 3.10.  $t_2 - t_0$  periyotları için I. adımda hareket belirlenen noktanın deformasyon değerleri

TRAB Noktasının Deformasyon Değerleri (cm/8ay)	
<b>dx</b>	-0.90
<b>dy</b>	-0.35
<b>dz</b>	0.20
$d = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$	0.99

TRAB noktası dışındaki diğer noktalarda hareket olup olmadığını belirlemek için TRAB noktası hareketli noktalar kümesine alınmış ve geri kalan noktalar arasında S-dönüşümü (68) eşitliğine göre yapılarak II. adıma geçilmiştir.

II. adımda aynı işlemler yinelenerek (56) eşitliğinden  $\theta^2$  -Ölçütü, (58) eşitliğinden birim ölçünün öncül ortalama hatası ( $s_0^2$ ), (60) eşitliğinden test büyüklüğü ( $T$ ) hesaplanmıştır. Test büyüklüğü F-tablo değeri ( $q$ ) ile karşılaştırılarak global test yapıp deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir (Tablo 3.11).

Tablo 3.11.  $t_2 - t_0$  periyotları için II. adım global test sonuçları

Testler	Sonuçlar
$\theta^2$ -Ölçütü	183.645
$s_0^2$	1.393
Test büyüklüğü ( $T$ )	21.978
F-tablo ( $q$ )	3.221
<b>KARAR</b>	$T > q$ Deformasyon var.

Tablo 3.11’de görüldüğü gibi global test sonucunda, test büyüklüğü ( $T$ ) değeri, F-Tablo ( $q$ ) değerinden büyük bulunduğu için ağda deformasyon olduğuna karar verilmiştir. Hangi noktada deformasyon olduğunu belirlemek için noktalar arasında aykırılık testi yapılmıştır. (66) eşitliğinden her nokta için toplam aykırılık değerleri ( $\theta^2$ ) hesaplanmıştır (Tablo 3.12).

Tablo 3.12.  $t_2 - t_0$  periyotları için II. adım toplam aykırılık değeri sonuçları

Nokta No	II. Adım Toplam Aykırılık Değerleri ( $\theta^2$ )
ORMA	3.646
N7	20.928
BLKN	25.282

(Tablo 3.12)’de görüldüğü gibi toplam aykırılıkta payı en büyük olan  $(\theta^2)_{max} = \max(\theta^2)_i$  BLKN noktasında,  $S=1-\alpha$  kadar istatistik güvenle deformasyon olduğuna karar verilmiştir. BLKN noktasının X, Y ve Z koordinatlarının deformasyon değerleri (dx, dy ve dz) ve noktanın hareket büyüklüğü ( $d$ ) Tablo 3.13’te gösterilmiştir.

Tablo 3.13.  $t_2 - t_0$  periyotları için II. adımda hareket belirlenen noktanın deformasyon değerleri

ORMA Noktasının Deformasyon Değerleri (cm/8ay)	
<b>dx</b>	0.47
<b>dy</b>	0.64
<b>dz</b>	-1.07
$d = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$	1.33

TRAB ve BLKN noktaları dışındaki diğer noktalarda hareket olup olmadığını belirlemek için BLKN noktası da hareketli noktalar kümesine alınmış ve geri kalan noktalar arasında S-dönüşümü (68) eşitliğine göre yapılarak III. adıma geçilmiştir.

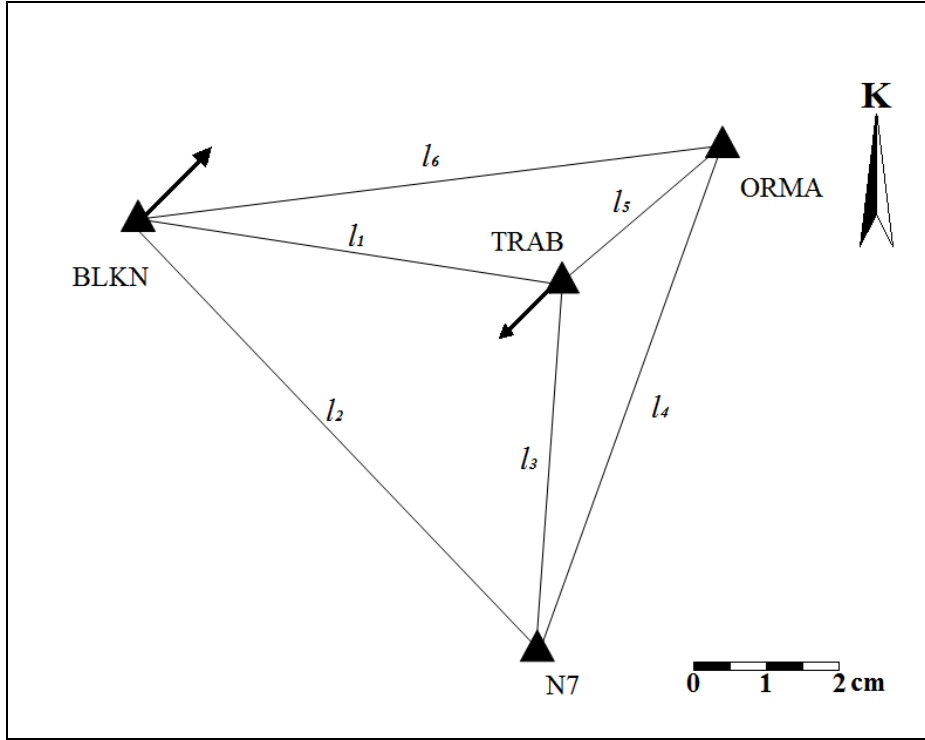
III. adımda aynı işlemler yinelenerek (56) eşitliğinden  $\theta^2$  -Ölçütü, (58) eşitliğinden birim ölçünün öncül ortalama hatası ( $s_0^2$ ), (60) eşitliğinden test büyüklüğü ( $T$ ) hesaplanmıştır. Test büyüklüğü F-tablo değeri ( $q$ ) ile karşılaştırılarak global test yapıp deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir (Tablo 3.14).

Tablo 3.14.  $t_2 - t_0$  periyotları için III. adım global test sonuçları

Testler	Sonuçlar
$\theta^2$ -Ölçütü	16.224
$s_0^2$	1.393
Test büyüklüğü ( $T$ )	3.883
F-tablo ( $q$ )	3.954
<b>KARAR</b>	T < q Deformasyon yok.

(Tablo 3.14)'de görüldüğü gibi global test sonucunda, test büyüklüğü ( $T$ ) değeri, F-Tablo ( $q$ ) değerinden küçük bulunduğu için ağda deformasyon olmadığına karar verilmiştir.

Analiz sonucunda  $t_2 - t_0$  periyotları arasında geçen süre içerisinde TRAB (Şekil 3.22) ve BLKN (Şekil 3.23) noktalarında hareket belirlenmiş, ORMA ve N7 noktalarda ise hareket belirlenmemiştir. Bu periyotlar için TRAB ve BLKN noktalarının hareket yönleri ve büyüklükleri (Şekil 3.20)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. TRAB ve BLKN Noktalarının Hareket yönü ve büyüklüğü

(Şekil 3.20)'de görüldüğü gibi TRAB noktası Güney-Batı yönünde ve (0.99 cm/8ay) büyüklüğünde, BLKN noktası da Kuzey-Doğu yönünde (1.33 cm/8ay) büyüklüğünde hareket etmiştir. Bölgenin aktif faylarının kinematiğini gösteren (Şekil 2.7) incelendiğinde araştırma alanını içine alan bölgede bulunan Boztepe Fayı ve KDFAF Fayı da Güney-Batı yönünde hareket ettiği görülecektir. Bu bağlamda, TRAB IGS noktasının hareket yönünün de Boztepe Fayı ve KDFAF Fayı ile aynı olduğu ortaya çıkmıştır.

### 3.3. Nivelman Ağı Ölçüleriyle Deformasyon Analizi

(Şekil 2.18)'de verilen nivelman ağında Mayıs 2009 (I. Periyot), Eylül 2009 (II. Periyot) ve Ocak 2010 (III. Periyot) tarihlerinde olmak üzere üç periyot hassas nivelman ölçüsü yapılmıştır.

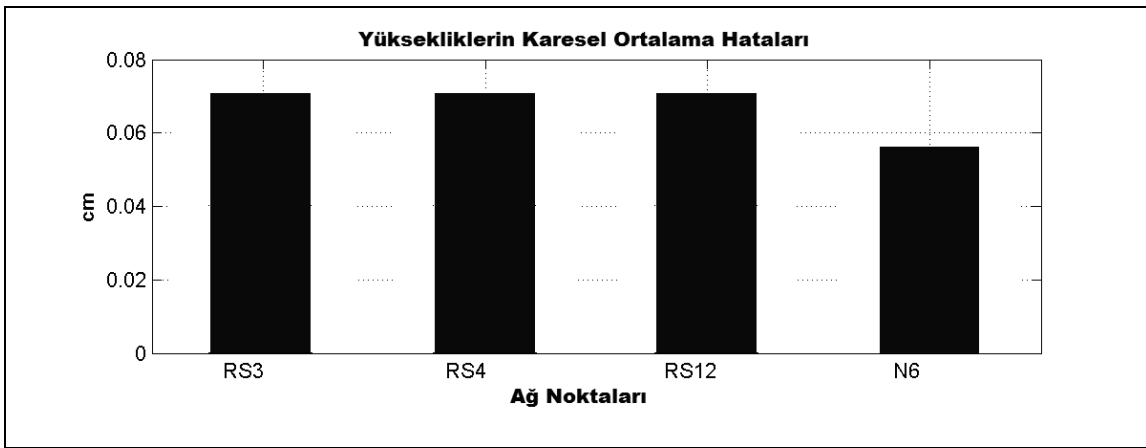
#### 3.3.1. Nivelman Kontrol Ağı Ölçülerinin Dengelenmesi

Her periyotta hassas nivelman yöntemiyle ölçülen yükseklik farkları serbest ağ yöntemine göre dengelenerek ağ noktalarının dengeli yükseklikleri ve onların varyans-

kovaryans matrisleri (GPS\_DEN) programı ile hesaplanmıştır. (Bayrak ve Yalçınkaya, 2003) Nivelman ağının optimum olup olmadığını test etmek için her periyotta ağın duyarlık ve güven ölçütleri hesaplanmıştır.

- I. Periyot Hassas Nivelman Ölçülerinin Dengelenmesi

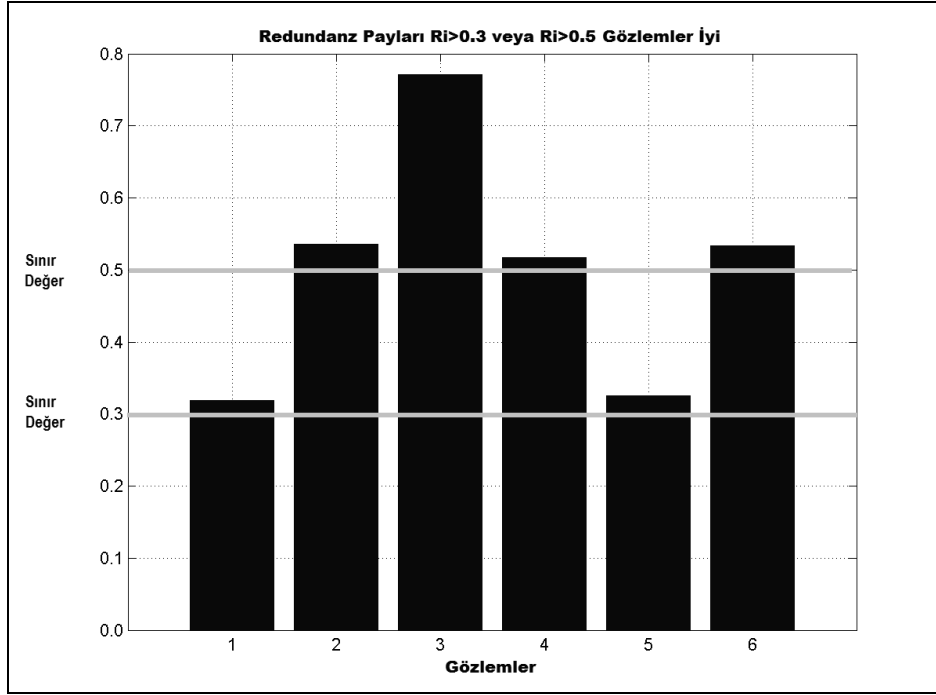
I. periyot ölçülerden duyarlık ölçütü olarak, nokta yüksekliklerinin ortalama hataları ( $m_h$ ) (22) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Yüksekliklerin karesel ortalama hataları

(Şekil 3.21)'de görüldüğü gibi ağ noktalarının yüksekliklerinin ortalama hataları maksimum 0.07 mm dir. Bu da ağ noktalarının duyarlık açısından iyi olduğunu göstermektedir.

Güven ölçütü olarak, ağ ölçülerinin redundanz payları, iç ve dış güven ölçütleri hesaplanmıştır. Ağda her hangi bir ölçüde yapılacak hatanın yüzde kaçının bu ölçünün düzeltilmesine yansıtacağı belirlemek için redundanz payları (41) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.22).

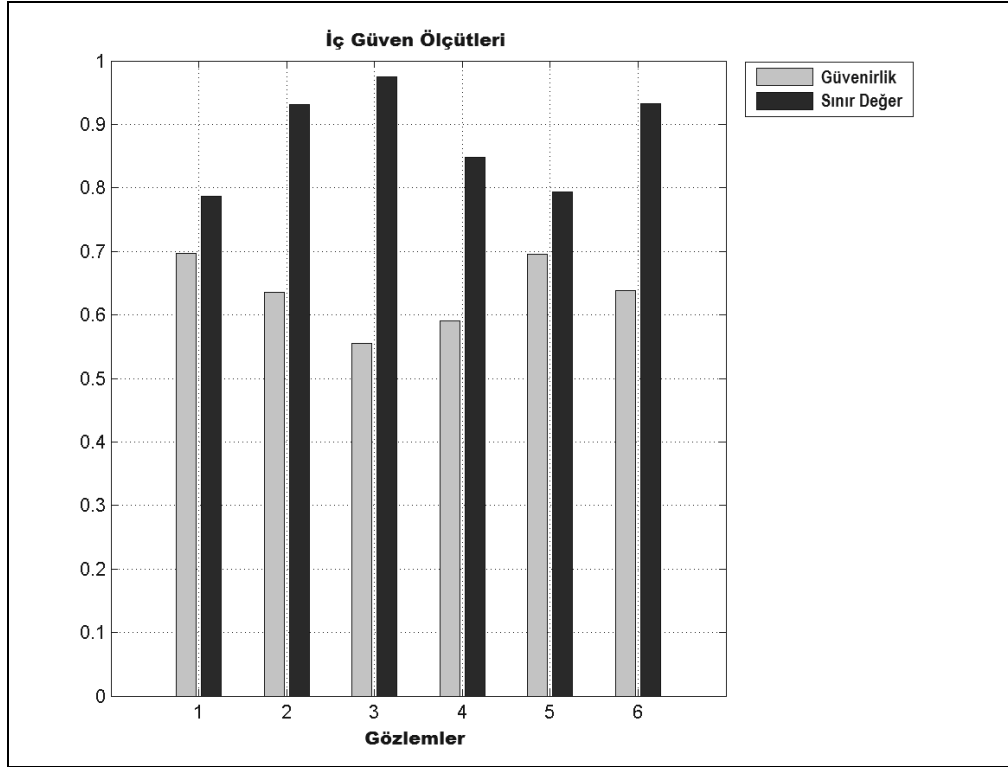


### 3.22. Nivelman gözlemlerinin redundanz payları ve sınır değerler

(Şekil 3.22)'de görüldüğü gibi gözlemlerin redundanz payları sınır değer olan 0,3'ten büyük bulunmuştur. Bu bağlamda, bir ölçünün diğer ölçüler yardımı ile kontrol edilebilir olduğuna karar verebiliriz.

Ağıdaki ölçülerden herhangi birinin diğer ölçüler yardımıyla denetlenebilirliğini belirlemek için iç güven ölçütleri (42) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.23).

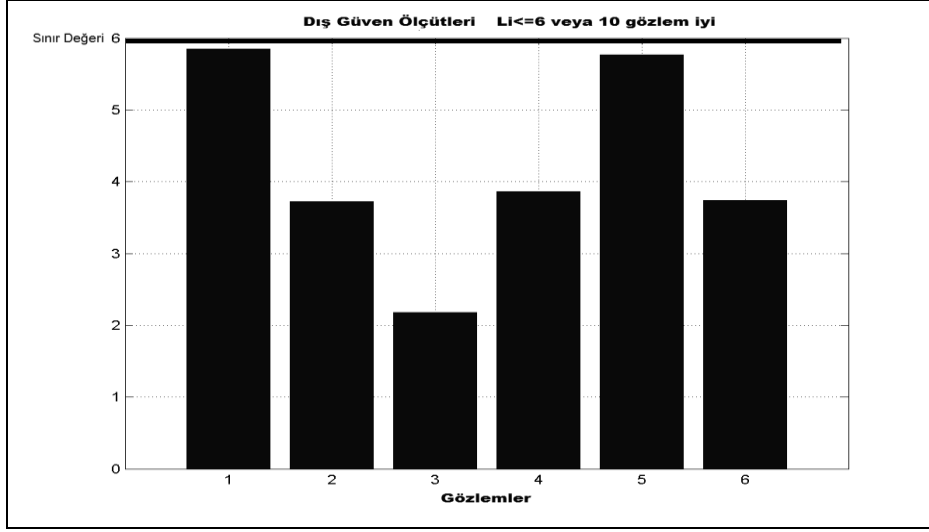




Şekil 3.23. Nivelman ölçülerinin iç güven ölçütleri ve sınır değerleri

(Şekil 3.23)'de görüldüğü gibi ölçülerin iç güven ölçütleri sınır değerlerden küçüktür. Yani ölçüler diğer ölçüler tarafından denetlenebilmektedir.

Ağda ortaya çıkarılmayan bir model hatasının koordinat bilinmeyenlerine yada bunların fonksiyonlarına etkiye katsayısını belirlemek için dış güven ölçütleri (43) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.24).



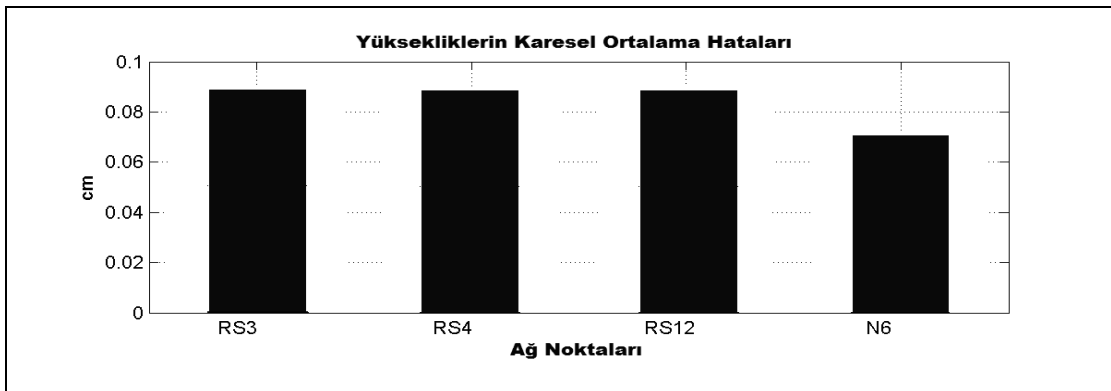
Şekil 3.24. Nivelman ölçülerinin dış güven ölçütleri

(Şekil 3.24)'da görüldüğü gibi ölçülerin dış güven ölçütleri sınır değer olan 6'dan küçük olarak belirlenmiştir. Bu durum ağın model hatalarını ortaya çıkarabileceğini göstermektedir.

Tüm bu sonuçlara bakılarak, ağın duyarlık ve güven açısından optimum olduğuna karar verilmiştir.

- II. Periyot Hassas Nivelman Ölçülerinin Dengelenmesi

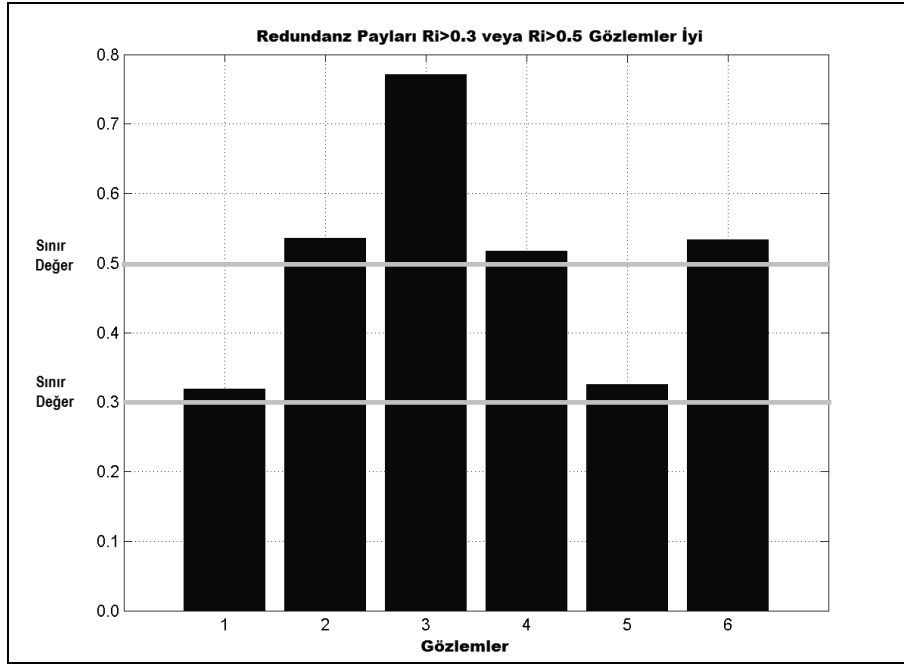
II. periyot ölçülerden duyarlık ölçütü olarak, nokta yüksekliklerinin ortalama hataları ( $m_h$ ) (22) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Nivelman yüksekliklerinin karesel ortalama hataları

(Şekil 3.25)'de görüldüğü gibi ağ noktalarının yüksekliklerinin ortalama hataları maksimum 0.09 mm dir. Bu da ağ noktalarının duyarlık açısından iyi olduğunu göstermektedir.

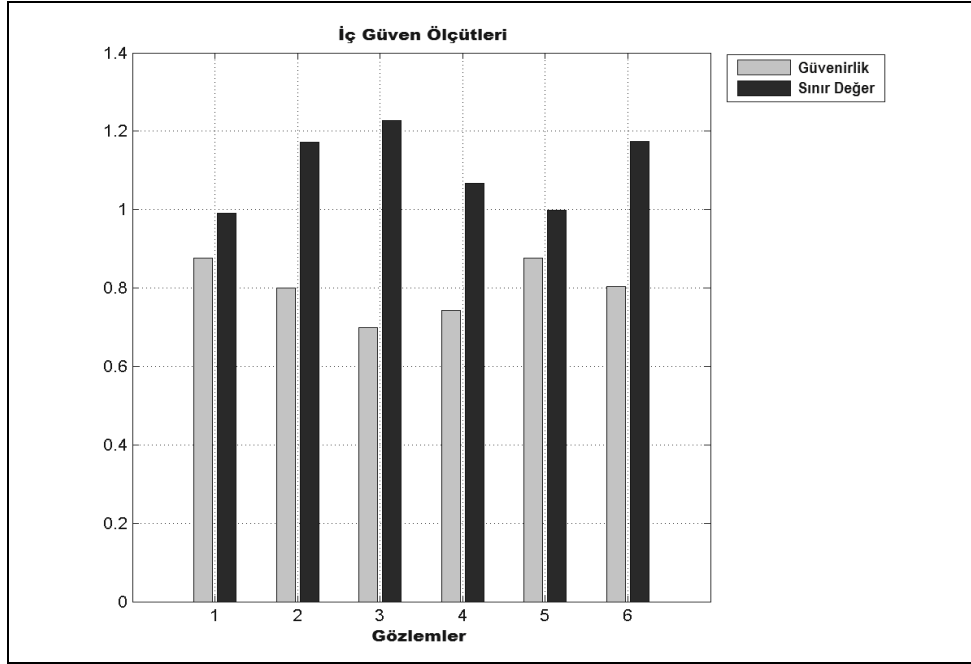
Güven ölçütü olarak, ağ ölçülerinin redundanz payları, iç ve dış güven ölçütleri hesaplanmıştır. Ağda her hangi bir ölçüde yapılacak hatanın yüzde kaçının bu ölçünün düzeltilmesine yansıtacağı belirlemek için redundanz payları (41) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. Nivelman gözlemlerinin redundanz payları ve sınır değerler

(Şekil 3.26)'de görüldüğü gibi gözlemlerin redundanz payları sınır değer olan 0,3'ten büyük bulunmuştur. Bu bağlamda, bir ölçünün diğer ölçüler yardımı ile kontrol edilebilir olduğuna karar verebiliriz.

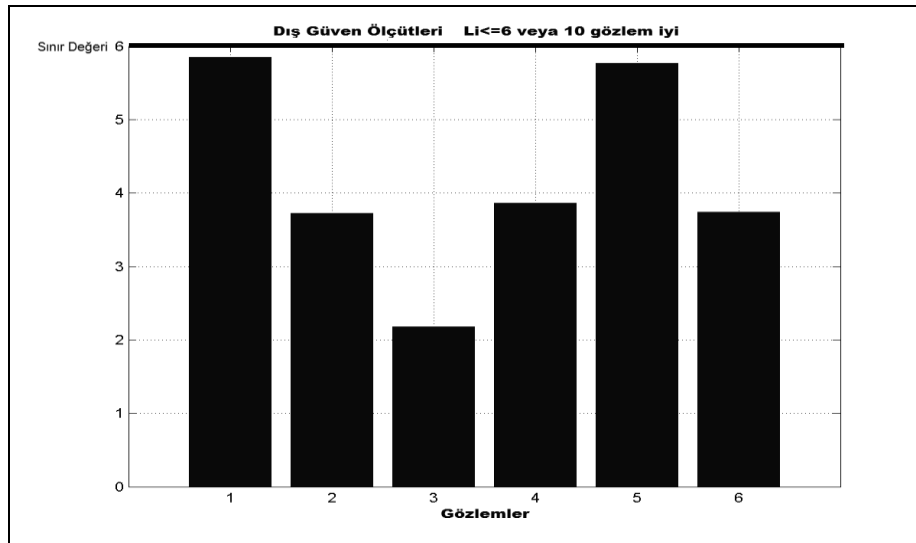
Ağdaki ölçülerden herhangi birinin diğer ölçüler yardımıyla denetlenebilirliğini belirlemek için iç güven ölçütleri (42) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Nivelman ölçülerinin iç güven ölçütleri ve sınır değerleri

(Şekil 3.27)'da görüldüğü gibi ölçülerin iç güven ölçütleri sınır değerlerden küçüktür. Yani ölçüler diğer ölçüler tarafından denetlenebilmektedir.

Ağda ortaya çıkarılmayan bir model hatasının koordinat bilinmeyenlerine yada bunların fonksiyonlarına etkime katsayısını belirlemek için dış güven ölçütleri (43) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.28).



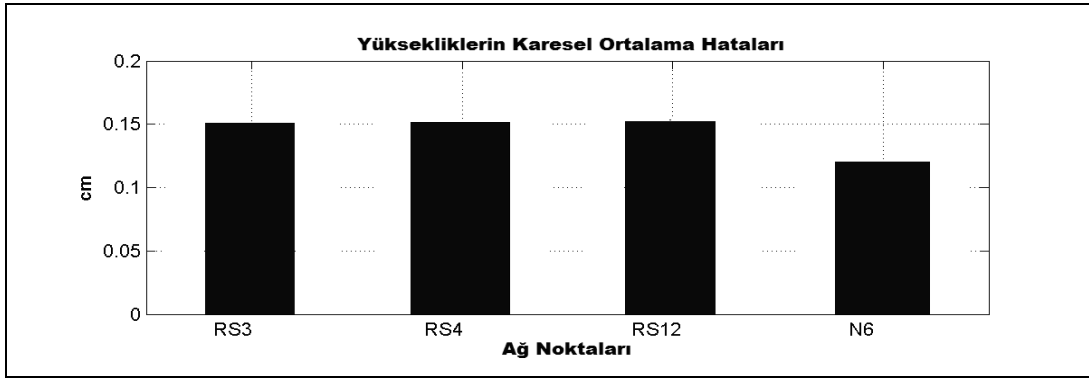
Şekil 3.28. Nivelman ölçülerinin dış güven ölçütleri.

(Şekil 3.28)'da görüldüğü gibi ölçülerin dış güven ölçütleri sınır değeri olan 6'dan küçük olarak belirlenmiştir. Bu durum ağın model hatalarını ortaya çıkarabileceğini göstermektedir.

Tüm bu sonuçlara bakılarak, ağın duyarlık ve güven açısından optimum olduğuna karar verilmiştir.

- III. Periyot Hassas Nivelman Ölçülerinin Dengelenmesi

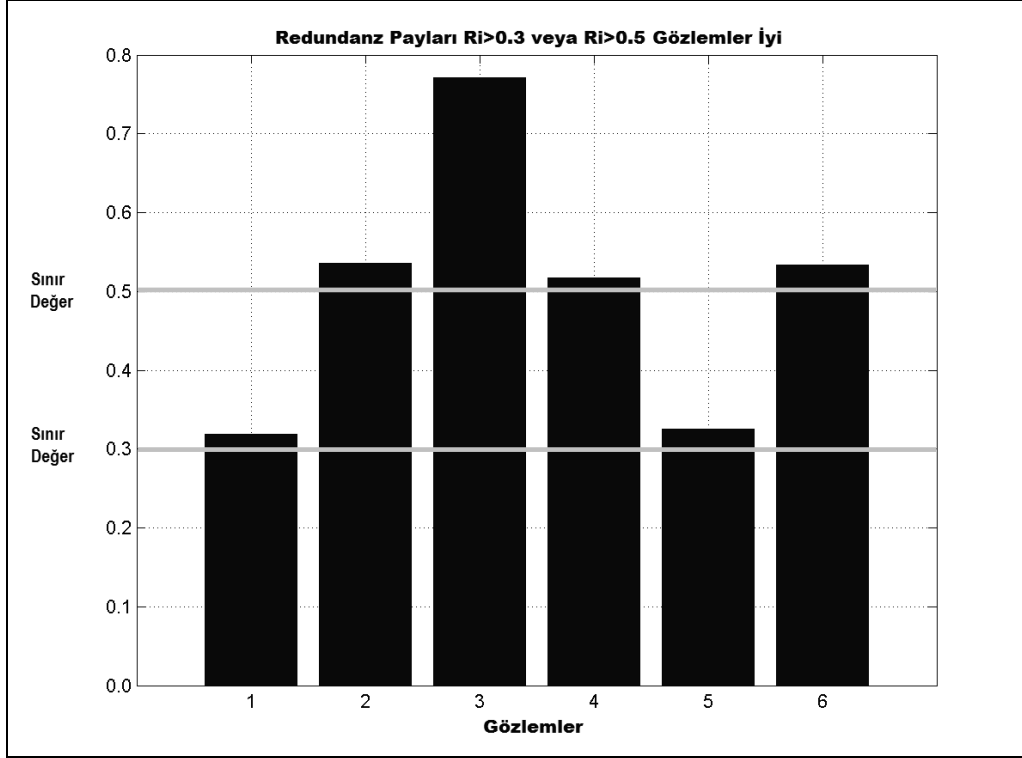
III. periyot ölçülerden duyarlık ölçütü olarak, nokta yüksekliklerinin ortalama hataları ( $m_h$ ) (22) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Yüksekliklerin karesel ortalama hataları.

(Şekil 3.29)'de görüldüğü gibi ağ noktalarının yüksekliklerinin ortalama hataları maksimum 0.15 mm dir. Bu da ağ noktalarının duyarlık açısından iyi olduğunu göstermektedir.

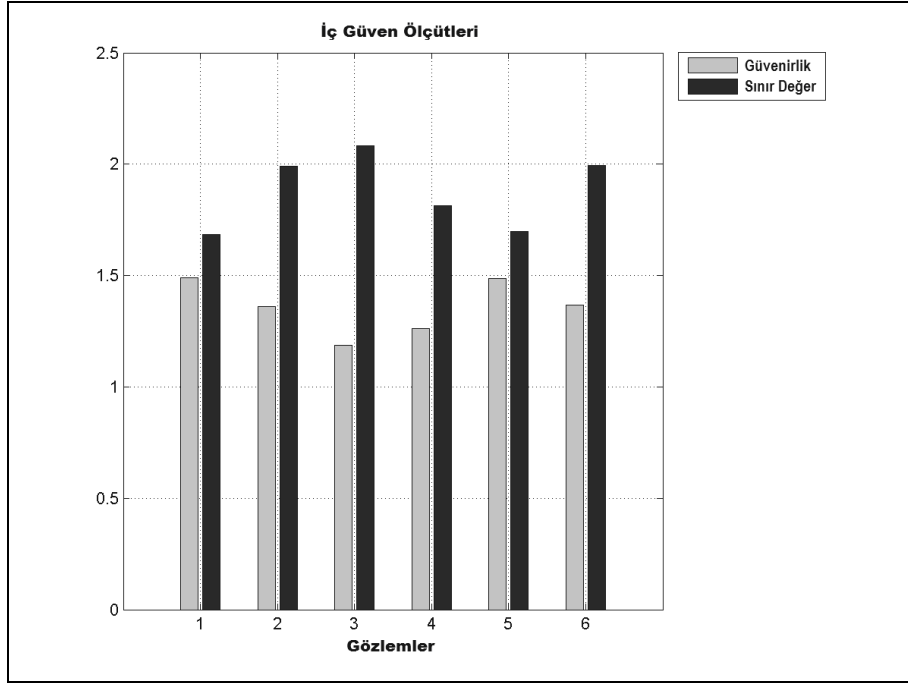
Güven ölçütü olarak, ağ ölçülerinin redundanz payları, iç ve dış güven ölçütleri hesaplanmıştır. Ağda her hangi bir ölçüde yapılacak hatanın yüzde kaçının bu ölçünün düzeltmesine yansıtacağı belirlemek için redundanz payları (41) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. Nivelman gözlemlerinin redundanz payları ve sınır değerler

(Şekil 3.30)'de görüldüğü gibi gözlemlerin redundanz payları sınır değer olan 0,3'ten büyük bulunmuştur. Bu bağlamda, bir ölçünün diğer ölçüler yardımı ile kontrol edilebilir olduğuna karar verebiliriz.

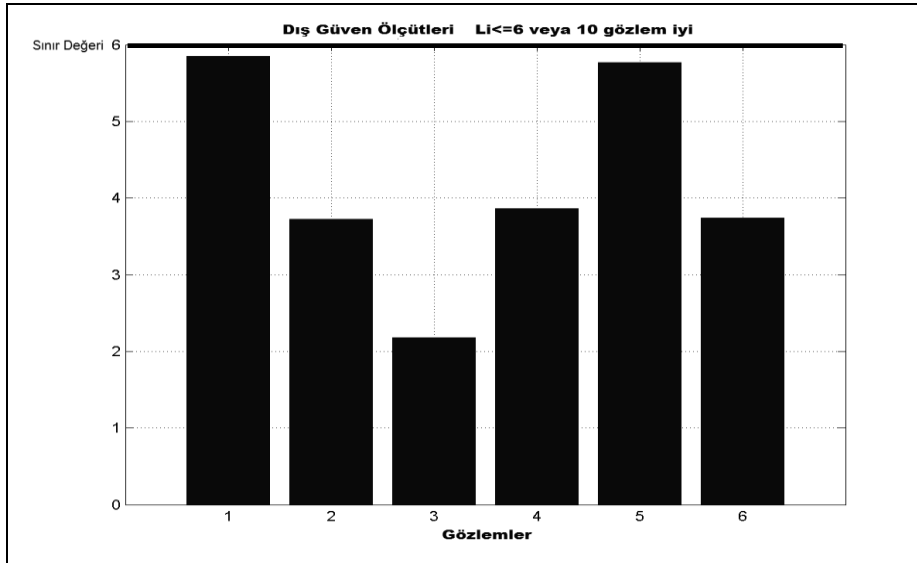
Ağdaki ölçülerden herhangi birinin diğer ölçüler yardımıyla denetlenebilirliğini belirlemek için iç güven ölçütleri (42) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Nivelman ölçülerinin iç güven ölçütleri ve sınır değerleri

(Şekil 3.31)'de görüldüğü gibi ölçülerin iç güven ölçütleri sınır değerlerden küçüktür. Yani ölçüler diğer ölçüler tarafından denetlenebilmektedir.

Ağda ortaya çıkarılmayan bir model hatasının koordinat bilinmeyenlerine yada bunların fonksiyonlarına etkiye katsayısını belirlemek için dış güven ölçütleri (43) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Nivelman ölçülerinin dış güven ölçütleri

(Şekil 3.32)'da görüldüğü gibi ölçülerin dış güven ölçütleri sınır değerden küçük olarak belirlenmiştir. Bu durum ağı model hatalarını ortaya çıkarabileceğini göstermektedir.

Tüm bu sonuçlara bakılarak, ağı duyarlık ve güven açısından optimum olduğuna karar verilmiştir.

### 3.3.2. Nivelman Ağında Deformasyon Analizi

Hassas nivelman ölçüleri 9 Mayıs 2009, 9 Eylül 2009 ve 8 Ocak 2010 tarihlerinde olmak üzere üç farklı zamanda yapılmıştır. 9 Mayıs 2009 tarihi başlangıç periyodu ( $t_0$ ) olarak alınmıştır. 9 Eylül 2009 tarihi ( $t_1$ ) ve 8 Ocak 2010 tarihi ( $t_2$ ) olarak kabul edilmiştir. ( $t_0$ ) ile ( $t_1$ ) ve ( $t_0$ ) ve ( $t_2$ ) zamanları arasında oluşan deformasyonlar statik deformasyon modeli ile belirlenmiştir. Uygulamada statik deformasyon yöntemlerinden  $\theta^2$ -ölçütü yöntemi ile deformasyon analizi yapan (GPS\_STA\_DEF) programıyla ( $t_1$ )-( $t_0$ ) ve ( $t_2$ )-( $t_0$ ) zamanları arasında ağ noktalarında oluşan hareketler belirlenmiştir.

- $t_1 - t_0$  Periyotları için Deformasyon Analizi

$\theta^2$ -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizinde, (56) eşitliğinden  $\theta^2$ -Ölçütü, (58) eşitliğinden birim ölçünün öncül ortalama hatası ( $s_0^2$ ), (60) eşitliğinden test büyüklüğü ( $T$ ) hesaplanmıştır. Test büyüklüğü F-tablo değeri ( $q$ ) ile karşılaştırılarak global test yapıp deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir (Tablo 3.15).

Tablo 3.15.  $\theta^2$ -ölçütü yöntemiyle belirlenen deformasyon analiz değerleri I. adım

Testler	Sonuçlar
$\theta^2$ -Ölçütü	0.004
$s_0^2$	0.007
Test büyüklüğü (T)	0.173
F-tablo (q)	6.599
<b>KARAR</b>	T < F Deformasyon yok.

- $t_2 - t_0$  Periyotları için Deformasyon Analizi

$\theta^2$ -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizinde, (56) eşitliğinden  $\theta^2$ -Ölçütü, (58) eşitliğinden birim ölçünün öncül ortalama hatası ( $s_0^2$ ), (60) eşitliğinden test büyüklüğü ( $T$ )



hesaplanmıştır. Test büyüklüğü F-tablo değeri ( $q$ ) ile karşılaştırılarak global test yapıp deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir (Tablo 3.16).

Tablo 3.16.  $\theta^2$  -ölçütü yöntemiyle belirlenen deformasyon analiz değerleri I. adım

Testler	Sonuçlar
$\theta^2$ -Ölçütü	0.049
$s_0^2$	0.016
Test büyüklüğü (T)	1.013
F-tablo (q)	6.599
<b>KARAR</b>	T < F Deformasyon yok.

Analiz sonucunda nivelman ağının hiç bir noktasında geçen süreler içerisinde düşey yönde anlamlı bir hareket belirlenmemiştir. Sonuç olarak, hassas nivelman yöntemiyle Harita Mühendisliği binasında da bu zaman aralığında anlamlı bir düşey hareketlilik olmadığı belirlenmiştir.

#### 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Dünyanın çeşitli bölgelerinde tesis edilmiş olan IGS noktaları birçok çalışma, özellikle jeodinamik çalışmalar için kullanılmaktadır. Bu bağlamda IGS noktalarında deformasyon olup olmadığının araştırması çok önemlidir. Ülkemizde bulunan dört IGS noktasından biri olan TRAB noktasının sabitliğinin araştırılması da yararlı olacaktır.

Bu tez çalışması kapsamında; KTÜ Kanuni Kampüsü, Harita Mühendisliği Bölümü binası çatısına tesis edilmiş ve sabit GPS ağ noktası olan TRAB IGS noktasının sabitliğinin araştırılması; TRAB noktasının üzerine tesis edildiği Harita Mühendisliği binası ve çevresinde oluşan deformasyonların GPS ve nivelman kontrol ağlarında yapılan periyodik ölçülerle belirlenmesi ve bu sonuçların, araştırma alanında jeolojik olarak belirlenmiş aktif fay kinematığı ile karşılaştırılarak yorumlanması yapılmıştır.

TRAB IGS istasyonunun ITRF2005 2000.0 epoklu kartezyen koordinatlarının incelenmesi

Çalışmada, önce TRAB IGS İstasyonunun 2000–2005 yılları arasında IERS tarafından değerlendirilmiş ITRF2005 kartezyen koordinat kümeleri ve hız verileri irdelenmiştir. TRAB IGS noktasının 2000–2005 yılları arasındaki 2191 gün için elde edilen kartezyen koordinat kümelerinin (X, Y ve Z) ve koordinat hızlarının ( $V_x$ ,  $V_y$  ve  $V_z$ ) değişimi incelenmiştir.

- TRAB IGS noktasının X kartezyen koordinatının hız bileşenine ( $V_x$ ) ait veri kümesi için hız sabit ( $V_x = -0.023$  m/yıl) olarak belirlenmiştir.
- TRAB IGS noktasının X koordinatlarının zamana bağlı grafiği lineer (doğrusal) olduğu ve noktanın X doğrultusunda 16 günde bir -1 mm kaydığı saptanmıştır.
- TRAB IGS noktasının Y kartezyen koordinatının hız bileşenine ( $V_y$ ) ait veri kümesi için hız, sabit ( $V_y = 0.014$  m/yıl) olarak belirlenmiştir.
- TRAB IGS noktasının Y koordinatlarının zamana bağlı grafiği lineer (doğrusal) olduğu ve noktanın Y doğrultusunda 27 günde bir 1 mm kaydığı saptanmıştır.
- TRAB IGS noktasının Z kartezyen koordinatının hız bileşenine ( $V_z$ ) ait veri kümesi için hız, sabit ( $V_z = 0.010$  m/yıl) olarak belirlenmiştir.
- TRAB IGS noktasının Z koordinatlarının zamana bağlı grafiği lineer (doğrusal) olduğu ve noktanın Z doğrultusunda 35 günde bir 1 mm kaydığı saptanmıştır.

Bu sonuçlar irdelendiğinde, TRAB IGS noktasının X kartezyen koordinatında Güney yönünde, Y kartezyen koordinatında Doğu yönünde ve Z kartezyen koordinatında yükselme yönünde değişim olduğu saptanmıştır.

TRAB IGS noktası ve KTÜ Harita Mühendisliği binasının sabitliğinin araştırılması

TRAB IGS istasyon noktasının ve üzerine tesis edildiği KTÜ Harita Mühendisliği binasının sabitliğinin araştırılması için kurulan GPS kontrol ağında 4 ay ara ile 3 periyot ölçü yapılmıştır.

Her periyottaki ölçüler serbest ağ yöntemine göre ayrı ayrı dengelenmiş ve ağın duyarlık ve güven ölçütleri hesaplanarak ağın optimum olup olmadığı test edilmiştir.

- I. periyot GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sonucu; nokta koordinatlarının ortalama hatalarının maksimum 0.08 mm, nokta konumlarının ortalama hatalarının da maksimum 0.15 mm civarında oldukları saptanmıştır. Ölçülerin redundanz paylarının sınır değer olan 0.3'ten büyük, iç güven ve dış güven ölçütlerinin de sınır değerlerinden küçük oldukları belirlenmiştir.
- II. periyot GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sonucu; nokta koordinatlarının ortalama hatalarının maksimum 0.08 mm, nokta konumlarının ortalama hatalarının da maksimum 0.14 mm civarında oldukları saptanmıştır. Ölçülerin redundanz paylarının sınır değer olan 0.3'ten büyük, iç güven ve dış güven ölçütlerinin de sınır değerlerinden küçük oldukları belirlenmiştir.
- III. periyot GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sonucu; nokta koordinatlarının ortalama hatalarının maksimum 0.08 mm, nokta konumlarının ortalama hatalarının da maksimum 0.40 mm civarında oldukları saptanmıştır. Ölçülerin redundanz paylarının sınır değer olan 0.3'ten büyük, iç güven ve dış güven ölçütlerinin de sınır değerlerinden küçük oldukları belirlenmiştir.

Üç periyot ölçünün değerlendirilmesi ile elde edilen duyarlık ve güven ölçütlerinin irdelenmesi sonucu, kurulan GPS kontrol ağının optimum olduğuna karar verilmiştir.

Üç periyottaki ölçülerin serbest dengelenmesi sonucu elde edilen kesin koordinatlar ve onların varyans-kovaryans matrisleri kullanılarak statik deformasyon modeli olan  $\theta^2$  - Ölçütü Yöntemiyle  $(t_1)-(t_0)$  ve  $(t_2)-(t_0)$  zamanları arasında ağ noktalarında oluşan deformasyonlar belirlenmiştir.

$t_1 - t_0$  periyotu için  $\theta^2$ -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizi sonucu,

- İlk adımda, TRAB noktasının X, Y ve Z koordinatlarının deformasyonları ( $dx=0.54$  cm/4ay,  $dy=0.16$  cm/4ay,  $dz=0.07$  cm/4ay) ve noktanın hareket büyüklüğü de ( $d=0.57$  cm/4ay) olarak belirlenmiştir.
- İkinci adımda, ORMA noktasının X, Y ve Z koordinatlarının deformasyonları ( $dx=0.15$  cm/4ay,  $dy=0.47$  cm/4ay,  $dz=0.79$  cm/4ay) ve noktanın hareket büyüklüğü de ( $d=0.93$  cm/4ay) olarak belirlenmiştir.

$t_2 - t_0$  periyodu için  $\theta^2$ -ölçütü yöntemiyle deformasyon analizi sonucu,

- İlk adımda, TRAB noktasının X, Y ve Z koordinatlarının deformasyonları ( $dx=-0.90$  cm/8ay,  $dy=-0.35$  cm/8ay,  $dz=0.20$  cm/8ay) ve noktanın hareket büyüklüğü de ( $d=0.99$  cm/8ay) olarak belirlenmiştir.
- İkinci adımda, BLKN noktasının X, Y ve Z koordinatlarının deformasyonları ( $dx=0.47$  cm/8ay,  $dy=0.64$  cm/8ay,  $dz=-1.07$  cm/8ay) ve noktanın hareket büyüklüğü de ( $d=1.33$  cm/8ay) olarak belirlenmiştir.

4 aylık ( $t_1$ )-(t<sub>0</sub>) ve 8 aylık ( $t_2$ )-(t<sub>0</sub>) periyotlarının değerlendirilmesi sonucu elde edilen sonuçlar irdelendiğinde;

- Her iki periyotta da TRAB noktasında Güney-Batı yönünde deformasyon olduğu saptanmıştır.
- Birinci periyotta ORMA, ikinci periyotta da BLKN noktasında da Kuzey-Doğu yönünde hareket belirlenmiştir.

GPS ağında belirlenen deformasyon değerleri, Jeolojik çalışmalar sonucu belirlenen bölgenin aktif fayları ile karşılaştırılarak irdeleme yapılmıştır. Bölgedeki aktif fay hareketleri Güney-Batı yönündedir. Bu bağlamda, TRAB IGS noktasının hareket yönü her iki periyot farkında da aynı yönde; BLKN ve ORMA noktalarının hareket yönü ise farklı yönde belirlenmiştir.

KTÜ Harita Mühendisliği binasının düşey doğrultudaki hareketinin araştırılması

TRAB IGS noktası KTÜ Harita Mühendisliği binasının çatısına tesis edildiği için bu binanın düşey doğrultudaki hareketi ayrıca araştırılmıştır. Sözü geçen bina ve çevresini kapsayacak biçimde kurulan nivelman kontrol ağında 4 ay ara ile 3 periyot hassas nivelman ölçüsü yapılmıştır.

Her periyottaki ölçüler serbest ağ yöntemine göre ayrı ayrı dengelenmiş ve ağın duyarlık ve güven ölçütleri hesaplanarak ağın optimum olup olmadığı test edilmiştir.

- I. periyot nivelman ağında yapılan ölçülerin değerlendirilmesi sonucu; nokta yüksekliklerinin ortalama hatalarının maksimum 0.07 mm olduğu saptanmıştır. Ölçülerin redundanz paylarının sınır değer olan 0.3'ten büyük, iç güven ve dış güven ölçütlerinin de sınır değerlerinden küçük oldukları belirlenmiştir.
- II. periyot nivelman ağında yapılan ölçülerin değerlendirilmesi sonucu; nokta yüksekliklerinin ortalama hatalarının maksimum 0.09 mm olduğu saptanmıştır. Ölçülerin redundanz paylarının sınır değer olan 0.3'ten büyük, iç güven ve dış güven ölçütlerinin de sınır değerlerinden küçük oldukları belirlenmiştir.
- III. periyot nivelman ağında yapılan ölçülerin değerlendirilmesi sonucu; nokta yüksekliklerinin ortalama hatalarının maksimum 0.15 mm olduğu saptanmıştır. Ölçülerin redundanz paylarının sınır değer olan 0.3'ten büyük, iç güven ve dış güven ölçütlerinin de sınır değerlerinden küçük oldukları belirlenmiştir.

Üç periyot ölçünün değerlendirilmesi ile elde edilen duyarlık ve güven ölçütlerinin irdelenmesi sonucu, kurulan nivelman kontrol ağının optimum olduğuna karar verilmiştir.

Üç periyottaki ölçülerin serbest dengelenmesi sonucu elde edilen noktaların kesin yükseklikleri ve onların varyans-kovaryans matrisleri kullanılarak statik deformasyon modelli olan  $\theta^2$  -Ölçütü Yöntemiyle  $(t_1)-(t_0)$  ve  $(t_2)-(t_0)$  zamanları arasında ağ noktalarında oluşan deformasyonlar araştırılmıştır. Deformasyon analizi sonucunda her iki periyot farkı için de noktalarda düşey doğrultuda anlamlı hareket belirlenmemiştir.

Global sabit GPS ağ noktası TRAB IGS'in sabitliğinin araştırılması amacıyla yapılan bu çalışma sonucunda, TRAB noktasının ORMA noktasına göre Güney-Batı doğrultusunda yaklaşık 1 cm/ay hareket ettiği belirlenmiştir. Bu bağlamda, TRAB IGS noktasının verilerine bir çok çalışma için güvenilmiyeceği söylenebilir.

Sonuç olarak, sabit GPS noktalarının önemli görevleri dikkate alındığında,

- bu noktaların tesis edildikleri yapı ve zeminlerin sabit olup olmadıklarının nokta tesis edilmeden önce araştırılması,
- tesis edilen IGS noktalarının sabitliğinin de belirli periyotlarda yapılan ölçülerle kontrol edilmesi

önerilmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- Açıkgöz, M., Demir, C., Aktuğ, B., ve Kılıçoğlu, A., 2005, Yersel ve GPS Ölçüleri ile Kuzeybatı Anadolu Bölgesinde Yatay Yerkabuğu Hareketlerinin Araştırılması, Deprem Sempozyumu Kocaeli, 23-25 Mart 2005, Bildiriler kitabı cilt:1 sayfa 285-287.
- Aktuğ, B., 2005, Referans Sistemlerinin Zamansal Evrimi ve Türkiye için Ulusal Bir Model: TURES-96, Harita Dergisi, 2005, sayı:133, sayfa: 1-26.
- Aktuğ, B., 2003, ITRF Hız Alanı ve Görelî Hız Referans Sistemlerine Bakış, Harita Dergisi, Temmuz, 2003, Ankara.
- Altamimi, Z., Ray, J., Status of AFREF (African Referans Frame) Project, IGS2004 Workshop, 01-05 Mart 2004, Bern, İsviçre.
- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C.: ITRF2000: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications, Geophysical Research Letters, Vol.107, No.B10, pp.2214, 2002.
- Altamimi, Z., Boucher, C.: The ITRS and ETRF89 Relationship: New Results from ITRF2000, TWG/Status of the EUREF Permanent Network, pp.49-52, 2002.
- Anlı A. S., Apaydın H., ve Öztürk F., 2009, Trabzon İlinde Gözlenen Yıllık Maksimum Yağışların Bölgesel Frekans Analizi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi (2009), Cilt 15, Sayı 3 sayfa 240-248.
- Ardel, A., 1943, Trabzon ve Civarının Morfolojisi Üzerine Gözlemler, Türk Coğrafya Dergisi., Sayı:1, Ankara, 1943
- Arslanoğlu, M. ve Mekik Ç., 2003, "Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Konumlamasının Duyarlık Analizi ve Bir Örnek Uygulama", 9. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultay, 31 Mart-4 Nisan 2003, bildiriler kitabı, sayfa 437-445, Ankara.
- Ayan, T., Üç Boyutlu Ağların Optimizasyonu, Doçentlik Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul (1981)
- Ayan, T., Jeodezik Ağlarda Deformasyon Analizine Genel Bakış, İTU Dergisi, Vol. 1, İstanbul, 1982, Türkiye
- Aydan, Ö., GPS Ölçümlerine Dayanılarak Türkiye'nin Yıllık Birim Deformasyon ve Gerilim Hızı Dağılımının Değerlendirilmesi, Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni 22, 2000, 21-31
- Ayhan, M. E., Demir C., Lenk O., Kılıçoğlu A., Aktuğ B., Açıkgöz M., Fırat O., Şengün Y.S., Cingöz A., Gürdal M.A., Kurt A.İ., Ocak M., Türker A., Yıldız H.,

- Bayazıt N., Ata M., Çağlar Y. ve Özerkan A. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A), Harita Dergisi Özel Sayı, No.16, Ankara, Mayıs, 2002
- Aydın, Ö., Soycan M. ve Soycan, A., 2004. Sabit GPS İstasyonlarının Mühendislik Amaçlı Ölçmelerde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2004 Yılı Bilimsel Toplantısı ve Mühendislik Ölçmelerinde Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 14-16 Ekim 2004, ZKÜ, Zonguldak
- Aydın, Ö. ve Soycan, M., 2004. IGS'nin Mühendislik Amaçlı GPS Uygulamalarına Katkısı, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2004 Yılı Bilimsel Toplantısı ve Mühendislik Ölçmelerinde Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 14-16 Ekim 2004, ZKÜ, Zonguldak
- Baarda, W., (1968) A Testing Procedure for Use in Geodetic Network, Netherlands Geodetic Commission, 2, 5, 5-59.
- Bayrak, T., Heyelanlar İçin Bir Dinamik Deformasyon ve Bir Dinamik Hareket Yüzeyi Modelinin Oluşturulması, Doktora Tezi, KTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- Bayrak, T. ve Yalçınkaya, M., A Kinematic Analysis Program for Deformation Monitoring, 11th International Symposium on Deformation Measurements, Proceedings, pp. 439-444, May 25-28, 2003, Santorini (Thera), Greece.
- Bayrak T., Ulukavak M., Trabzon Heyelanları, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 1, No: 2, 2009 (20-30)
- Bayrak, T., Yalçınkaya, M., GPS Ağlarında Deformasyonların Statik ve Kinematik Modellerle Belirlenmesi İçin Geliştirilmiş Bir Deformasyon Yazılım Paketi, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Sayfa:116-126, 16-18 Ekim 2002, Konya
- Bektaş, O. ve Eyüboğlu, Y. Seismotectonic Features and Seismic Hazard of the Eastern Turkish Black Sea Coast, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin Jeolojisi ve Maden Potansiyeli Sempozyumu, 22-25 Ekim 2003, Trabzon, Türkiye.
- Bektaş, O. ve Çapkınoğlu, S., Doğu Pontid Magmatik Arkında (KD, Türkiye) Neptuniyen Dayklar ve Blok Tektoniği, Yerbilimleri, Geosound, 1997. 30, 1, 451-463.
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., Meindl, M., Bernese GPS Software Version 5.0, Astronomical Institute, University of Bern, January 2007
- Draper, N.R. Smith H. (1981). Applied Regression Analysis ( Second Edition ). John Wiley & Sons, Inc.
- Dilaver, A., Jeodezik Ağlarda Kaba Hatalı Ölçülerin Ayıklanması ve Güven Ölçütleri, K.T.Ü. M.M.F. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Araştırma Raporları, Fakülte yayın No:2, 1996, Trabzon

- Engin, Ç., Şanlı D. U., IGS Ağı Ölçeğinde GPS Konum Belirleme Doğruluğu, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, 2-6 Nisan 2007, Ankara.
- Erol, S., Ayan T. GPS ve Nivelman Verilerinin Kombinasyonu ve Deformasyon Analizi TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 28 Mart -1 Nisan 2005, Ankara
- Gülal, E., Deformasyon Ölçüleri Analizinde Dinamik Modelleme, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, İstanbul, 1999/2.
- Güllü, M., GPS ve Yersel Gözlemlerin Birlikte Dengelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya (1998)
- Gürgen G., Doğu Karadeniz Bölümü'nde Maksimum Yağışlar ve Taşkınlar Açısından Önemi, GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı2, 2004, 79-92
- Gründlig, L.V., (1985). Nevreither, M., Bahndorf, J., Deformationanalyse und S-Transformation, ZFV, Heft 4, Stuttgart
- Hech, B.V., (1984). Zur Geometrischen Analyse von Deformationen Lagenetzen, AVN,91
- İnan, H. İ., Reis, S. ve Yomralıoğlu T., Trabzon İli Konumsal Bilgi Sistemi Tasarımı ve Uygulaması, Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, GisLab, Trabzon (2002)
- Jansen A., Townsend B., Cannon M.E. (2002), "The Use of Numerical Weather Predictions for Network RTK, Proc. The European Nav. Conf., The 6th Int. GNSS Symp., GNSS-2002, 27-30 Mayıs, Kopenhag, Danimarka
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2001, GPS Global Konum Belirleme Sistemi, Nobel, Ankara.
- Kapmann, V. G. (1991). "Asymptotische Prüfung von L1-Klaffungen im Kongruenzmodell der Deformationsanalyse." AVN, 98(7), 221-229.
- Kashuhe., Hein, W. G., Kisterman, R. (1979). "Mathematical Foundation of Non Tectonic Effects in Geodetic Recent Crustal Movement Models." Proceedings of the IUGG Interdisciplinary Symposium, In: Recent Crustal Movements, 315-334, Australia Dez
- Keskin, S., Güneydoğu (GD) Karadeniz Sahil Kesiminin (Trabzon Yöresi) Denizel Taraçaları ve Aktif Tektoniği, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2007
- Kılıçoğlu, A., Kurt, A.İ., Tepeköylü, S., Cingöz, A. ve Akça, E. 2004 Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA), Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) 2004 Yılı Bilimsel Toplantısı "Mühendislik Ölçmelerinde Jeodezik Ağlar Çalıştayı", 14-16 Ekim 2004, Zonguldak, Türkiye



- Koch, K. R. (1988). *Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models*. Springer-Verlag Berlin
- Konak, H., *Yüzey Ağlarının Otimizasyonu*, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon (1994)
- Konak, H., (1996) *Yer Merkezli Üç Boyutlu Jeodezik Ağlarda Datum Sorunu*, Harita Dergisi, sayı 116.
- Kurt, A. İ., Kılıçoğlu, A., Erkan, Y. ve Ceyhan B., *Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA) Veri Değerlendirme Stratejileri* Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 23-25 Mart 2005, Bildiriler kitabı cilt:1 s267-268
- Kurt, O., *GPS Ölçülerinin Değerlendirildiği Yermerkezli Üç Boyutlu Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. 1996.
- Lenk, O., *Sabit GPS İstasyonlarının Büyük Ölçekli Harita Üretimi Kapsamında Kullanımı; Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı (TUSAGA) Uygulamaları*, Bakanlıklararası Harita İşlerini Koordinasyon ve Planlama Kurulu'nun Olağan Toplantısı, 31 Mart 2005, Ankara
- Lenk, O., Kurt, A.İ., Türkezer, A., *Sabit GPS İstasyonlarının Büyük Ölçekli Harita Üretimi Kapsamında Kullanımı; Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı Uygulamaları*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart – 1 Nisan 2005, Ankara
- Lenk, O., Türkezer, A., Ergintav, S., Kurt, A.I., Belgen, A., 2003. *Monitoring the Kinematics of Anatolia Using Permanent GPS Network Stations*, Turkish Journal of Earth Sciences, pp. 55-65.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M.N., Veis, G., 2000, *Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus* J. Geophys. Res. Vol. 105, No. B3, p. 5695-5719.
- McClusky vd, 2006, *GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions*, Journal Of Geophysical Research, Vol. 111, B05411, Doi:10.1029/2005JB004051, 2006
- McElroy, S. (1990). "Getting Started with GPS Surveying" The Global Positioning System Consortium (GPSCO), 145-154, Australia.
- Mierlo, J., *A Testing Procedure for Analysing Geodetic Deformation Measurements*, Second International Symposium on Deformation Measurements by Geodetic Methods, Bonn 1978

- Nevreither, M., Bahndorf, J., Deformationanalyse und S-Transformation, ZFV, Heft 4, Stuttgart., Hech, B.V., (1984). Zur Geometrischen Analyse von Deformationen Lagenetzen, AVN,91
- Niemeier, W. (1977). "Statistical Tests for Detecting Movements in Repeatedly Measured Geodetic Networks" Proceedings of sixth International Symposium on Recent Crustal Movements, In: Recent Crustal Movements, California, 335-351.
- Niemeier, W. (1985). "Deformationsanalyse" In: Geodatische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, Konrad Wittwer, Stuttgart, Germany, 559-623.
- Özener, H., Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Kesiminin Kabuk Deformasyonlarının ve Blok Kinematığının GPS Ölçümleri ile Araştırılması, Depremselliği ve Deprem Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Araştırma Projesi 1.Gelişme Raporu (30 Ocak 2004), TÜBİTAK-YDBAG, Ankara.
- Özener, H. Garagon Doğru, A., Turgut, B., Yılmaz, O., Ergintav S., Çakmak, R., Sanli, U., Arpat, E., Gülen, L., Gürkan, O., Kuzey Anadolu Fayı Doğu Kesiminin Kabuk Deformasyonlarının ve Blok Kinematığının GPS Ölçme Tekniği İle Araştırılması TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 28 Mart - 1 Nisan 2005, Ankara
- Özşamlı C., Kontrol Ağlarının Ölçüt Matrisleri İle Ağırlık ve Ölçü Planı Optimizasyonu, Doktora Tezi, İ.T.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,1994.
- Öztürk, E., Şerbetçi, M. "Dengeleme Hesabı III", Karadeniz Teknik Üniversitesi, no:144, 1992, Trabzon.
- Pelzer, H. (1987). "Deformationsuntersuchungen auf der Basis Kinematischer Bewegungsmodelle" AVN, 942, 49-62
- Pelzer, H., Zur Analyse Geodetischer Deformationsmessungen, DGK, R.C., Nr.164, München, 1971
- Rangin, C., Bader, A. G., Pascal, G., Ecevitoglu B. ve Gorur, N., 2002. Deep structure of the Mid Black Sea High (offshore Turkey) imaged by multi-channel seismic survey(BLACKSIS cruise), Marine Geology, 182, 265-278.
- Ross S. Stein, Aykut A. Barka and James H. Dieterich, Progressive failure on the. North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering, Geophysical Journal International March 1, 1997, VOL 128, pp 594-604
- Selim H.H., Tüysüz O., Barka A.A, Güney Marmara Bölümü'nün Neotektoniği, İTÜ Dergisi/d Mühendislik, Cilt:5., 2006, Sayı:1, Kısım:2 s:151-160
- Sella, GF., Dixon, TH., Mao, A., 2002, REVEL: a model for recent plate velocities from space geodesy. Journal of Geophysical Research vol. 107: ETG11 page.1-29

- Sezer, S., Sabit GPS İstasyonlarına Ait Verilerin Bilgisayar Ortamında Düzenlenmesi, İnternet Ortamında Sunulması Amacıyla Veri Tabanı ve Web Sayfası Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2008.
- Sezer, S., Cingöz, A., Tombaklar, Ö.E., Sabit GPS İstasyonlarına Ait Verilerin İnternet/ İnternet ortamında Sunulması, Harita Dergisi, 2009, s141,40-54
- Şanlıoğlu, İ., İnal, C., (2004) IGS Ürünlerinin Tanıtımı, IGS Ürünlerine Erişim ve Bir Uygulama, Teknik-Online Dergi, cilt 3, sayı 1, Konya
- Şanlıoğlu, İ., İnal, C., (2005) The Test of Processing Modules of Global Positioning System (GPS) Softwares by Using Products of International GPS Service (IGS), FIG Working Week 2005 and GSDI-8 Cairo, egypt April 16-21
- Şanlıoğlu İ., İnal C. ITRF2000'nin Tanıtımı ve ITRF2000 ile Diğer Referans Ağları Arasındaki Dönüşüme Alternatif Bir Yaklaşım, Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005
- Tanır E., "Deformasyon Analizinde Statik Değerlendirme Yöntemleri", Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2000.
- URL-1 [http://en.wikipedia.org/wiki/Plate\\_tectonics#Development\\_of\\_the\\_theory](http://en.wikipedia.org/wiki/Plate_tectonics#Development_of_the_theory), Wikipedia, Plaka tektoniği ve gelişimi, 30 Nisan 2010
- URL-2 [http://www.geo.itu.edu.tr/labo\\_up.html](http://www.geo.itu.edu.tr/labo_up.html), IGS'in tanımı ve uygulamalar, 25 Mart 2009
- URL-3 <http://en.wikipedia.org/wiki/Pangaea>, Wikipedia, Dünya üzerindeki tektonik plakalar, 30 Nisan 2010
- URL-4 <http://hypertextbook.com/facts/ZhenHuang.shtml>, Hypertextbook Speed of the Continental Plates, 30 Nisan 2010
- URL-5 [http://en.wikipedia.org/wiki/Plate\\_tectonics](http://en.wikipedia.org/wiki/Plate_tectonics), Tektonik Plaka Hareketleri, 29 Mayıs 2009
- URL-6 [http://www.salgit.com/deprem-resimleri/17-agustos-depremi\\_3920.html](http://www.salgit.com/deprem-resimleri/17-agustos-depremi_3920.html), Deprem sonrası raylardaki bozulma resmi, 15 Nisan 2009
- URL-7 <http://igsceb.jpl.nasa.gov/network/list.html>, IGS Resmi Web Sitesi, IGS istasyonları listesi, 14 Ocak 2010
- URL-8 <http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/dbShowArraySitesMap.cgi>, SOPAC Resmi Web Sitesi, SOPAC istasyonları haritası, 15 Ocak 2010
- URL-9 [http://www.epncb.oma.be/\\_trackingnetwork/maps.php](http://www.epncb.oma.be/_trackingnetwork/maps.php), EPNCB Resmi Web Sitesi, EPNCB Sabit GPS istasyonları haritası, 22 Mart 2009
- URL-10 <ftp://garner.ucsd.edu>, Garner Resmi Web Sitesi, Garner GPS Archive, 16 Mart 2009

- URL-11 [http://en.wikipedia.org/wiki/Regression\\_analysis](http://en.wikipedia.org/wiki/Regression_analysis), Wikipedia, Regresyon Analizi, 17 Mart 2009
- URL-12 [http://igscb.jpl.nasa.gov/overview/pubs/2001\\_02\\_tr.html](http://igscb.jpl.nasa.gov/overview/pubs/2001_02_tr.html), International GPS Service Resmi Web Sitesi, IGS 2002 Annual Report, 14 Ocak 2009
- URL-13 [http://www.trabzon.gov.tr/?page\\_id=157](http://www.trabzon.gov.tr/?page_id=157), Trabzon Valiliği, Trabzon İli Yer şekilleri, 20 Temmuz 2008
- URL-14 <http://www.fs.wettzell.de/GPS/sitelog/TRAB.txt>, TRAB IGS Noktası Güncel Web Sitesi Raporu, 17 Aralık 2009
- URL-15 [http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/DOMES\\_DESC.TXT](http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/DOMES_DESC.TXT), Institut Geographique National Central Bureau: The DOMES numbering System, 18 Mayıs 2009
- URL-16 <http://www.hgk.mil.tr/tutgaweb/default.htm>, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999 ( TUTGA-99 ) Teknik Rapor Hazırlayanlar: Harita Genel Komutanlığı Jeodezi Dairesi Ankara, Şubat 2001, 28 Nisan 2009
- URL-17 [http://www.hgk.mil.tr/haritalar\\_projeler/jeodezi/tusaga\\_aktif.htm](http://www.hgk.mil.tr/haritalar_projeler/jeodezi/tusaga_aktif.htm), Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Aktif Ağı TUSAGA-AKTİF (CORS-TR) Sisteminin Kurulması ve Ulusal Datum Dönüşümü Projesi 28 Nisan 2009
- URL-18 <http://igscb.jpl.nasa.gov/>, IGS, 2009, Uluslararası GPS Servisi (IGS)'nin Web Sayfası, ABD. 18 Nisan 2009
- URL-19 [http://www.hgk.mil.tr/haritalar\\_projeler/jeodezi/tutga/default.htm](http://www.hgk.mil.tr/haritalar_projeler/jeodezi/tutga/default.htm), Harita Genel Komutanlığı İnternet Sitesi, Harita Genel Komutanlığı Jeodezi Dairesi, Teknik Rapor, Şubat, 2001, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA-99). 15 Şubat 2008
- URL-21 [http://www.hgk.mil.tr/haritalar\\_projeler/bildiriler/jeodezi/makale\(pdf\)/jeo\\_tek\\_bil14.pdf](http://www.hgk.mil.tr/haritalar_projeler/bildiriler/jeodezi/makale(pdf)/jeo_tek_bil14.pdf), Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA) Kılıçoğlu, A., A.İ. Kurt, S. Tepeköylü, A. Cingöz, E. Akça 28 Nisan 2009
- URL-22 [http://www.hgk.mil.tr/haritalar\\_projeler/bildiriler/jeodezi/makale\(pdf\)/jeo\\_tek\\_bil4.pdf](http://www.hgk.mil.tr/haritalar_projeler/bildiriler/jeodezi/makale(pdf)/jeo_tek_bil4.pdf) Fırat, O., Lenk, O., Avrupa Datumu 1950 (ED-50) İle Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı 1999 (TUTGA-99) Arasında Datum Dönüşümü. 26 Mayıs 2009
- URL-23 Google Earth uydu görüntüsü., Trabzon, 22 Mart 2010
- URL-24 [http://www.iers.org/nn\\_11216/IERS/EN/Publications/TechnicalNotes/tn31.html](http://www.iers.org/nn_11216/IERS/EN/Publications/TechnicalNotes/tn31.html) IERS technical note No: 31, 2004, 16 Nisan 2009
- URL-25. TÜBİTAK Bilim CD'leri Serisi - 10: Deprem, 17 Şubat 2010
- URL-26. [http://tr.wikipedia.org/wiki/Plaka\\_tektoni%C4%9Fi](http://tr.wikipedia.org/wiki/Plaka_tektoni%C4%9Fi), Wegener'in teorisi, 19 Nisan 2010)
- URL-27 [http://www.mta.gov.tr/mta\\_web/kutuphane/mtadergi/54\\_1.pdf](http://www.mta.gov.tr/mta_web/kutuphane/mtadergi/54_1.pdf), Ketin İ., 1/2500000 Ölçekli Türkiye Tektonik Haritası Hakkında Açıklama, İstanbul

Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Neşre verildiği tarih 19 Şubat, 1960, 16 Kasım 2009.

- URL-28 [http://www.toraks.org.tr/mse-ppt-pdf/Kenan\\_KOSE3.pdf](http://www.toraks.org.tr/mse-ppt-pdf/Kenan_KOSE3.pdf), Korelasyon ve Regresyon Analizi, Yrd. Doç. Dr. S. Kenan KÖSE, 17 Mart 2009.
- URL-29 Meteoroloji Bölge Müdürlüğü: Trabzon'un Hava Durumu Verileri, 2000-2008, 14 Ocak 2009
- Wdowinski, S., Bock, Y., Zhang, J., Fang, P., Genrich, J., 1997. Southern California Permanent GPS Geodetic Array: Spatial filtering of daily positions for estimating coseismic and postseismic displacements induced by the 1992 Landers earthquake, *Journal of Geophysical Research*, pp. 18,057-18,070.
- Wolf, H., (1975) *Ausgleichsrechnung Formeln Zur Praktischen Anwendung*, Dümmlerbuch 7835, Dümlerverlag, Bonn.
- Wolf, P. R. and Ghilani, C. D. (1997) *Adjustment Computation, Statistics and Least Squares in Surveying and GIS*, John Wiley and Sons, Inc. 367-368
- Wuhan, V.,L.,G. (1987). "On the Separability of Deformation Models." *ZfV*, 11, 555-563.
- Yalçınkaya (Ünver), M. : *Düşey Yöndeki Yerkabuğu Deformasyonlarının Kinematik Model ile Belirlenmesi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Trabzon, Haziran 1994.
- Yalçınkaya, M. and Öztürk, E. *Determination of Vertical Crustal Movement 1st Turkish Internatiol Symposium on Deformations, İstanbul, 1994, Turkey, 303-314.*
- Yalçınkaya, M., Tanır, E., *Deformation of Movements on Mining Areas By Static Deformation Models, 11st ISM International Congress, September 2000, Polond (Krakow)*
- Yalçınkaya, M., (2003), *Monitoring Crustal Movements in West Anatolia by Precision Leveling, Journal of Surveying Engineering, 129, (1), 44-49.*
- Yıldırım, Ö., Bakıcı, S., Cingöz, A., Erkan, Y., Gülal, E., Dindar, A. A., *Tusaga-Aktif (CORS TR) Projesi ve Ülkemize Katkıları TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 30 Ekim -02 Kasım 2007, KTÜ, Trabzon*
- Zumberge, J.F., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.M., & Webb, F.H. ,1997, *Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, Journal of Geophysical Research, 102(B3), 5005-5017*

## **ÖZ GEÇMİŞ**

Mustafa Ulukavak 1984 yılında Çorum'da doğdu. İlkokul ve ortaokul eğitimini Hürriyet İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini Kırıkkale Anadolu Lisesinde tamamladı. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalında Yüksek Lisans yapmayı hak kazanmış olup, orta derecede İngilizce bilmektedir.