

75036

**GPS İLE MARMARA BÖLGESİNDEKİ YER KABUĞU
HAREKETLERİNİN BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük.Müh. H. Hakan DENLİ

75036

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 6 Şubat 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Haziran 1998

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Rasim Deniz

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet Aksoy

Prof. Dr. Tevfik Ayan

Prof. Dr. Hüseyin Demirel

Prof. Dr. Onur Gürkan

Rasim Deniz
A. Aksoy
Tevfik Ayan
Hüseyin Demirel
Onur Gürkan

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 1998

ÖNSÖZ

“GPS ile Marmara Bölgesindeki Yer Kabuğu Hareketlerinin Belirlenmesi” konusundaki bu çalışmada değerli katkılarından dolayı danışman hocam sayın Prof. Dr. Rasim Deniz’e, değerli fikirlerinden yararlandığım sayın Prof. Dr. Ahmet Aksoy ve sayın Prof. Dr. Tevfik Ayan’ a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmam sırasında göstermiş olduğu yardımlarından dolayı Dr. Halis Saka’ ya da teşekkür ederim.

H.Hakan Denli



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
SEMBOL LİSTESİ	v
SEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Teknolojik Gelişmeler ve Çalışmanın Konusu	1
1.2 Global Plaka Tektoniği ve Türkiye'yi Etkileyen Plaka Hareketleri	4
1.3 Anadolu Plakasının ve Kuzey Anadolu Fayının Marmara Bölgesinin Neotektoniği	5
1.4 Marmara GPS Ölçmeleri Projesinin Tanımı ve Amacı	8
2. MARMARA GPS AĞI VE ÖLÇMELER	11
2.1 Global Konumlama Sistemi (GPS)	11
2.2 Marmara GPS Ağının Tesisi ve Özellikleri	16
2.2.1 1990 yılı Marmara GPS kampanyası	20
2.2.2 1992 yılı Marmara GPS kampanyası	23
2.2.3 1994 yılı Marmara GPS kampanyası	26
3. ÖLÇÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	27
3.1 Bernese V.3.4 Yazılımı	27
3.2 Değerlendirme Stratejisi	29
3.2 1990 Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirilmesi	35
3.3 1992 Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirilmesi	38

4. DEĞERLENDİRME SONUÇLARININ ANALİZİ	41
4.1 Mevcut Verilerin Durumu ve Analiz Yöntemlerinin Seçimi	41
4.2 Üç Boyutlu Ağlarda Dönüklük, Benzerlik ve Özdeşlik Testleri (Ön Analiz)	43
4.2.1 Testlerin temel bağlantıları	43
4.2.2 Marmara ağında dönme, benzerlik ve özdeşlik testlerinin sonuçları	47
4.3 S - Transformasyonu ile Deformasyon Analizi	48
4.3.1 S - transformasyonu	48
4.3.2 S - transformasyonu yardımıyla global test	51
4.3.3 S - transformasyonu yardımıyla anlamlı nokta hareketlerinin belirlenmesi (lokalizasyon)	53
4.3.3.1 Stabil noktaların üç boyutlu transformasyon ile test edilmesi	55
4.3.4 Deformasyon büyüklüklerinin belirlenmesi	57
4.3.4.1 Marmara GPS ağı deformasyon analizi sonuçları	60
4.4 Jeodezik Verilerden Strain (Gerilim) Analizi	67
4.4.1 Strain analizi yöntemleri ve yöntem seçimi	67
4.4.2 Chen modeline göre strain tensörü elemanlarının belirlenmesi	68
4.4.3 Marmara ağının genelleştirilmesi ve strain analizi sonuçları	71
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	81
EKLER	90
ÖZGEÇMİŞ	99

SEMBOL LİSTESİ

$\omega_{xy}, \omega_{xz}, \omega_{yz}$: x, y, z eksenleri etrafındaki dönmeler

e_{xx}, e_{yy}, e_{zz} : Normal gerilmeler

$\gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$

$\gamma_2, \gamma_4, \gamma_6, \gamma_{\max}$: Kesme gerilmeleri

Δ : Dilatasyon

Λ : Ölçek

ϵ_i : Birim uzunluktaki değişim

ϵ_1, ϵ_2 : Asal gerilmeler

β : En büyük asal gerilmenin doğrultusu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa no
Şekil 1.1 Dünyadaki kırıklar ve plakalar	4
Şekil 1.2 Türkiye ve etrafındaki fay hatları	6
Şekil 2.1 GPS izleme ağının dağılımı	12
Şekil 2.2 Marmara bölgesinin jeodeinamik açıdan karakteristik alanları	17
Şekil 4.1 Üç boyutlu S - transformasyonu yardımıyla lokalizasyon sonucu belirlenen stabil noktalar	55
Şekil 4.2 Tablo 5.4' deki üç boyutlu deformasyon vektörlerinin yatay bileşenlerine göre gösterimi	66
Şekil 4.3 Bölgelerdeki noktaların ağırlık merkezlerine göre bölgesel hareket vektörleri	67
Şekil 4.4 Bir P noktasında θ_i doğrultusuna göre strain parametreleri	69
Şekil 4.5 Genelleştirilmiş Marmara Ağı	72
Şekil 4.6 Gerilim parametrelerinden sayısal değeri en büyük olan asal gerilim sonuçlarının grafik gösterimi	76
Şekil A.1 Marmara 90; Session 1, 12/13 Eylül 1990	89
Şekil A.2 Marmara 90; Session 2, 13/14 Eylül 1990	89
Şekil A.3 Marmara 90; Session 3, 14/15 Eylül 1990	90
Şekil A.4 Marmara 90; Session 4, 15/16 Eylül 1990	90
Şekil A.5 Marmara 90; Session 5, 16/17 Eylül 1990	90
Şekil A.6 Marmara 90; Session 6, 17/18 Eylül 1990	91
Şekil A.7 Marmara 90; Session 7, 18/19 Eylül 1990	91
Şekil A.8 Marmara 90; Session 8, 19/20 Eylül 1990	91
Şekil A.9 Marmara 90; Session 9, 20/21 Eylül 1990	92
Şekil A.10 Marmara 90; Session 10, 21/22 Eylül 1990	92
Şekil A.11 Marmara 90; Session 11, 22/23 Eylül 1990	92

Şekil B.2	Marmara 92; Session 2, 28 Ağustos 1992	93
Şekil B.3	Marmara 92; Session 3, 29 Ağustos 1992	94
Şekil B.4	Marmara 92; Session 4, 30 Ağustos 1992	94
Şekil B.5	Marmara 92; Session 5, 31 Ağustos 1992	95
Şekil B.6	Marmara 92; Session 6, 1 Eylül 1992	95
Şekil B.7	Marmara 92; Session 7, 2 Eylül 1992	96
Şekil B.8	Marmara 92; Session 8, 3 Eylül 1992	96
Şekil B.9	Marmara 92; Session 9, 4 Eylül 1992	97
Şekil B.10	Marmara 92; Session 10, 5 Eylül 1992	97
Şekil B.11	Marmara 92; Session 11, 6 Eylül 1992	98
Şekil B.12	Marmara 92; Session 12, 7 Eylül 1992	98

TABLO LİSTESİ

	Sayfa no
Tablo 2.1 Marmara GPS ağ noktalarının isim ve yaklaşık koordinatları	18
Tablo 2.2 1990 kampanyasında ölçmelerin yapıldığı dış merkez noktalar	20
Tablo 2.3 1990 kampanyası sırasında istasyon noktalarında karşılaşılan sorunlar	21
Tablo 2.4 1990 kampanyasında istasyon noktalarındaki ölçmelerin günlere göre dağılımı	21
Tablo 2.5 1992 kampanyasında ölçmelerin yapıldığı dış merkez noktalar	23
Tablo 2.6 1992 kampanyası sırasında istasyon noktalarında karşılaşılan sorunlar ve yapılan değişiklikler	24
Tablo 2.7 1992 kampanyasında istasyon noktalarındaki ölçmelerin günlere göre dağılımı	24
Tablo 3.1 1990 kampanyası başlangıç faz bilinmeyenlerinin çözüm sonuçları	36
Tablo 3.2 1990 kampanyası sonunda elde edilen koordinatlar	36
Tablo 3.3 1992 kampanyası başlangıç faz bilinmeyenlerinin çözüm sonuçları	38
Tablo 3.4 1992 kampanyası sonunda elde edilen koordinatlar	39
Tablo 4.1 Üç boyutlu analiz sonuçları	61
Tablo 4.2 İki boyutlu analiz sonuçları	62
Tablo 4.3 Üç boyutlu deformasyon vektörlerinin bağıl güven elipsi elemanları	63
Tablo 4.4 Üç boyutlu deformasyon vektörlerinin lokal x, y, h sistemindeki büyüklükleri	64
Tablo 4.5 Gerilim parametrelerinin sayısal değerleri ve test büyüklükleri	72

ÖZET

Bu çalışmada; günümüz teknolojisi GPS sistemi ile Marmara Bölgesi' ndeki yer kabuğu hareketlerin belirlenmesine yönelik araştırmalar yapılmıştır. Global plaka tektoniğine göre irili ufaklı onüç plakadan oluşan yerkabuğunda, Kuzey Anadolu Fayı, başlıca Arabistan plakasının etkisi altındadır. Kuzey Anadolu Fayı' nın belirlenmesi ve özellikle bu fay' ın batısında kalan bölge içindeki davranışını ortaya çıkarmak için yapılan çalışmalar ön veri olarak incelenmiştir.

GPS sistemi ile ilgili son durum bilgileri verilmiş, GPS ölçmeleri ve değerlendirmeleri aşamasında ortaya çıkan ve sonuçları etkileyebilecek problemler belirtilmiştir. Bern Astronomi Enstitüsü tarafından geliştirilen Bernese yazılımının kullanımı ile doğru sonuçları elde edebilmek için değerlendirme aşamasında yapılması gereken çalışmalar (değerlendirme stratejisi) detaylı olarak açıklanmıştır. GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sonunda elde edilen büyüklüklerden, ağın bütününde deformasyonların varlığı ve sonra, noktalardaki bireysel hareketlerin anlamlı olup olmadıkları araştırılmıştır. Öncelikle üç boyutlu analizler üzerinde durulmuş, üç boyutlu verilerden iki boyutlu değerlendirmelere geçildiğinde izlenmesi gereken yollar gösterilmiştir. Üç boyutlu analizle karşılaştırmak için iki boyutlu analizin yalnızca sonuçları verilmiştir. Bu çalışmalarda, sonuçların istatistik olarak test edilebilir olmasına dikkat edilmiş, her adım sonunda test sonuçları verilmiştir. Signifikant deformasyon vektörleri ve azimutları ile birlikte, kabuk hareketlerinin incelenmesi çalışmalarında önemli bir parametre olan gerilmeler, Chen modeliyle elde edilmiş, ve sonuçların bölgenin tektonik yapısıyla uyuşumu incelenmiştir.

Çalışmanın sonucunda, Marmara bölgesinin Avrasya plakasına göre batıya doğru signifikant bir hareketinin olduğu, Bölgenin değişik kesimlerindeki hareket vektörleri ve yönleriyle belirlenmiştir. Ayrıca, Marmara Bölgesinin değişik kesimlerinde signifikant basınç ve çekme gerilmelerin olduğu yerler bulunmuştur.

SUMMARY

THE DETERMINATION OF THE CRUSTAL MOVEMENTS IN THE MARMARA SEA REGION USING GPS

The North Anatolian Fault Zone (NAFZ) is one of the World's most important active faults, not only because of its remarkable seismic activity, but also its significance for the tectonics of the eastern Mediterranean region. The NAFZ is the northern boundary of the westward moving block and connects the compressional regime in eastern Anatolia with the extensional regime in the Aegean Sea region. The fault zone is about 1500 km long, extending from the Karliova triple junction in eastern Turkey to mainland Greece. It consists of mainly a single strand between the Karliova triple junction to the Mudurnu Valley, then splays into three strands in the Marmara and North Aegean regions. Between 1939 and 1967 the fault zone had a remarkable earthquake activity during which six westward migrating large earthquakes created a 900 km long continuous surface rupture along the fault zone from Erzincan to the eastern end of the Mudurnu Valley. This seismic behavior attracted the interest of many scientists to the NAFZ from all over the world.

Before the collision between Arabia and Anatolia, there was a connection between Indian Ocean and the Mediterranean Sea. The collision caused the uplifting of eastern Anatolia and the sea was retreated.

The fault zone is mainly a single trace between Karliova and Mudurnu Valley. But to the west of the Mudurnu Valley, in the eastern Marmara region, which is the interest in this study, the fault zone splays initially into two branches and the southern one splays into two additional branches. The northern branch goes beneath to northern part of the Marmara Sea. The middle strand follows south shore of the Marmara Sea and ends at the western end of the Skyros basin. The southern strand runs parallel to the middle strand from the region of Bursa to the Skyros basin.

The deformations in this region are controlled by the interactions of three plates -- the African, Arabian, and Eurasian plates. The deformation is caused by the differential motion between the African and Arabian plates against the Eurasian plate.

In 1989 the "Poly Project Marmara" has been started to investigate the active tectonics and their interrelationship with the groundwater circulation, the heat - flow and the seismicity of the region of the Marmara Sea.

The following fields participate in the project:

- a) Engineering geology with geology and hydrogeology
- b) Geodesy

c) Seismics

d) Geothermics

The survey of the kinematic field of the land surface was carried out by using the Global Positioning System (GPS).

The NAVSTAR Global Positioning System is an all weather, space - based navigation system under development by the U.S. Department of Defence to satisfy the requirements for the military forces to accurately determine their position, velocity and time in a common reference system, anywhere on or near the Earth on a continuous basis. The proposed constellation of the GPS has been subject to several changes due to budgetary problems. The present full constellation should provide global coverage with four to eight simultaneously observable satellites above 15° elevation. This is accomplished by 24 satellites (21 production and 3 active spares).

The control segment monitors the functioning of the satellites and uploads orbital, clock - corrections and auxiliary data into the satellite memories. The so called Operational Control System (OCS) consists of a master control station, worldwide monitor stations and ground control stations. This system became operational in September 1985.

The user segment consists of all the GPS receivers. There are different receiver types commercially available by now. All national and international groups and organizations established for distributing GPS information might be considered as part of the user segment too.

All signals transmitted by the satellite are derived from the fundamental frequency f_0 ($= 10.23$ MHz) of the satellite oscillator. The two sinusoidal carrier signals with frequencies f_1 and f_2 (corresponding wavelengths $\lambda_1 \approx 19$ cm and $\lambda_2 \approx 24$ cm) are modulated with the codes and the navigation message to transmit information such as the readings of the satellite clock, the orbital parameters, etc.

Successful geodynamic investigations with GPS are dependent on the choice of the sites. The sites should be distributed in such a way that the area of interest is sufficient covered. In order to obtain reliable results there should be at least 2 stations on each geologic unit that is examined, because the sites should be representative of the geodynamic behavior of the surrounding region. The sites should be in solid bedrock wherever possible. In areas without bedrock one must carefully choose a stable building such as a mole or a building with good foundations

The GPS satellites transmit their signals modulated on microwaves. It is, therefore, essential to avoid obstructions nearby (i.e., hills, houses, trees, high voltage lines). They can influence the observations in two severe ways: there is either no or poor signal, or multipath effects might disturb the measurements heavily.

In order to access the continuation of the NAFZ towards the Aegean Sea, a network consisting of 47 sites bridging the various tectonic features was established. In 1992 the number of sites was increased to 52.

In 1990, the campaign lasted from September 12 until 23. 11 groups, consisting of 2 operators, handled 11 GPS dual frequency receivers (WM 102). The satellite distribution of fall 1990 was still limited. Thus, the observations conduct during the night from 2⁰⁰ to 7⁰⁰.

Prior the second GPS campaign in 1992, all sites were revisited again. This reconnaissance survey was important because, the site protocols had to be renewed for some stations, due to significant changes. Some stations had to be repaired because they had been harmed. Six new stations were added to the GPS network.

The 1992 campaign lasted from August 27 to September 7. 15 Groups participated in the 1992 campaign. Each group consisted of 2 operators who were in charge of one receiver (WM 102). The daily observation window was from 9⁰⁰ to 15⁰⁰ in order to observe as many satellite signals as possible.

The GPS data collected in the 2 Marmara GPS campaigns was analysed using Bernese GPS software package version 3.4. The data was processed session by session. In a later step, the results were combined to obtain the final solutions for 1990 and 1992 campaigns, without fixing any coordinate.

From the results of the 2 campaigns a vector d , containing translation, rotation, shear and normal strain were estimated. The estimated value for rotation was tested after its significance, but the null hypothesis, that there is no significant rotation between the two coordinate sets was accepted. To the values for shear and normal strain, a two step test was performed. First, it was tested whether the networks are similar, then whether the networks are congruent. The results show that the networks are similar, but not congruent. These results indicated that there were a deformation in the network.

To estimate the crustal deformation rates relative to stable sites on the Eurasian plate, a global test was performed to the sites, that seem to be at the stable block using an S - transformation to the results to work on the same datum.

The transformation from one result to another (each called S - system) can be done without performing a new adjustment. The tool for this is called S - transformation and the formulae of the S - transformation from one system i to system j are as follows;

for the transformation of the coordinates,

$$\underline{x}_j = \underline{S}_j \underline{x}_i$$

for the transformation of the cofactor matrix,

$$\underline{Q}_{xj} = \underline{S}_j \underline{Q}_{xi} \underline{S}_j^T$$

where $\underline{S}_j$ is the transformation matrix,

$$\underline{S}_j = \underline{I} - \underline{G}(\underline{R}_j^T \underline{G})^{-1} \underline{R}_j^T$$

$\underline{I}$ is the unit matrix; $\underline{G}$ is a matrix containing conditions for a free network to allow for the computation of the coordinates; $\underline{R}_j$ is the part $\underline{G}$ containing only the rows of the datum points.

In the application of deformation analyses, each epoch is adjusted separately as a free network. If in the monitoring network comprises reference and object points, the parameter vector is partitioned accordingly into the subvector $\underline{x}^r$ referring to the reference block and $\underline{x}^o$ referring to the object block.

The problem of investigating the stability of the reference block is solved by a test of the null hypothesis;

$$H_0: E(\underline{x}_1^r) = E(\underline{x}_2^r)$$

provided that the single epoch adjustments have been performed using the same a priori variance and have been based on the same geodetic datum. The pooled variance estimate is computed from

$$s_0^2 = \frac{f_1 \cdot s_{0_1}^2 + f_2 \cdot s_{0_2}^2}{f_1 + f_2}$$

the quadratic form is calculated with

$$R = (\underline{x}_2^r - \underline{x}_1^r)^T (Q_{x_1}^r + Q_{x_2}^r)^+ (\underline{x}_2^r - \underline{x}_1^r)$$

where $Q_{x_1}^r$ and $Q_{x_2}^r$ are the cofactor matrices from $\underline{x}_1^r$ and $\underline{x}_2^r$ respectively. The test statistic for the global test is as follows;

$$T = \frac{R}{h \cdot s_0^2}$$

with

$$h = \text{rg}(Q_{x_1}^r + Q_{x_2}^r)$$

if,

$$T > F_{h, f, 1-\alpha}$$

then the null hypothesis (the common points of both epochs are stable) is rejected. The point in the reference block, whose contribution to the quadric form R is maximum is considered responsible for the rejection of H_0 . This procedure will be carried out until the null hypothesis is satisfied.

After having defined the common reference block to the epochs, the parameter vectors and their cofactor matrices are transformed into the new datum applying the S - transformation.

After this step, the difference vector,

After having defined the common reference block to the epochs, the parameter vectors and their cofactor matrices are transformed into the new datum applying the S - transformation.

After this step, the difference vector,

$$\underline{d} = \underline{x}_2 - \underline{x}_1$$

and its cofactor matrix,

$$\underline{Q}_d = \underline{Q}_{x1} + \underline{Q}_{x2}$$

are partitioned accordingly, yielding;

$$\underline{d} = \begin{bmatrix} \underline{d}_r \\ \underline{d}_0 \end{bmatrix} ; \quad \underline{Q}_d = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{rr} & \underline{Q}_{r0} \\ \underline{Q}_{0r} & \underline{Q}_{00} \end{bmatrix}$$

where subscript's r and 0 denote the reference points and the object points respectively. The test quantity for the displacement vector $\underline{d}_p$ of point p is given as

$$T = \frac{\underline{d}_p^T \underline{Q}_{pp}^{-1} \underline{d}_p}{3s_0^2}$$

where $\underline{Q}_{pp}$ is the cofactor matrix referring to point p. If the test quantity T exceeds the critical value $F_{3,f,1-\alpha}$ of F - distribution, then the displacement vector $\underline{d}_p$ has been proved statistically.

In an another step the strain rates on plane after a generalization of the network were calculated after the model of Ruizhi Chen. For the strain rate ϵ_i for a line at a point P in direction θ , we have

$$\epsilon_i = \frac{\Delta s_i}{s_i} = e_{xx} \sin^2 \theta_i + e_{xy} \sin 2\theta_i + e_{yy} \cos^2 \theta_i$$

where Δs_i is the change in s_i during the time interval Δt_i and s_i corresponds to the unstrained length of a line. The above equation has three unknown's e_{xx} , e_{xy} , and e_{yy} that can be solved with a simple least squares adjustment. As soon as the strain tensor parameters are determined from the least squares solution, the strain parameters are calculated as follows:

$$\text{Dilatation} : \Delta = e_{xx} + e_{yy}$$

$$\text{Pure shear} : \gamma_1 = e_{xx} - e_{yy}$$

$$\text{Engineering shear} : \gamma_2 = 2 e_{xy}$$

$$\text{Total shear} : \gamma = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2}$$

$$\text{Direction of } \epsilon_1 : \beta = \arctan\left(\frac{e_{xy}}{\epsilon_1 - e_{xy}}\right)$$

After the calculation of the strain parameters, the significance of the parameters e_{xx} , e_{xy} , and e_{yy} together, ϵ_1 and ϵ_2 alone and together are tested with the χ^2 distribution.

As results, the displacement rates derived relative to the stable points on the Eurasian plate between 1990 and 1992 shows a westward motion of the area with the following velocities: in region 2 the velocities are 11.8 mm/y with an azimuth of $294^\circ.5$; in region 4, the velocities are 15.8 mm/y with an azimuth of $302^\circ.2$; in region 1, the velocities are 14.5 mm/y with an azimuth of $294^\circ.8$; in region 5, the velocities are 19.5 mm/y with an azimuth of $283^\circ.6$, and in region 3; the velocities are 17.1 mm/y with an azimuth of $278^\circ.5$.

The result from the strain analyses shows significant compressional and extensional strain rates. The highest extensional strain with $0.47 \mu\text{s/y}$ and highest compressional strain with $0.46 \mu\text{s/y}$ arises in region 4. The direction of the extension strain and the direction of the deformation vectors in this region are in accommodation. Perpendicular to the line from the region 2 towards to the site 106, a compression of about $0.1 \mu\text{s/y}$ is derived. The extensional strain rate perpendicular to the line connecting 408, 507, 309, 306 and 304 is about $0.05 \mu\text{s/y}$. Compressional strain rates in the whole region except region 2 are about $0.14 \mu\text{s/y}$.

1. GİRİŞ

1.1 Teknolojik Gelişmeler ve Çalışmanın Konusu

Teknolojik gelişmeler jeodezide anlamlı değişimler yaratmıştır. 1880 yılında Helmert' in "yeryüzünün ölçülmesi ve resmedilmesi bilimi" olarak yaptığı jeodezi tanımı 1970' li yıllarda güncelliğini yitirmiştir. Bu tarihlere kadar geçerli olan statik yaklaşım terk edilmiş ve jeodezik problemlerin dinamik yaklaşımlarla ele alınmasına başlanmıştır. Çünkü jeodezik uzay tekniklerinin sağladığı olanaklar ve doğruluklar, yerküresi üzerinde önceden sabit varsayılan noktaların konumlarının ve çekim alanının zamanla değiştiğini göstermiştir. Bu nedenle yüksek doğruluk isteyen bütün çalışmalarda zaman 4. boyut olarak ele alınmakta ve yeryüzünün katı ve hareketsiz olduğu görüşü yerine dinamik yeryüzü modeli benimsenmektedir (Siegl 1989).

Yeryuvarının dinamik modellendirilmesi için jeodinamik, plaka tektoniği, plaka içi ve plakalar arası ölçeğin, yani kabuk hareketlerinin, kutup hareketlerinin, yerin dönme hızının, gel - gitlerin v.b. olayların araştırılması ve ayrıca yerin gravite ve magnetik alanının daha iyi belirlenmesi gerekir. Tüm bu incelemeler için ortak gereksinim, gözlemlerin referanslanabileceği veya yeryuvarının dinamik davranışının formüle edildiği modeller veya teoriler için iyi tanımlanmış bir koordinat sistemidir. Jeodezik uydu tekniklerinin sağladığı hızlı gelişmeler ve teorik modellemedeki gelişmeler, uygun koordinat sistemlerinin tanımlanmasını ve pratik gerçekleştirilmelerini sağlamıştır. Böylece koordinat sistemi için jeodinamik araştırmalar, jeodinamik araştırmalar için koordinat sistemi çevrimi jeodezi ile jeofizik, jeoloji v.b. disiplinlerin birlikte çalışmalarını gerektirmiştir (Müller 1990).

Jeodezide iki temel koordinat sistemine ihtiyaç vardır. Bunlar Konvensiyonel İnersiyal Sistem (Conventionel Inertial System = CIS) ve Konvensiyonel Yersel Sistem (Conventionel Terrestrial System = CTS) olarak planlanmıştır. Göksel koordinat sistemi CIS, yeryüzü üzerindeki gözlemlerini ve yeryuvarının dışındaki yıldızlar ve

galaksi ötesi radyo kaynaklarını (kuasarlar) birbirine bağlar. CIS ile CTS, presesyon, nutasyon, kutup hareketi, yerin dönme hızı, gelgitler, plaka hareketleri, hava kütlelerinin ve yeraltı suyunun mevsimlik değişimleri gibi parametreleri içeren modellerle birbirlerine bağlanmaktadır (Müller 1990)

Günümüz uydu jeodezisinde, üç farklı yöntemden büyük ölçüde yararlanılmaktadır. Bunlardan çok uzun bazlı enterferometri (Very Long Baseline Interferometry = VLBI) yöntemi, birbirinden yüzlerce kilometre uzaklıklarda olabilen radyo anten istasyonlarında, kuasarlardan yayılan radyo dalgalarının kaydedilmesini ve değerlendirilmesini içerir. Yöntem, yerin çekim alanından bağımsızdır ve geometrik bir tekniktir. VLBI yöntemi presesyon, nutasyon, kutup hareketi, yeryuvarının dönme hızı ve istasyonlar arasındaki baz vektörlerinin belirlenmesi yanında, gelgit ve plaka hareketleri nedenleriyle oluşan global deformasyonların presizyonlu ve doğru olarak belirlenmesini de sağlamaktadır. Radyo teleskoplarının boyutu ve maliyeti sistemin pratik kullanımını sınırlamaktadır.

İkinci jeodezik uydu tekniği, uydulara laser ölçmeleri (Satellite Laser Ranging = SLR) tekniğidir. Teknik, yer istasyon noktalarından pasif SLR uydularına gönderilen laser darbesinin gidiş - dönüş zamanlarından, istasyon ile uydu arasındaki uzunlukların belirlenmesini ve uzun süreli uzunluk ölçülerinin, kutup hareketi ve yeryuvarının dönme hızı parametrelerini, nokta konumlarını, yeryuvarının gravite alanını ve değişimlerini, gelgitler ve plaka hareketleri nedeniyle oluşan global deformasyonların parametrelerini içeren bir modele göre değerlendirilmesini içermektedir. Teknik, yeryuvarının ağırlık merkezine kuvvetli bir bağlantıyı sağlayan dinamik bir tekniktir.

Üçüncü jeodezik uydu tekniği, global konum belirleme sisteminden (GPS) yararlanmaktadır. VLBI ve SLR pahalı tekniklerdir. Buna karşılık GPS çok geniş pratik uygulama alanı bulan ekonomik bir tekniktir. Günümüzde konvensiyonel yersel koordinat sistemini somutlaştıracak olan konvensiyonel yersel referans ağının (Conventional Terrestrial Reference Frame = CTRF) oluşturulmasında her üç yöntemden de yararlanma zorunluluğu vardır.

Uluslararası yersel referans ağı (International Terrestrial Reference Frame = ITRF), üç jeodezik uzay tekniğiyle (VLBI, SLR, GPS) elde edilen sonuçların

kombinasyonundan , tüm plakaların hareket ettiğini varsayan NUVEL - 1 modeline göre, konum ve hız vektörleriyle uluslararası yer dönme servisi (International Earth Rotation Service = IERS) tarafından 1988.0 yılında gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda gerçekleştirilen kombine çalışmalarla dinamik ITRF (ITRF 88, ITRF89, ITRF 90, ...) iyileştirilmiş ve sıklaştırılmıştır (Reilinger 1997 b, Wirth 1990, Boucher 1992, Ma 1994).

Üç jeodezik uydu tekniğinin sonuçları, yatay konumda ± 10 mm, düşeyde ± 20 mm ve yatay hızlarda ± 2 mm/yıl sınırlarında uyusmaktadırlar (Ma 1994)

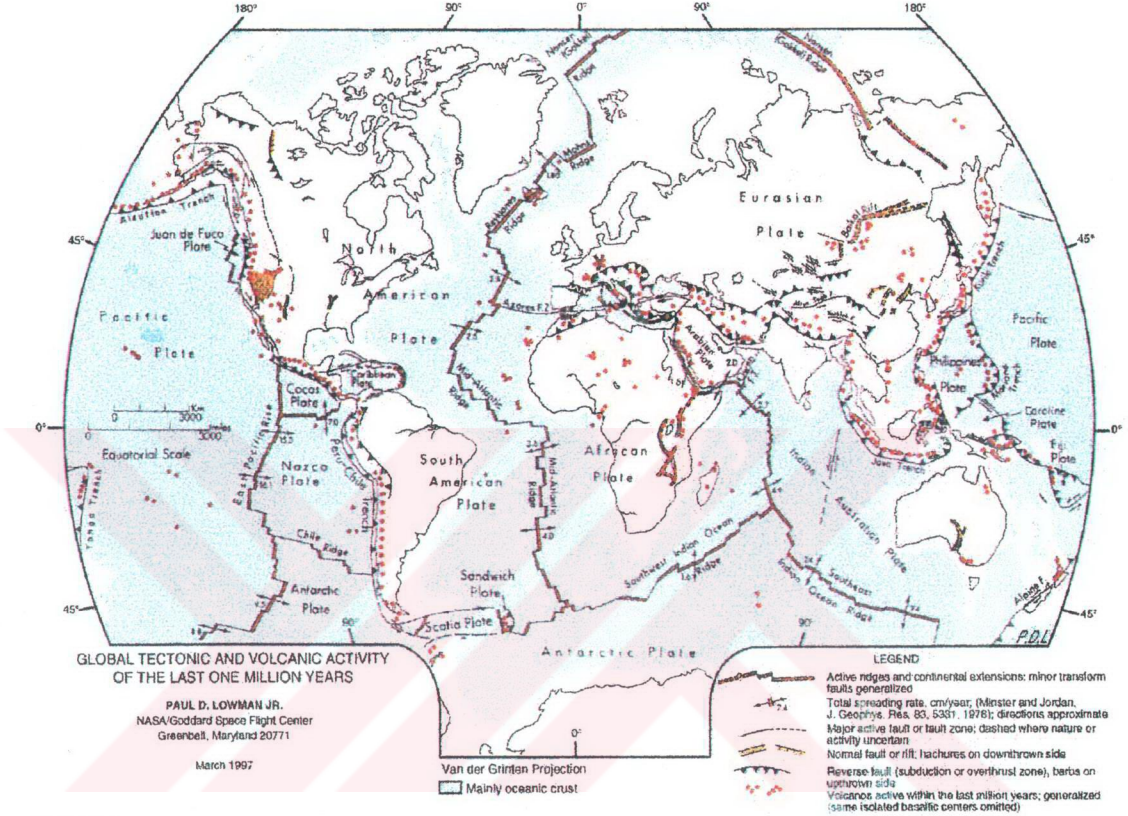
Elde edilen benzer doğruluklara karşılık, VLBI ve SLR' nin global, ve GPS' in bölgesel ve lokal jeodezik ve jeodinamik amaçlı çalışmalarda kullanılması, pratik uygulama ve ekonomik açıdan daha uygundur. ITRF 'ye bağlı dinamik bölgesel (örneğin EUREF) ve ülke jeodezik ağlarının oluşturulmasında, bölgesel ve lokal alanlardaki jeodezik çalışmalarda GPS vazgeçilemez teknik olarak yerini almıştır.

Türkiyedeki koordinasyonlu, çok disiplinli milli jeodinamik amaçlı çalışmalar 1980 'li yılların başlarında başlatılmıştır (Deniz 1993). Depremlerin önceden haber alınmasına yönelik olarak başlatılan bu yersel jeodezik çalışmalar, 1985 yılından itibaren uluslararası işbirliğine dönüşmüştür. 1986 - 1987 yıllarından itibaren ise bu çalışmalara paralel olarak uydu tekniklerinden (SLR, GPS) yararlanılarak, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde kabuk hareketlerinin belirlenmesine yönelik çok disiplinli ve uluslararası projeler başlatılmıştır. Bu çerçevede, Marmara Bölgesinde Kabuk hareketlerinin GPS tekniğinden yararlanarak belirlenmesini amaçlayan kısa adı "Marmara GPS Ölçmeleri Projesi" de 1990 - 1994 yılları arasında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı; Marmara GPS ölçmeleri projesi çerçevesinde, 1990 ve 1992 yıllarında gerçekleştirilen GPS ölçme kampanyalarının değerlendirilmesiyle, Marmara Bölgesinde Kabuk hareketlerinin ve gerilimlerinin varlığının deformasyon ve strain analizleriyle araştırılmasıdır.

1.2 Global Plaka Tektoniği ve Türkiye'yi Etkileyen Plaka Hareketleri

Global Plaka Tektoniği kavramıyla tanımlanan modellere göre, yeryüzü birbirlerine doğru hareket eden altı büyük ve yedi küçük Litosfer plakalarından oluşmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil: 1.1: Dünyadaki kırıklar ve plakalar

(<http://denoli.gsfc.nasa.gov.research/lowman/lowman.html>)

Bunlar Amerika, Avrasya, Hindistan/Avustralya, Afrika, Antarktika ve Pasifik ile Juan de Fuka, Scotia, Nazka, Cocos, Karayip, Arabistan ve Filipin denizidir. Bu birimler, orta okyanus sırtlarından subdüksiyon kuşağına (derin deniz oyukları veya alpidik dağ kuşağı) kadar uzanabilmekte ve hem kıta hem de okyanus yüzey tabakası içerebilmekte, yani bunların sınırları kıta sınırları ile değil büyük deprem kuşaklarıyla çakışmaktadır.

Global Plaka Tektoniğindeki bilgilere göre genel olarak üç hareket modeli vardır:

1. Birbirlerinin yanından yatay olarak geçme şekli

2. Derin deniz oyukları (Peru/Şili oyuğu) yada alpidik dağ kuşakları (Himalaya, Alpler) şeklinde kendini gösteren kolozyonlar. Kolozyon modelinde, alta girme yada üste çıkmalar da olabilmektedir.

3. Doğu Afrika çukuru veya Oslo çukurunda kendini gösteren birbirlerinden ayrılma biçimi (Kahle 1989).

Türkiyenin içinde bulunduğu bölgedeki tektonik değişimlerin nedeni Afrika, Arabistan ve Avrasya plakalarının birbirlerine karşı yaptıkları rölatif hareketlerdir.

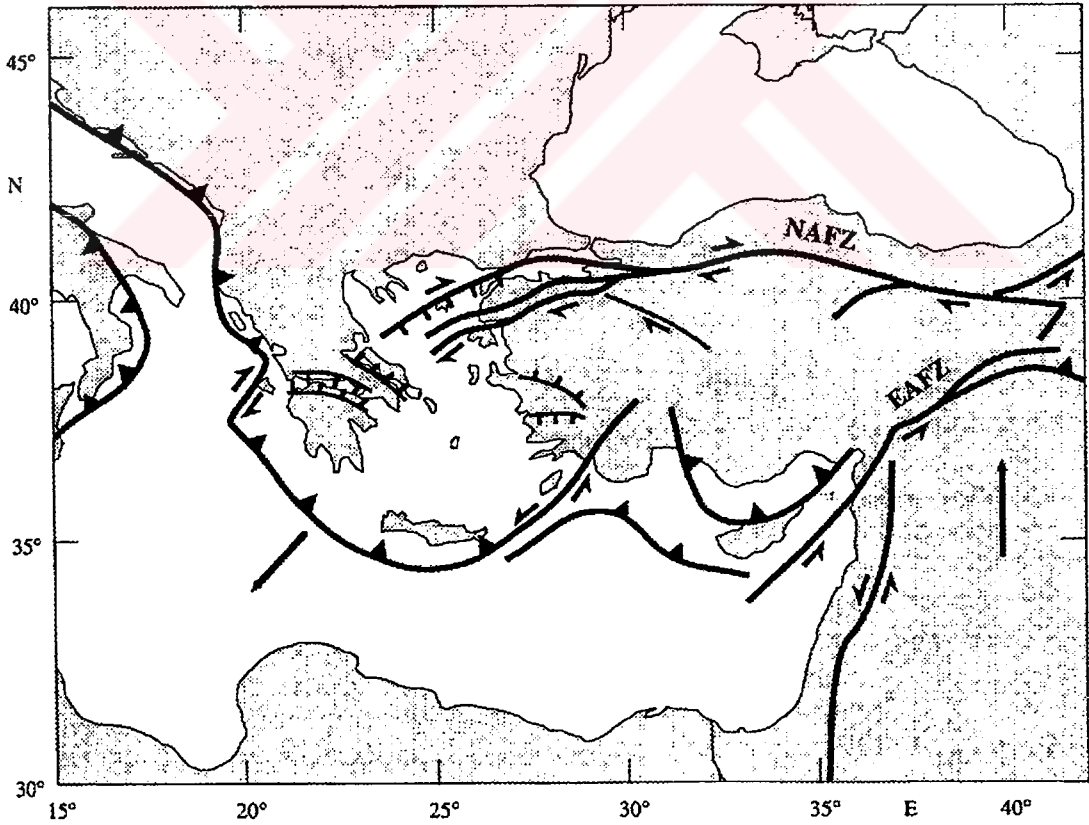
Türkiyedeki tektonik etkinliğe neden olan plakalardan Arabistan plakasının, kuzey - batı yönündeki hareketi, Anadolu plakasıyla çarpışmadan önce Hint Okyanusu - Akdeniz arasındaki deniz yolunu kesmiş ve Türkiyedeki doğu - batı yönlü hareketi başlatmıştır. Bu hareket, Türkiyenin batısını da etkileyerek, burada da bir tektonik etkinliğe neden olmuştur. Avrasya Plakası kuzeyde ve batıda Anadolu plakasının hareketine engel olmasından başka bir etkisi olmamaktadır. Afrika plakası ise Arap plakasına benzer kuzey yönlü bir harekete sahiptir. Bütün bu mekanizmalar, Anadolu plakasında bir deformasyona neden olmaktadır (Şekil 2). Dünyadaki benzer örneklerine göre bu bölgedeki tektonik etkinliğin çok yüksek oluşu ve yine benzerlerine göre oldukça genç oluşu dünyadaki Bilim adamlarının ve araştırma kurumlarının ilgisini bu bölgeye çekmektedir (Mc Kenzie 1972, Barka 1992, Oral 1992, Altın 1993, Reilinger 1997 a, Barka 1997).

1.3 Anadolu Plakasının ve Kuzey Anadolu Fayının Marmara Bölgesinin Neotektoniği

Neotektonik, herhangi bir bölgede meydana gelmiş olan son tektonik rejim değişikliğinden günümüze kadar geçmiş olan zaman içindeki tektonizmanın tümüne denir. Bu tanıma göre Türkiyedeki Neotektonik devre, yaklaşık 12 milyon yıl önce Bitlis kenet kuşağı boyunca Anadolu - Arap kıtası çarpışması ile başlamıştır. Çarpışma cephesi yaklaşmayı kısalmaya kalınlaşarak karşılamış, ancak gittikçe artan kabuk kalınlığı ve buna paralel olarak yükselen litostatik basınç bu tür şekil değiştirmeyi güçleştirmiştir. Sonunda orta ve batı Anadolu'yu kapsayan bir Anadolu plakası, meydana gelen Kuzey ve Doğu Anadolu Fayları boyunca doğu Anadolu'daki sıkışma

bölgesinden batıya doğru itilmeye başlanmıştır. Saros körfezinin batısında Kuzey Anadolu Fayı' nın (KAF) güneybatı - kuzeydoğu doğrultulu Yunan zonuna dönüşmesi, Anadolu plakasının batıya hareketine engel olduğundan tüm Ege ve batı Anadolu'da doğu - batı yönlü bir sıkışma rejimi ortaya çıkmıştır. Bu doğu - batı sıkışmasının kuzey - güney yönlü bir gerilme ile karşılanması sonunda Ege graben sistemi oluşmuştur. Bu nedenle Ege denizi ve bölgesinde genel bir kuzey - güney yönlü bir gerilme ve doğu - batı yönlü bir hareket vardır (Mc Kenzie 1972, Şengör 1980, Westaway 1994).

KAF 'da şimdiye kadar yapılan çalışmalardan toplam yer değiştirme doğuda Erzincan yakınlarında 40 ± 5 km 'den batıda Bolu yakınlarında 25 ± 5 km 'ye kadar düştüğü görülmüştür. Batıya doğru bu azalma iç deformasyonlardan kaynaklanmaktadır. Fakat Bolu 'nun daha batısında, batı Türkiye ve Ege'nin açılmasından dolayı bu miktarın yavaş yavaş 30 ± 5 km 'ye çıkacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 1.2: Türkiye ve etrafındaki fay hatları (Straub 1996)

KAF Karlıova 'dan Mudurnu vadisine kadar genel olarak tek bir hat izlemektedir. Fay zonu 1939 ile 1967 yılları arasında büyük aktiviteye sahipti ve bu yıllarda meydana gelen altı büyük deprem sonucu oluşan kitle hareketi nedeniyle Erzincan' dan Mudurnu vadisine kadar 900 km devamlılık gösteren belirgin bir yüzeysel kırık tesbit edilmiştir. KAF, Mudurnu' dan sonra batıya doğru daha kompleks bir yapıya sahiptir. Fay batıda, doğu Marmara bölgesinde iki kola ayrılmakta ve güneydeki kol da yine ikiye ayrılmaktadır (Şekil 1.2).

Kuzey kol da bir çok küçük kollara ayrılarak Anadolu bloğuyla Karadeniz arasında dağınık (diffuse) bir sınır oluşturmaktadır. Bu kolun sismik ve jeodezik verilerden diğer kollara göre daha aktif olduğu görülmüştür. Kuzey kol Marmara havzasından Marmara denizinin kuzeyini izleyerek Saros havzasına uzanmaktadır. Orta kol Marmara denizinin güney sınırından Biga yarımadası üzerinden Skyros havzasının batısına, güney kol da Bursa ve Manyas üzerinden orta kola paralel uzanıp yine Skyros havzasında son bulmaktadır (Barka 1992, Barka 1997).

Türkiyede sürdürülen tektonik ağırlıklı çalışmalarda amaç Anadoludaki büyük ölçekli neotektonik deformasyonların belirlenmesinin yanısıra plaka modellemelerine altlık oluşturacak deformasyonların şeklinin de doğru anlaşılmasıdır, yani deformasyonların rijit plaka hareketi özelliği mi taşıdığı yoksa dağılım eğilimli kitle içi deformasyonlar mı olduğunun belirlenmesidir. Bu sorunun cevabı litosfer dinamiği, fay mekaniği ve deprem riski bakımından büyük önem taşımaktadır. Nedeni de, eğer plaka hareketi rijit plaka şeklinde meydana geliyorsa plaka içi deformasyon (internal deformation) oluşmayacak olmasıdır. Bu iki grup deformasyonun karakteristikleri aşağıdaki gibidir:

Rijit mikrolakalar:

- iyi tanımlanmıştır, plakanın sınırları süreklilik gösterir
- mikrolakanın içinde deformasyon meydana gelmez
- bütün deformasyonlar sınır boyuncadır
- rijit rotasyonlar ve Euler kutupları mevcuttur

Dağılımlı, kesikli - sürekli (iç) deformasyon:

- bloğun sınırları çok iyi tanımlanamamıştır, sınırlarda sırtlar oluşur
- blok içersinde dağılımlı deformasyon mevcuttur, plaka içinde gerilmeler oluşur
- sınır sırtları boyunca deformasyon oluşur
- rijit hareket yoktur

Neotektonik yapısal özelliklerin kinematik analizi, aktif fayların dağılımları, sismik aktivitenin hacimsel dağılımı, depremlerin fay düzlemi çözümleri ve Marmara bölgesindeki GPS ölçmelerinden Türkiye'deki litosferin dağılımlı deformasyonlarla karakterize edilebileceğini göstermektedir (Pavoni 1994).

1.4 Marmara GPS Ölçmeleri Projesinin Tanımı ve Amacı

Türkiye, yerbilimleri bakımından oldukça aktif bir bölge olup bilimadamların yıllardan beri ilgisini çekmektedir. Birçok ulusal ve uluslararası kuruluş 1960 'li yıllardan itibaren Kuzey Anadolu Fayında ve Marmara Bölgesinde araştırma imkanları bulmuştur (Aksoy 1994). Yerkabuğundaki hareketlerin GPS yöntemi gibi yeni yöntemlerle de günümüzde belirlenebilir olması bu araştırma kurum ve kuruluşların bu bölgeye dikkatini iyice çekmiştir.

Zürich Teknik Yüksek Okulunun (ETHZ) bu araştırma konusunda İstanbul Teknik Üniversitesi ile çalışmak istemesi ve işbirliği için öneride bulunmasından sonra 1989 yılında İTÜ adına Maden Fakültesi, ETHZ ve Harita Genel Komutanlığının (HGK) katılımı ile “ Poly-Project Marmara” projesi yürürlüğe sokulmuştur. Projeye göre çalışma alanı olarak Türkiye'nin kuzeybatısı ve yakın çevresi seçilmiş KAF 'nın karmaşık bir hal aldığı bölge ön planda tutulmuştur. Çünkü bu bölgede morfoloji, jeoloji ve hidrojeolojiyi önemli derecede etkileyen, sık sık deprem olmasına neden olan ve hidrotermal suların yükselmesini ve oluşumlarını beraberinde getiren aktif plaka kaymaları olmaktadır. Bu projenin amacı, tarafların jeolog, jeofizikçi ve jeodezicilerin arasında sürdürülecek çok disiplinli ortaklaşa çalışmalarla, Kuzey Anadolu Fay Zonunun batı kesiminin jeodezik yönden araştırmak ve sonuç olarak saptanacak

deformasyon alanını, tektonik yeraltı suyu hareketleri, jeotermik ve sismik açılardan değerlendirmektedir.

Özet olarak aşağıdaki çalışmalar planlanmıştır (Yüzer 1989):

1. Fay mekaniği çözümleri için mikrodeprem araştırmaları

- sismik olarak aktif kırılma alanlarının belirlenmesi
- yeraltı su seviyesinin değişimi ile lokal sismiğin zamana bağlı değişimi arasındaki ilişkilerin araştırılması

2. Jeolojik haritalama

- kaynak çıkışlarının haritalanması
- su kaynağı çökellerinin haritalanması

3. Termal su çıkışlarının ve yarıma bölgelerinin rekonstruksiyonu

- tabakaların oluşum zamanlarının belirlenmesi
- aynı özellikteki tabakaların değişik dış görünüşlerinin kıyaslanması
- graben bölgelerinde sondajlama
- eski kaynak tortularının oluşum zamanlarının belirlenmesi ve analizleri

4. Jeotermi

- sondaj kuyularında ısı alanlarının belirlenmesi
- ısı iletimi derecesinin belirlenmesi
- hidrolik alanla ısı alanı arasındaki bağıntının araştırılması
- termal su akışlarının incelenmesi

5. Yer gazı incelemeleri

6. Jeodezi

- yeryüzü kinematik alanının ölçülmesi
- yeraltı su dolaşımı ve mikrodprem dağılımı ile üst yüzey kinematiğinin kıyaslanması
- tektonik model oluşturulmasına katkı

Projenin jeodezik çalışmaları, İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Jeodezi Anabilim Dalı, ETHZ (Zürich Teknik Yüksek Okulu Jeodezi Enstitüsü) ve Harita Genel Komutanlığı tarafından “Marmara GPS Ölçmeleri Projesi” adlı alt proje çerçevesinde yürütülmüştür. Bu çalışmada, bu alt projeyi tanımlamak için kısaca “Marmara Projesi” deyimini kullanılacaktır.



2. MARMARA GPS AĞI VE ÖLÇMELER

2.1 Global Konumlama Sistemi (GPS)

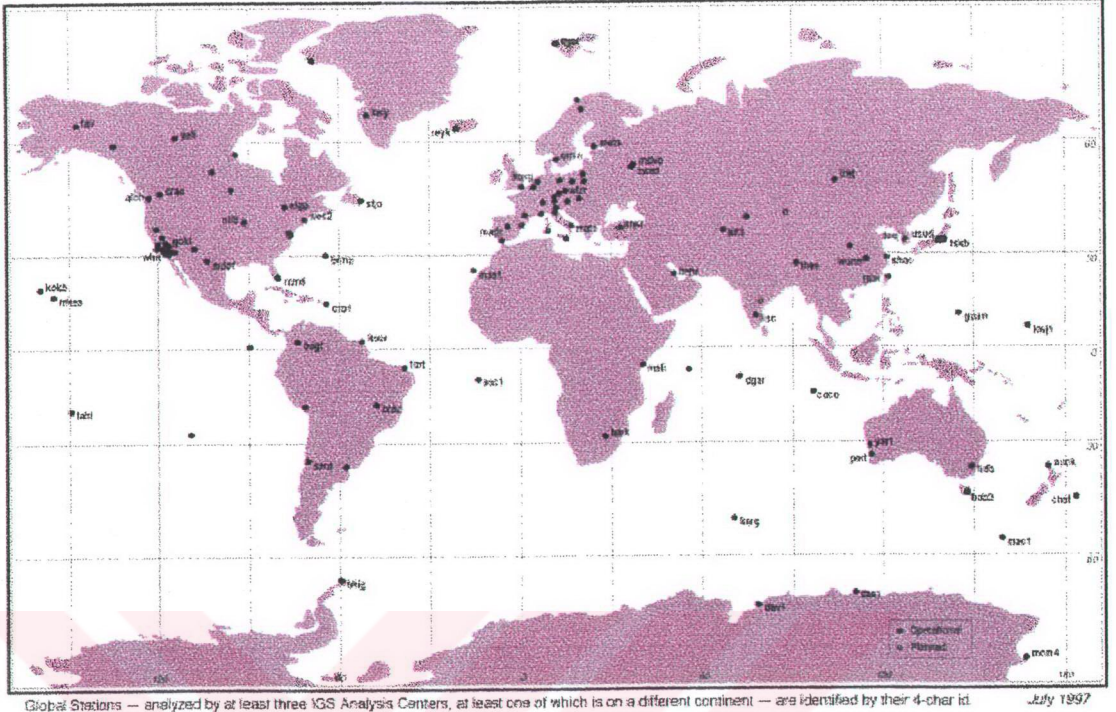
GPS sistemi ABD savunma dairesi tarafından geliştirilmiştir. Sistemin amacı, sürekli olarak Dünyanın her yerinden prezisyonlu konum ve zaman belirlemek olarak özetlenebilir. Sistem; uydu, kontrol ve kullanıcı bölümlerinden oluşmaktadır. Uydu sistemindeki uydular (21 ana + 3 yedek), elipsin büyük yarı eksenini 26560 km olan yörüngelerinde dolanmaktadırlar. Kontrol sistemi; 5 sürekli izleme istasyonu, 3 link istasyonu ve 1 ana kontrol istasyonundan oluşmaktadır. Sürekli izleme istasyonları, uydu konum bilgilerini ve saatlerini kontrol ederek ana kontrol istasyonuna iletirler. Ana kontrol istasyonu, gelen bilgilerden yörünge ve saat bilgilerini extrapole ederek yer kontrol istasyonlarına iletir. Yer kontrol istasyonları da bu yeni navigasyon bilgilerini uydulara iletirler. Amerika Savunma Dairesi (DoD) tarafından geliştirilen ve yönetilen GPS sisteminin bu ana kontrol ve izleme istasyonları dışında jeodinamik amaçlı uluslararası GPS servisinin (IGS) GPS izleme istasyonlarının dünya üzerindeki dağılımı Şekil 2.1' de görülmektedir.

Kullanıcı sistemi ise günümüzde bir çok firmanın ürettiği alıcılar ve değerlendirme paket programlarından oluşmaktadır.

GPS sistemi; navigasyon ve jeodezik amaçlı konum belirleme dışında, yer dönme hızı ve vektörünün, kutup hareketi parametrelerinin, kabuk hareketlerinin ve yerküresi ağırlık merkezinin (jeosenter) belirlenmesi gibi global jeodinamik büyüklüklerin prezisyonlu belirlenmesi çalışmalarında da kullanılmaktadır (Vigue 1992).

Bu sistemin ayrıntılı açıklaması ve jeodezik uygulamalardaki kullanımı hakkındaki bilgiler Seeber 1993' de bulunmaktadır.

GPS TRACKING NETWORK
International GPS Service for Geodynamics



Şekil 2.1: GPS izleme ağıının dağılımı (<http://igsceb.jpl.nasa.gov.network.html>)

GPS ölçmelerinin esası, radyo dalga sinyallerinin değerlendirilmesi anlamında, bir çok alıcı arasındaki eş zamanlı rölatif uzunlukların belirlenmesine dayanmaktadır. Her GPS uydusu osilatörlerinde 10.23 Mhz temel frekansları üretirler ve L1 ile L2 olarak bilinen temel taşıyıcı dalgaları yayarlar. L1 taşıyıcı dalgası saat frekansının 154 katına (1575.42 MHz), L2 taşıyıcı dalgası da 120 katına (1227.60 MHz) eşittir. Uydular ile yer kontrol istasyonları arasındaki bilgi aktarımı için de 1783.74 MHz, 2227.50 Mhz ve kapalı tutulan 1381.05 Mhz frekanslı dalgalar kullanılmaktadır. GPS uydularından yayılan sinyaller iki farklı ölçme işleminde kullanılabilir. Bunlar kod ve faz ölçüleridir. Gözlenen kodlar (C/A veya P kodu) alıcının ürettiği referans kodlarıyla karşılaştırılması sonucu, sinyalin alıcıyla uydu arasındaki seyir süresi ve böylece aradaki uzaklık doğrudan belirlenebilmektedir. Bu uzaklık, alıcıyla uydunun GPS zamanına göre saat hatalarını içermektedir. Günümüzde P kodu AS (Anti - Spoofing) tekniği ile değiştirilmiş ve böylece genel kullanıcılara kapatılmıştır. Değiştirilen P koduna Y kodu adı verilmektedir. Kapatılmamış şekliyle P kodu ölçmeleriyle bir noktanın WGS-84 sistemindeki konumu alıcı anten tipine bağlı olarak 0.5 - 5 m

doğrulukla belirlenebilmektedir. Fazlarda ve C/A kodunda SA (Selective availability) tekniği ile Blok 2 uydularındaki uydu saat bilgileri kullanıcılara yapay bir değişime uğratarak iletilmektedir. SA aktif olmadığında konumu belirlenen noktanın ortalama mutlak konum hatası 10 m civarında ve SA 'nın aktif olduğu durumda bu hata 200 m 'ye kadar çıkmaktadır. Eğer alıcılar 1 milisaniyeye kadar senkronize edilmişse SA rölatif konumlandırmalara etki etmemektedir. Faz ölçülerinin değerlendirilmesi sonunda rölatif doğruluklar yatayda birkaç mm' den düşeyde birkaç cm' ye kadar değişmektedir. Bu doğruluklar gözlenen uyduların dağılımlarına, yörünge hatalarına ve ölçülerin kalitesine bağlıdır (Dong 1989, Wellenhof 1992, Gerstenecker 1994, Chrzanowski 1994).

Uydudan gelen taşıyıcı faz ile alıcı tarafından üretilen fazların farkı bir kaç mm çözünürlükle ölçülebilmektedir. Faz ölçmelerindeki düşük gürültü paraziti (noise) nedeniyle jeodezik uygulamalarda faz ölçmeleri temel ölçü olarak alınmaktadır.

Kod ölçmelerinde temel gözleme eşitliği ;

$$C_{k;m}^i = d_{k;m}^i + c \tau_m^i - c \tau_{k;m} \quad (2.1)$$

olarak ve faz ölçmelerinde temel gözleme eşitliği ;

$$\Phi_{k;m}^i = d_{k;m}^i + c \tau_m^i - c \tau_{k;m} - N_k^i \cdot \lambda \quad (2.2)$$

alınabilir. Burada;

S^i = uydu

R_k = alıcı

Φ = faz ölçü değeri (m)

C = kod ölçü değeri (m)

$d = S^i$ uydusuyla ($t_m - d_{k;m}/c$ zamanında) R_k alıcısı (t_m anında) arasında troposferik ve iyonosferik refraksiyon terimlerini de içeren mesafe

c = boşluktaki ışık hızı

t_m = GPS sistem zamanında gözlem zamanı

τ_m^i = uydu saati hatası (GPS sistem zamanına göre)

$\tau_{k,m}$ = alıcı saati hatası (GPS sistem zamanına göre)

λ = dalga boyu

N_k^i = uydu - alıcı arasındaki başlangıç uzunluğunda, dalga boyunun tamsayı katı olan sayı veya başlangıç faz belirsizliği (ambiguity) dir

Faz ölçülerinin lineer kombinasyonları ile sistematik etkiler (alıcı veya uydu saat hataları, iyonosferik ve troposferik kaynaklı etkiler v.b.) azaltılabilmekte ve ortadan kaldırılmaktadır. Bu nedenle tek farklar (single difference), çift farklar (double difference) ve üçlü farklar (triple difference) olarak tanımlanan kombinasyonlar oluşturulmaktadır.

Her t_m epoh 'u için R_k ve R_l alıcılarının aynı S^i uydusuna olan eşitliklerin farkları alınarak tek farklar gözleme eşitlikleri elde edilebilmektedir.

$$\Delta\Phi_{k,l,m}^i = \Delta d_{k,l,m}^i - c \cdot \Delta\tau_{k,l,m} + N_{k,l}^i \cdot \lambda \quad (2.3)$$

$$\Delta\Phi_{k,l,m}^i = \Phi_{k,m}^i - \Phi_{l,m}^i \quad (2.4)$$

$$\Delta d_{k,l,m}^i = d_{k,m}^i - d_{l,m}^i \quad (2.5)$$

$$\Delta\tau_{k,l,m} = \tau_{k,m} - \tau_{l,m} \quad (2.6)$$

$$N_{k,l}^i = N_k^i - N_l^i \quad (2.7)$$

Tek farklar alınarak yörünge hataları, iyonosferik ve troposferik refraksiyon hataları büyük ölçüde giderilebilmektedir.

İki alıcıyla iki uyduya iki gözleme farkı ile çift farklar oluşturulabilmektedir.

$$\nabla \Delta \Phi_{k,l;m}^{i,j} = \nabla \Delta d_{k,l;m}^{i,j} + N_{k,l}^{i,j} \cdot \lambda \quad (2.8)$$

$$\nabla \Delta \Phi_{k,l;m}^{i,j} = \Delta \Phi_{k,l;m}^i - \Delta \Phi_{k,l;m}^j \quad (2.9)$$

$$\nabla \Delta d_{k,l;m}^{i,j} = \Delta d_{k,l;m}^i - \Delta d_{k,l;m}^j \quad (2.10)$$

$$N_{k,l}^{i,j} = N_{k,l}^i - N_{k,l}^j \quad (2.11)$$

Çift farkların oluşturulmasıyla $\Delta \tau_{k,l;m}$ alıcı saati hataları elimine edilmektedir.

Ardışık iki epoh ölçülerin çift farkların farkları alınmasıyla da üçlü farklar oluşturulabilmektedir. Üçlü farkların oluşturulmasıyla tam sayı faz bilinmeyenleri elimine edilmektedir (Wild 1994).

Her bir dalganın veya kombinasyonunun farklı özellikleri vardır. L1 ve L2 temel taşıyıcı dalga boylarının ses paraziti diğer dalga boylarının kombinasyonlarına göre çok düşüktür.

$$L_3 = [f_1^2 / (f_1^2 - f_1^2) \cdot L_1] - [f_2^2 / (f_1^2 - f_2^2) \cdot L_2] \quad (2.12)$$

lineer kombinasyonu iyonosferik etkiyi ortadan kaldırmaktadır.

$$L_4 = L_1 - L_2 \quad (2.13)$$

lineer kombinasyonu alıcı saat hataları etkisinden bağımsızdır.

$$L_5 = [f_1 / (f_1 - f_2) \cdot L_1] - [f_2 / (f_1 - f_2) \cdot L_2] \quad (2.14)$$

lineer kombinasyonunun olumlu özelliği dalga boyunun uzun olmasıdır. L5 dalgası yörünge hataları gibi sistematik hatalardan aynı L1 gibi etkilenmesine rağmen dalga boyunun L1 dalga boyuna göre yaklaşık 4 katı olması ve başlangıç faz belirsizliğinin çözülmesi aşamasında sistematik hatalardan çok daha az etkileniyor olması en önemli özelliğidir (Rotacher 1993).

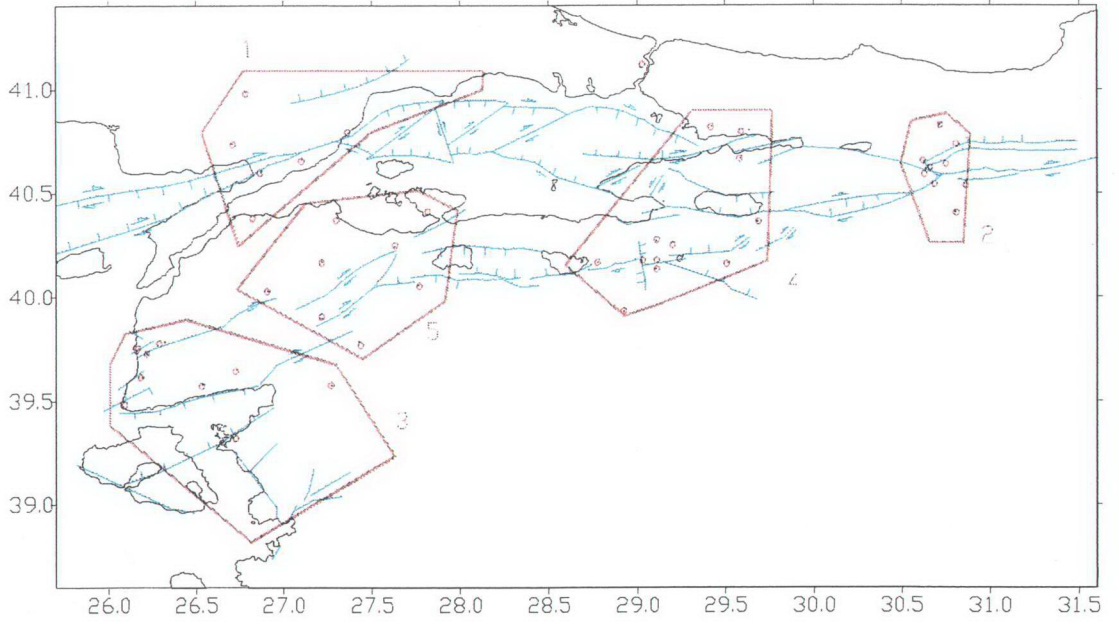
2.2 Marmara GPS Ağı'nın Tesisi ve Özellikleri

GPS teknolojisinden azami şekilde yararlanabilmek için planlama, bir GPS projesinde önemli adımlardan birini oluşturmaktadır. Planlama adımları aşağıdaki başlıklarda toplanabilir (Klees 1993):

- kampanyanın anlam ve amacı (Bölüm 1.4 'te açıklanmıştır)
- amaca göre istasyon noktalarının yerleri ve sayısı (ağ dizaynı)
- sinyal alınacak uyduların sayısı ve seçimi, uydu geometrisi ve uydu gözlemlerinde minimum uydu yüksekliklerinin seçimi (uydu dizaynı)
- alıcıların sayısı ve tipi, alıcıların noktalara göre dağılımı (alıcı dizaynı)
- eş zamanlı ölçmelerin (session) başlangıcı ve süresi, kayıt aralıkları (ölçme dizaynı)
- personel, taşıma kapasitesi ve istasyon değişimi (lojistik dizaynı)
- datum sorunu, ağ -, session - veya baz değerlendirilmesi, yörünge bilgileri ve değerlendirme programı kaynaklı değerlendirme kısıtlamaları (değerlendirme dizaynı)

Marmara Projesinde, yukarıdaki adımların gerçekleştirilmesi esnasında esas alınan temel yaklaşımlar ve düşünceler aşağıda özetlenmiştir.

Marmara projesi çerçevesinde, Marmara bölgesinden geçen KAF 'nın ve bu bölgenin batısında üçe ayrılan KAF 'nın kollarının davranışlarını kendi içinde daha detaylı inceleyebilmek için tesis edilen GPS ağ noktaları 5 ana bölgede yoğunlaştırılmıştır (Şekil 2.2). Bölgeler içinde kalan noktaların yerleri, hareketli bölgenin kinematikini ortaya çıkartacak şekilde seçilmeye çalışılmıştır. Bunun için tahmin edilen kırıkların her iki tarafında da en az ikişer nokta tesis edilmiştir.



Şekil 2.2: Marmara bölgesinin jeodinamik açıdan karakteristik alanları

Noktalar, lokal hareketlerin etkisinden mümkün olduğunca bağımsız olacak şekilde ve bölgenin tektonik özelliklerini taşıyan kayalar üzerine tesis edilmiştir. GPS ölçme tekniğine uygun olarak da ufuk 'la 15° 'nin üzerinde bir engel olmamasına dikkat edilmiş ve ölçme konforu da düşünülerek istasyonların en az 100 m yakınına kadar araba ile ulaşımı göz önünde tutulmuştur. Fakat yine de her bölgede bu kriterlerin tümüne uyulamamıştır. Az da olsa istasyon noktası olarak su deposu, dalga kıran veya Ülke Nirengi Ağının pilyeleri alınmıştır. Tahmin edilen kırıklara göre tesis edilen istasyonlar Şekil 2.2' de görülmektedir.

Noktaların tesisi sırasında, ulaşım krokilerinin hazırlanması için 1:800 000 ile 1:100 000 'lik haritalardan ve uygun kayaların bulunması için de 1:500 000 'lik jeolojik haritalardan yararlanılmıştır. Kural olarak birisi üzerinde ölçme yapılacak merkez (Z) ve röper olarak 3 dış merkez nokta (A, B, C) olmak üzere her istasyon için 4 pirinç çivi yerleştirilmiştir. Tesis edilen istasyonun numaraları, isimleri, kısaltmaları, işaretleme biçimi ve yaklaşık koordinatları Tablo 2.1' de görülmektedir.

Sadece 9 (206, 205, 208, 209, 103, 307, 408, 502, 001) istasyonda standartlara uyulamamıştır. Uygun kayalık bölgenin bulunamaması nedeniyle 206 numaralı istasyonun 2 dış merkez noktası vardır. 205, 208 ve 209 numaralı noktalar IfAG kuruluşu tarafından önceden tesis edilmiş noktalar olup, ayrıca sigorta için dış merkez

noktaların tesisi gibi bir çalışma yapılmadan ağa dahil edilmişlerdir. 103, 307, 408 ve 502 numaralı noktalar ülke nirengi ve doppler ağı noktalarına ait pilyelerdir. Bu noktalardaki ölçmeler pilye altlıklarıyla gerçekleştirilmiştir. Yalnız 307 numaralı nokta bir binaya çok yakın olduğu ve ayrıca da zarar görmüş olduğu için bir dış merkez nokta tesis edilmiştir. 001 numaralı istasyon ise, İTÜ İnşaat Fakültesi çatısında taşıyıcı kolan üzerine tesis edilmiştir. Tüm istasyonlar kampanyalardan önce her defasında kontrol edilmiştir. İstasyonlara ilişkin genel bilgiler, ulaşım krokileri, ölçmeler sırasında karşılaşılabilecek tehlikeler ve problemler, istasyonların yakınlarında uygun konaklama yerleri ve bulunması zor istasyonlara ilişkin çekilmiş resimler gibi bilgi ve dökümanlar kampanyalar öncesi ekiplere bildirilmiş ve ölçmeler buna göre planlanmıştır (Marti 1991).

Tablo 2.1: Marmara GPS ağ noktalarının isim ve yaklaşık koordinatları

No	İsim	Kısaltma	Enlem	Boylam	Yükseklik	Açıklama
001	İstanbul Ayazağa	ITAY	41° 06'	29° 01'	150 m	3 röperli çivi
*002	Kandilli	IKAN	41° 04'	29° 04'	150 m	3 röperli çivi
101	Yeniköy	YENI	40° 49'	27° 24'	300 m	3 röperli çivi
102	Şarköy	SARK	40° 40'	27° 06'	250 m	3 röperli çivi
103	Hemit	HEMI	40° 59'	26° 47'	300 m	vidalı pilye
104	Dokuzdere	DOKU	40° 44'	26° 42'	130 m	3 röperli çivi
105	Kavak	KVAK	40° 36'	26° 52'	50 m	3 röperli çivi
106	Şevketiye	SEVK	40° 24'	26° 53'	80 m	3 röperli çivi
*107	Marmaraereğlisi	MAER	40° 58'	27° 57'	40 m	3 röperli çivi
201	Tepebaşı	TEBA	40° 23'	30° 48'	980 m	3 röperli çivi
202	Pınarbaşı	PINA	40° 33'	30° 52'	800 m	3 röperli çivi
203	Boztepe	BOZT	40° 33'	30° 41'	820 m	3 röperli çivi
204	Kuzuluk-Topçusırtı	KTOP	40° 37'	30° 38'	240 m	3 röperli çivi
205	Aksartepe	AKTE	40° 39'	30° 38'	210 m	3 röperli çivi
206	Kuzuluk-Kaplıcaları	KKAP	40° 38'	30° 39'	160 m	2 röperli çivi
207	Keremalitepe	KMAL	40° 39'	30° 45'	1200 m	3 röperli çivi
208	Kazımiye	KZIM	40° 50'	30° 43'	350 m	çivi
209	Karadere	KDER	40° 44'	30° 50'	650 m	çivi

Tablo 2.1: (Devam)

No	İsim	Kısaltma	Enlem	Boylam	Yükseklik	Açıklama
301	Ezine	EZIN	39° 47'	26° 19'	150 m	3 röperli çivi
302	Körüktaş	KRKT	39° 44'	26° 13'	200 m	3 röperli çivi
303	Kestanbol	KEST	39° 44'	26° 09'	80 m	3 röperli çivi
304	Babadere	BDER	39° 37'	26° 11'	250 m	3 röperli çivi
305	Aklıman	AMAN	39° 30'	26° 05'	180 m	3 röperli çivi
306	Hasanoba	HOBİ	39° 35'	26° 32'	480 m	3 röperli çivi
307	Karaçantepe	KCAM	39° 39'	26° 44'	1280 m	çivi
308	Ayvalık	AYVA	39° 20'	26° 42'	120 m	3 röperli çivi
309	Eğmir	EGMI	39° 35'	27° 16'	260 m	3 röperli çivi
*310	Esentepe	ESEN	39° 01'	26° 53'	300 m	3 röperli çivi
*311	Kozak	35DU	39° 14'	27° 07'	750 m	3 röperli çivi
*312	Kumköy	37DU	39° 18'	27° 35'	400 m	3 röperli çivi
401	Oluklu	OLUK	40° 40'	29° 35'	400 m	3 röperli çivi
402	Derbent	DERB	40° 22'	29° 41'	600 m	3 röperli çivi
403	Hamzaköy	HMZA	40° 10'	29° 31'	310 m	3 röperli çivi
404	Çataltepe	CATA	40° 12'	29° 16'	360 m	3 röperli çivi
405	Girencik	GIRE	39° 56'	28° 55'	460 m	3 röperli çivi
406	Yiğitalı	YIGI	40° 10'	29° 01'	670 m	3 röperli çivi
407	Zeyniler Yaylası	ZEYA	40° 10'	29° 07'	820 m	3 röperli çivi
408	Uludağ Teleferik	ULUD	40° 08'	29° 06'	1670 m	vidasız pilye
409	Demirtaş	DTAS	40° 16'	29° 06'	160 m	3 röperli çivi
410	Hasanağa	HAGA	40° 10'	28° 47'	200 m	3 röperli çivi
411	İğdir	IGDI	40° 16'	29° 12'	180 m	3 röperli çivi
412	Gemlik Radar Yolu	GEML	40° 28'	29° 09'	410 m	3 röperli çivi
413	Gaziler Tepe	GAZI	40° 49'	29° 25'	350 m	3 röperli çivi
414	Yukarı Hereke	YUHE	40° 48'	29° 38'	380 m	3 röperli çivi
*415	Çınarcık	CINA	40° 38'	29° 09'	170 m	3 röperli çivi
501	Alancık	ALAN	39° 47'	27° 25'	610 m	3 röperli çivi
502	Kireçtepe	KIRE	39° 54'	27° 13'	970 m	vidasız pilye
503	Bahadırılı	BAHA	40° 02'	26° 55'	260 m	3 röperli çivi
504	Akkayrak	ARAK	40° 10'	27° 13'	80 m	3 röperli çivi
505	Karabiga	KABI	40° 23'	27° 18'	50 m	3 röperli çivi
506	Ulukır	UKIR	40° 15'	27° 38'	150 m	3 röperli çivi
507	Koçbayır	KOCB	40° 04'	27° 46'	420 m	3 röperli çivi
508	Erdek	ERDE	40° 24'	27° 49'	90 m	3 röperli çivi

Tablo 2.1' de nokta numaraları yanında * olanlar 1992 kampanyasında ağa yeni katılan istasyon noktalarıdır.)

2.2.1 1990 yılı Marmara GPS kampanyası

1990 yılındaki kampanya, 12 Eylül - 23 Eylül tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Tesis edilen 47 istasyonun ölçülmesi için oluşturulan 11 ekibin her biri WM102 tipi çift frekanslı GPS alıcısı kullanmıştır. Her istasyonun, ölçmelerin güvenilirliği için ard arda 2 session ölçülmesi planlanmıştır. İstanbul’ daki 001 numaralı istasyon diğer noktaların rölatif konumlarını belirleyebilmek için kampanya boyunca ölçülmüştür. Ölçmeler aşağıdaki kriterlere göre planlanmıştır:

1. Bazlar mümkün olduğunca kısa tutulacak
2. Tahmin edilen kırıklar üzerinden doğrudan ölçme yapılacak
3. Ağın tümü İstanbul’ daki istasyonun iyi çalışmaması durumunda bile çözümlü kalacak

Ağın tümünün çözümlü kalması için ekiplerin yarısının istasyon noktalarını değiştirmesi, diğerlerinin de aynı istasyonlarda 3. sessionu tamamlamaları yoluna gidilmiştir. 1990 kampanyası sırasında Navstar - GPS sisteminde 14 uydu aktif çalışır durumundaydı. Bölgedeki uydu dağılımları en az 4 uydunun 8 saatlik bir pencereye sahip olduğunu göstermiştir. Fakat bataryaların tekrar şarjı ve istasyonlara varış süreleri gibi faktörler göz önünde tutularak ölçme süresi 5 saat ile sınırlandırılmıştır. Ölçmeler kampanya boyunca 23 ile 04 UT (02 ile 07 lokal zaman) arasında, kayıt aralıkları 60 saniye olacak şekilde sürdürülmüştür. Yükseklikler, noktaların üst yüzeyleri veya pilyelerin üst yüzeylerinden (vidanın hemen yanından) itibaren geçerli olacak şekilde alınmıştır. Kampanya başlangıcında, hava şartlarının çok kötü oluşu istasyonlara ulaşımı zorlaştırmış, eş zamanlı ölçme penceresine bazı istasyonlarda uyulamamıştır. Kampanya sırasında bazı noktaların tahrip olması ve hasar görmesinden dolayı ölçmeler Tablo 2.2’ de açıklanan noktalarda gerçekleştirilmiştir:

Tablo 2.2: 1990 kampanyasında ölçmelerin yapıldığı dış merkez noktalar

No	İsim	Dışmerkez
106	Şevketiye	ölçmeler kafası kırılmış Z ‘te sürdürülmüştür
401	Oluklu	C
410	Hasanağa	A
411	İğdır	C

Kampanya sırasında değişik istasyonlarda karşılaşılan sorunlar Tablo 2.3' de özetlenmiştir. İstasyon noktalarının günlere göre dağılımı Tablo 2.4' de verilmiştir.

Tablo 2.3: 1990 kampanyası sırasında istasyon noktalarında karşılaşılan sorunlar

Gün 1	ITAY	3:00 ile 3:20 arasında bir uydu hariç hepsinde L2 kaybı
	PINA	Ulaşım sorunu nedeniyle ölçmeye 2 saat kadar geç başlanılmıştır
	KZIM	Batarya sorunu nedeniyle 25 dakikalık kayıt vardır
Gün 2	PINA	Batarya sorunu nedeniyle ölçme 1 saat erken bitirilmiştir
	KZIM	Kötü yol koşullarından dolayı istasyona ulaşamamıştır.
Gün 3	PINA	Batarya sorunu nedeniyle ölçme 1 saat erken bitirilmiştir
	KKAP	Teyp ünitesindeki problemten dolayı ölçmelerde 10 'ar dakikalık boşluklar mevcuttur
Gün 4	DERB	Batarya sorunu nedeniyle ölçmeler 40 dakika kadar önce bitirilmiştir
	CATA	Ölçmeler 1 saat önce bitirilmiştir
	HMZA	2:10 'dan itibaren ölçme sonuna kadar L2 kaybı
Gün 5	GIRE	Batarya sorunu nedeniyle ölçme 70 dakika önce bitirilmiştir
Gün 7	HOBA	Teyp ünitesindeki problemten dolayı ölçmelerde 5 'er dakikalık boşluklar mevcuttur
Gün 8	EGMI	Ulaşım sorunu nedeniyle ölçmeye 80 dakika kadar geç başlanılmıştır
Gün 10	KEST	2:10 'dan itibaren ölçme sonuna kadar L2 kaybı vardır

Tablo 2.4: 1990 kampanyasında istasyon noktalarındaki ölçmelerin günlere göre dağılımı

No	Gün 1	Gün 2	Gün 3	Gün 4	Gün 5	Gün 6	Gün 7	Gün 8	Gün 9	Gün 10	Gün 11
001	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
101										x	x
102									x	x	x
103									x	x	
104										x	x
105										x	x
106									x	x	
201	x	x									
202	x	x	x								
203	x	x									
204	x	x	x								

Tablo 2.4: (Devam)

No	Gün 1	Gün 2	Gün 3	Gün 4	Gün 5	Gün 6	Gün 7	Gün 8	Gün 9	Gün 10	Gün 11
205	x	x									
206	x	x	x								
207	x	x									
208	(x)										
209	x	x	x								
301								x	x		
302								x	x		
303								x	x	x	
304								x	x	x	
305								x	x		
306							x	x			
307							x	x			
308							x	x			
309							x	x			
401			x	x							
402			x	x							
403				x	x						
404				x	x						
405					x	x					
406					x	x					
407					x	x					
408	x	x	x	x	x						
409				x	x						
410					x	x					
411				x	x						
412			x	x							
413			x	x							
414			x	x							
501						x	x				
502						x	x				
503						x	x				
504						x	x				
505									x	x	
506						x	x				
507					x	x					
508							x	x	x	x	

(x) işareti, ölçmenin yapıldığı, fakat verilerin çok zayıf olduğu anlamındadır.

2.2.2 1992 yılı Marmara GPS kampanyası

Marmara 92 kampanyası öncesi ağı Marmara etrafında yoğunlaştırmak, Durham (İngiltere), MIT (Amerika) ve IfAG (Almanya) gibi diğer grupların ağılarına bağlanmak ve gereğinde çalışmaları karşılaştırmak için 1990 GPS ağı 6 yeni noktanın tesisiyle genişletilmiştir. Bu noktalardan 002 (Kandilli) MIT 'nin, Deu35 (Kozak) ve DEU37 (Kumköy) de Durham 'ın olup 107 (Marmaraereğlisi), 310 (Esentepe) ve 415 (Çınarcık) yeni noktalar. Bu kampanyada da bazı noktaların hasar görmesinden dolayı ölçmeler Tablo 2.5' te açıklanan dışmerkez noktalarda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.5: 1992 kampanyasında ölçmelerin yapıldığı dışmerkez noktalar

No	İsim	Dışmerkez
101	Yeniköy	B
102	Şarköy	A
201	Tepebaşı	C
401	Oluklu	C
410	Hasanağa	A
411	Iğdır	C

413 numaralı noktayı temsil eden çivi tamamen tahrip edilmiş olmasından dolayı tekrar delik açılarak yeni çivi yerleştirilmiştir. 1992 Marmara kampanyasında bir önceki peryoddaki gibi WM102 alıcıları kullanılmıştır. 15 alıcıyla 27 Ağustos - 7 Eylül tarihleri arasında gerçekleştirilen kampanya aynı kriterlere göre ve istasyonlara dağılım sırası benzer tutularak gerçekleştirilmiştir. 1992 kampanyasında 4 sürekli ve 3 de yarı sürekli istasyonlar kullanılmıştır. Sürekli istasyonlar ağı çerçeveleyen, yarı sürekli istasyonlar da ağın ortalarına düşecek biçimde seçilmiştir. Bu kampanyada da kayıt aralıkları 60 saniye olarak öngörülmüştür.

Özellikle ilk 5 gün olmak üzere çoğu istasyonda aralıklarla L_1 ve L_2 kaybı olmuştur. Alıcı ve güç kaynağı problemleriyle karşılaşılmasından dolayı da, bazı istasyonlarda ölçmeler Tablo 2.6' daki gibi sürdürülmüştür. İstasyon noktalarının günlere göre dağılımı Tablo 2.7' de verilmiştir.

Tablo 2.6: 1992 kampanyası sırasında karşılaşılan sorunlar ve yapılan değişiklikler

Gün 1	002 deki (Kandilli) alıcı probleminden dolayı yalnızca 30 dakikalık kayıt gerçekleştirilebilmiştir
Gün 8	308 deki (Ayvalık) alıcı batarya problemi nedeniyle ölçme yapılamamıştır. Bu nedenle ek olarak 308 ile 310 (Esentepe) arasında ek bir akşam session 'ı gerçekleştirilmiştir
Gün 11/12	107 deki (Marmaraereğlisi) alıcı yalnızca bir kaç uydudan sinyal alabildiği için ertesi gün 107 ile 508 (Erdek) arasındaki baz tekrar ölçülmüştür

Tablo 2.7: 1992 kampanyasında istasyon noktalarındaki ölçmelerin günlere göre dağılımı

No	Gün 1	Gün 2	Gün 3	Gün 4	Gün 5	Gün 6	Gün 7	Gün 8	Gün 9	Gün 10	Gün 11	Gün 12
001	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
002	(x)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
101										x	x	
102										x	x	
103										x	x	
104	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
105										x	x	
106									x	x	x	
107										x	(x)	x
201	x	x										
202	x	x	x									
203	x	x										
204	x	x	x									
205	x	x										
206	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
207	x	x										
208	x	x										
209	x	x	x									
301									x	x	x	
302									x	(x)	(x)	
303										x	x	
304								x	x			
305								x	x			

Tablo 2.7: (Devam)

No	Gün 1	Gün 2	Gün 3	Gün 4	Gün 5	Gün 6	Gün 7	Gün 8	Gün 9	Gün 10	Gün 11	Gün 12
306								x	x			
307							x	x				
308	x	x	x	x	x	x	x	(x)	x	x	x	
309							x	x				
310								x	x			
311								x	x			
312							x	x				
401			x	x								
402			x	x								
403				x	x							
404				x	x							
405					x	x						
406					x	x						
407					x	x						
408	x	x	x	x	x	x						
409				x	x							
410					x	x						
411				x	x							
412			x	x								
413	x	x	x									
414			x	x								
415			x	x								
501							x	x				
502						x	x					
503						x	x					
504						x	x					
505									x	x	x	
506						x	x					
507					x	x	x					
508							x	x	x	x	x	x

(x) işareti, ölçmenin yapıldığı, fakat verilerin çok zayıf olduğu anlamındadır.

1992 kampanyası sırasında 18 Navstar - GPS uydusu aktif olarak çalışır durumdaydı. İyonosferin etkilerini azaltmak ve verilerin kalitesini büyük ölçüde artırmak için gece ölçmeleri tercih edilmesine rağmen uyduların dağılımları 92 kampanyası sırasında buna izin vermemiştir. Bu nedenle ölçmeler, uydu sayısının en fazla olduğu saatler olan 9:00

ile 15:00 LT ($LT = UT + 3h$) arasında gerçekleştirilmiştir. Bu kampanyada ölçme süreleri 6 saat ile sınırlandırılmıştır. Noktaların yükseklikleri yine 90 kampanyası gibi çivilerin üst yüzeyleri veya pilyelerdeki vidaların tabanı olarak alınmıştır. Alıcıların hepsi LEICA, Heerbrugg tarafından güncelleştirildiğinden dolayı ufkun üzerindeki bütün uydular sınırlanamadan gözlenmiştir (Straub 1992).

2.2.3 1994 yılı Marmara GPS kampanyası

Üçüncü GPS kampanyası 26 Eylül ile 6 Ekim 1994 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Kampanya öncesi öncekilerde olduğu gibi tüm noktalar dolaşarak kontrol edilmiştir. Kampanya 1992 'dekine benzer tutularak 15 LEICA System 200 alıcısının 51 noktayı ölçmesiyle gerçekleştirilmiştir. Her istasyon bir öncekilerde olduğu gibi en az 2 session olmak üzere 17:00 ile 0:00 LT ($LT = UT + 2$) arasında gözlenmiştir. Bu ölçme kampanyası tez çalışmasının kapsamına alınmadığı için değerlendirme çalışmaları daha sonra yapılacaktır.

3. ÖLÇÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

1990 ve 1992 Marmara GPS ağı ölçmelerinde önceki bölümlerde de değinilen Wild Heerbrugg ve Magnovox firmalarının ürettiği WM102 çift frekanslı alıcılar kullanılmıştır. Bu alıcılar kod ve faz ham ölçüleriyle Broadcast yörünge bilgilerini kasetlere kaydettiklerinden, ölçülerin kasetlerden bilgisayar ortamına aktarılmasında ve ham ölçülerle Broadcast yörünge bilgilerini birbirlerinden ayırmada ayrıca PoPS paket programı kullanılmıştır.

3.1 BERNESE V 3.4 Yazılımı

Günümüzde; Bernese, Geonap, Gipsy, Gamit, Topas gibi GPS ölçülerini değerlendirecek bilimsel yazılımlar mevcuttur (Landau 1990). Farklı modeller kullanan veri işleme teknikleri problemlere farklı yaklaşmaktadırlar. Bu programlarla ulaşılan doğruluk seviyeleri yalnızca algoritmada kullanılan matematik modele bağlı olmayıp, otomatik veya manuel olabilen veri işleme moduna da bağlıdır. Her iki mod'a sahip programlarda otomatik veri işlenmesi ve değerlendirilmesi çok daha hızlı olmasına rağmen analistin veri ve programdan doğru yararlanması durumunda, manuel çözüm otomatik olanına göre çok daha iyi sonuçlar verecektir (Lima 1992).

Bu çalışmada, Bernese yazılımı kullanıldığından bu yazılımın özellikleri kısaca özetlenecektir. Bernese, ikinci nesil GPS yazılım sisteminin tamamıyla yeni düzenlenmiş üretimi (versiyonu) "Bernese GPS Software Version 3.0" Mart 1988 'de tamamlanmıştır. Ardından 1993 yılına kadar GPS sistemindeki gelişmelere paralel olarak yazılım Mayıs 1993 'te V 3.4 serisine kadar geliştirilmiştir. Bu tezin içinde yer alan değerlendirmelerin tümü V 3.4 ile gerçekleştirilmiştir. Bernese yazılımı, eğitim ve araştırma amaçları ile hem bilimsel kullanıcılar için hem de profesyonel kullanıcıların yüksek doğruluk amaçlı GPS ölçmeleri için geliştirilmiştir. Bu program ile, tek veya çift frekans ölçmeleriyle hızlı veri işleme, orta uzunluklu bazlarda başlangıç tam sayı faz bilinmeyenlerinin çözümü, iyonosfer ve troposfer modellemeleri, değişik alıcı

tiplerinin kombinasyonu, tam simulasyon olanağı, yer dönme parametrelerinin belirlenmesi, yörünge parametrelerinin belirlenmesi, yörünge iyileştirme ve kesintisiz ağ ölçmelerinin işlenmesi gibi günümüz GPS teknolojisinin sunduğu tüm olanaklar kullanılabilmektedir. 700 'den fazla program ve alt programdan oluşan Bernese temel olarak transfer, yörünge, veri işleme, simulasyon ve hizmet olmak üzere 5 kısımdan oluşmaktadır.

Transfer kısmı, bağımsız alıcı formatı veya Rinex formatından Bernese formatına veya tersine dönüştürme olanaklarından oluşmaktadır.

Yörünge kısmında ise broadcast veya precise efemerislerine göre yörünge oluşturulması veya yörünge iyileştirilmesi yapılabilmektedir.

Veri işleme kısmı, istasyonların ayrı ayrı kod verilerinin işlenmesi, çift frekansla faz ön veri işlenmesi gibi verilerin işlenmesinden oluşmaktadır.

Simulasyon kısmında, kod ve (veya) fazlar için (L1 veya L1 ve L2) simule edilmiş GPS ölçmeleri oluşturulabilmektedir.

Hizmet kısmı ise veri kütüklerinin görüntülenmesi, üzerlerinde değişikliklerin yapılması, düzeltmelerin görüntülenmesi, koordinat setlerinin karşılaştırılması gibi kullanıcıya hizmet eden işlemlerden oluşmaktadır.

Bernese 'in bir PC üzerinde çalıştırılabilmesi ve session (tek oturumdaki ölçü) veya kampanya çözümü yapabilmesi için aşağıdaki yazılım, donanım ve paket programlara ihtiyaç vardır (Rotacher 1993). Bunlar:

- DOS 3.3 ve yukarısı
- IBM PE-2 veya benzeri bir editör programı
- LAHEY OS/386 veya "Pharlap Extended Memory Operating System"
- LAHEY F7713 Fortran derleyicisi
- en az 100 Mb boş Harddisk (kampanyanın büyüklüğüne göre)

- en az 4 Mb RAM (kampanyanın büyüklüğüne göre)

Bernese yazılımının değişik değerlendirme alternatifleri sağlaması nedeniyle, farklı değerlendirme stratejileri farklı sonuçlar verecektir. Bu nedenle, öncelikle benzer çalışmalarda izlenen stratejiler ve öneriler araştırılmış ve uygulanmaya çalışılmıştır.

3.2 Değerlendirme Stratejisi

Çalışmada esas alınan 1990 ve 1992 GPS kampanya ölçüleri aşağıdaki adımlarla değerlendirilmiştir:

- Değerlendirmeye geçmeden önce program çalıştırılarak başlangıç ve bitiş tarihleriyle kampanya adı tanımlanmış, gerekli alt dizinler oluşturulmuştur. Yeni dizinler oluşturulduktan sonra session numaraları başlangıç ve bitiş saatleri ile tanımlanmıştır. Sessionların başlangıç ve bitiş saatleri gerçeğe yakın tutulmuştur. Sürenin geniş tutulması, gereğinden uzun yörüngelerin hesaplanmasına, dolayısıyla hesap süresinin uzamasına ve bilgisayarın kapasitesinin zorlanmasına neden olacaktır. Sürenin olması gerekenden daha kısa tutulmasında ise, yörüngelerin dışında kalan ölçülerin değerlendirilememesi durumu doğacaktır. Bunların olmaması için planlanan kayıt zamanının dışında her istasyonun bütün sessionlarına ait kayıt başlangıcı ve bitişini bulunmuş ve yörünge hesabı aşaması için hazır tutulmuştur.
- İstasyon ismi değiştirme tablosu, 2 ve 4 karakterli kısaltmalar tablosu, dışmerkezlik kütüğü, anten/alıcı tanım değiştirme tablosu ve koordinat kütüğü oluşturulduktan sonra ölçüler Rinex 'ten Bernese formatına dönüştürülmüştür.
- Yerkabuğu hareketlerinin incelenmesi gibi yüksek doğruluk isteyen çalışmalarda, bazların mümkün olabilen en yüksek doğruluklarda belirlenmesi gerekir. Bu da, mümkün olan en yüksek doğruluklu yörüngelerin kullanımını gerektirdiğinden 'Broadcast' efemerisleri (uyduların üç boyutlu koordinatları) yerine 'Precise' efemeris' ler kullanılmıştır (Askenazi 1989, Hermann 1992, Kato 1992). Projenin ortaklarından olan ETHZ' in kendi olanaklarıyla elde ettiği 1990 yılı için US DMA

ve 1992 yılı için IGS - CODE precise efemerislerinden yararlanarak yörüngeler oluşturulmuştur (Rotacher 1992, Rotacher 1993).

- Daha iyi yaklaşık koordinatların elde edilmesi ve uydu saat bilgilerinin bu kütüklerin içine yazılması için her sessiona ait SPP (Single Point Positioning) hesabı yapılmış ve ardından tek farklar oluşturulmuştur.
- Uydular kayıt sırasında 15° ile sınırlandırılmış olmasına rağmen hesaplarda bu değer 20° 'ye çıkarılmış ve troposfer, Saastamoinen modeli ile modellendirilmiştir.
- Taşıyıcı dalga etkileri sistemin orijin ve yönelmesinden bağımsız olduğu ve başlangıç faz bilinmeyenlerinin çözümü için koordinatı ITRF veya benzeri bir sistemde bilinmesini gerektirmediğinden ITAY (1) istasyon noktasının yaklaşık koordinatları için 1990 yılının 11 günlük SPP koordinatlarının ortalaması alınmıştır (Blewitt 1992). Günlük rölatif çözümler için sabit alınan 1 numaralı istasyonun dışındaki istasyonlardan session sayısı, kayıt süresi, kalitesi ve komşu istasyonlara olan uzaklıklar gibi faktörler göz önünde bulundurularak seçilen istasyon ile sabit istasyonun arasındaki baz doğrudan oluşturulmuştur (Illner 1993).
- Diğer istasyonlara ilişkin (alıcı sayısı-1) sayıdaki bağımsız baz da bu kriterlere göre oluşturulmuştur. Kısa bazlarda başlangıç faz bilinmeyenlerinin çözümü daha kolay olduğu için, mümkün olduğunca kısa bazlar oluşturulmaya çalışılmıştır. Uzun bazların kısa bazlara göre çözümünün daha zor olması atmosferik etkilerden, bazı uyduların ufkun üzerinde fazla kalmayarak bazın her iki ucundaki noktadan ilgili uydulara yeterli sayıda eş zamanlı ölçme yapılamamasından ve ölçülerdeki olası veri kayıplarından kaynaklanmaktadır. Sistemik yörünge hatalarının kendini 300 km 'nin üzerindeki bazlarda göstermeye başladığından ağda bu uzunluklarda baz oluşturulmamıştır (Dong 1989, Anderson 1992). Oluşturulan bazlar içinde en uzununu 224 km ile 308 ile 408 numaralı noktalar arasındadır. L2 frekans kaybı, uydu sayısı ve kayıt uzunluklarına ilişkin özet bilgiler Ek: A ve Ek: B' de gösterilmiştir. Ek A ve Ek B' de görülen kalın çizgiler grafik olarak uydu sayısını, bu kalın çizgilerin altındaki nokta ve çizgiler ise sinyal kesintilerini ifade etmektedir.

Baz oluşturulmasında önemli bir kriter olan uydulardan alınan kayıtlara ilişkin detaylı bilgilerin bir örneği aşağıda verilmiştir.

STATION: KKP TYP OF OBSERVATION: PHASE ZERO DIFFERENCE
 REFERENCE EPOCH : 1990- 9-12 22:13: 0.00 ONE CHARACTER = 6.50 MINUTES
 TOTAL NUMBER OF OBSERVATIONS: 3300

SVN	FRQ	#OBS	
2	L1	281	*****
2	L2	276	*****
6	L1	331	*****
6	L2	320	*****
9	L1	210	*****
9	L2	204	*****
11	L1	115	*****
11	L2	109	*****
12	L1	92	*****
12	L2	89	*****
13	L1	111	*****
13	L2	99	*****
14	L1	13	**
14	L2	12	**
16	L1	229	*****
16	L2	224	*****
18	L1	298	*****
18	L2	287	*****
		1515	74
		109134	173
		218236	283300
		336	

STATION: KTOP TYP OF OBSERVATION: PHASE ZERO DIFFERENCE
 REFERENCE EPOCH : 1990- 9-12 22:13: 0.00 ONE CHARACTER = 6.50 MINUTES
 TOTAL NUMBER OF OBSERVATIONS: 2538

SVN	FRQ	#OBS	
2	L1	231	*****
2	L2	132	*****
6	L1	289	*****
6	L2	275	*****
9	L1	111	*****
9	L2	106	*****
11	L1	115	*****
11	L2	111	*****
12	L1	63	* * *
12	L2	43	*****
13	L1	113	*****
13	L2	107	*****
16	L1	184	*****
16	L2	173	*****
18	L1	249	*****
18	L2	236	*****
		16	364960708697
		120	176195215233
		291	

STATION: TEBA TYP OF OBSERVATION: PHASE ZERO DIFFERENCE
REFERENCE EPOCH : 1990- 9-12 22:13: 0.00 ONE CHARACTER = 6.50 MINUTES
TOTAL NUMBER OF OBSERVATIONS: 2827

```
SVN FRQ #OBS
 2 L1 232| *****|
 2 L2 173| *****|
 6 L1 311| *****|
 6 L2 301| *****|
 9 L1 217| *****|
 9 L2 206| *****|
11 L1 27| *****|
11 L2 21| *****|
12 L1 101| *****|
12 L2 99| *****|
13 L1 117| *****|
13 L2 91| *****|
16 L1 204| *****|
16 L2 197| *****|
18 L1 270| *****|
18 L2 260| *****|

1 95 115 142 1952132332532712312
```

Buradaki grafiklerde, istasyon noktalarındaki verilere ilişkin temel bilgiler yer almaktadır. Bu grafiklerden L1 ve L2 frekansına ilişkin kayıt sayısı, toplam kayıt sayısı ve sürekli istasyon ile simulasyon durumu gibi bilgiler okunabilmekte ve aynı session içindeki kayıtlardan veri kalitelerine göre istasyon sıralaması yapılabilir. İlgili istasyon noktalarında veri başlangıcı ve bitimi anlamını taşıyan yıldızlar, referans epohuna (sürekli istasyondaki ilk kayıt) bağlı olarak istasyon noktaları arasındaki simulasyonu, ve ilgili sessionda kayıt sürelerini (örnekteki sessionda bir yıldız 6.5 dakikaya karşılık gelmektedir) göstermektedir. İlk örnekte KAP isimli istasyon L2 kaybının diğerlerinden daha az oluşu, referans istasyonuyla daha iyi simule olması ve diğer istasyonlarla baz oluşturulması durumunda en az veri kaybı oacağı için sürekli istasyon ve diğer istasyonlarla en iyi bağlantıyı sağlayacağı kanaatine varılacaktır.

- Ölçülerin değerlendirilmesindeki en önemli ve en çok zaman harcanan adım, bütün tek farklar kütüklerinin gözden geçirilerek zayıf (düzeltmesi büyük) ölçülerin temizlenmesi ve 'Cycle Slips' denilen faz sıçramalarının düzeltilmesi (Phase - Check) adımıdır. Bu adımda Bernese 'in sunduğu ikisi temel frekansa karşılık gelen L1 ve L2 dalga boyları ve üçü' de bu iki temel frekansın ve dalga boylarının lineer kombinasyonuna karşılık gelen L3, L4 ve L5 olmak üzere 5 farklı dalga vardır. Ölçülerin kalitesine, süresine, ağırlığının büyüklüğüne ve oluşturulacak bazların uzunluğuna göre kullanıcı bu frekansların değişik kombinasyonlarından

yararlanabilmektedir (Rotacher 1993). Her dalganın değişik üstünlükleri vardır (Bölüm 2.1). 'Phase Check' sonunda elde edilen sonuçlar ve doğruluklar, ölçülerin markalanmasındaki seçeneklerin fazla olması ve zayıf ölçülerin 'temizlenmesi' sırasında büyük sabır gerektirmesinden dolayı kişiden kişiye değişebilecektir. Değerlendirmelerde bütün sessionlarda bütün bazlar, üçlü farklar modunda önce L5 'te ardından L3 'te manuel yöntemle değerlendirilmiştir. Bu yöntemin en büyük avantajı, ölçülerin görülerek üzerinde işlem yapılabilmesidir. Otomatik yöntemde daha önce panellerle belirlenen standartlara göre faz sıçramaların ve zayıf ölçülerin temizleniyor olması, standart dışı (sorunlu) verilerin iyice bozulmasına ve hatta suni faz sıçramalarının üretilmesine neden olabilmektedir. Manuel yöntemin en büyük sakıncası ise zayıf ölçülerin temizlenmesi (markalanması) ve faz sıçraması olarak kabul edilen büyüklüklerin ölçülerden çıkarılmasının çok dikkat gerektiriyor olmasıdır. Emin olmadan yapılan bir markalama sonunda, yapılan işlemin doğru olmadığı anlaşıldığında, o aşamaya kadar ilgili dosyayla yapılan tüm hesapların tekrar edilmesini gerektirmektedir. Eğer dosyada yapılan değişiklikler kabul edildiyse, en başa dönülerek, 'zero difference' 'lerden başlamak üzere ilgili dosya tekrar oluşturulmalıdır. Bu adımda bazı dosyalardaki temizleme işleminin 3 - 4 saat sürdüğü düşünülürse 100' ün üzerinde olan dosyaların işlenmesinde sarf edilen zaman ve emek daha iyi anlaşılacaktır.

- L5 'in modellendirilemeyen sistematik hatalardan (yörünge hataları) aynı L1 gibi etkilenmesine rağmen L1 ($\lambda_{L1} = 19$ cm) dalga boyunun yaklaşık 4 katı ($\lambda_{L5} = 86$ cm) olması ve dolayısıyla sistematik hatalardan çok daha az etkileniyor olması ve dalga boyunun daha uzun olması nedeniyle başlangıç faz bilinmeyenlerinin çözümünü kolaylaştırması, L3 'ün de iyonosferik etkileri elimine etmesi ve başlangıç faz bilinmeyenlerinin çözümünü zorlaştıracak iyonosferi modellemekten kaçınılması dolayısıyla bu dalgalar tercih edilmiştir (Dong 1989, Blewitt 1990, Wübbena 1992). Verilerin süre olarak uzun ve problemlili, bazların da oldukça uzun olması ikinci bir tercih sebebi olmuştur. L5 'te bütün faz sıçramaları, L3 'te ise çoğunlukla 1 den büyük olan faz sıçramaları kabul edilmiş ve ortalamanın üç katını aşarak doğruluğu azaltan düzeltmelere karşılık gelen ölçüler markalanmıştır. Uzun (> 20 dakika) aralıklardan sonra karşılaşılan değerler hemen faz sıçraması

olarak kabul edilmemiş, ölçülerden dolayı olup olmadığı araştırılmıştır (Marel 1990).

- İlgili sessionlarda; bir uydudan 20 dakikadan daha kısa olan kayıtlar, başlangıç bilinmeyen (ambiguity) sayısını bir fazla artırıp çözüme sokulması ve çözümün zorlaştırılması yerine değerlendirme dışı bırakılmıştır. Böylece ilerdeki adımlarda doğabilecek bellek sorunları da (1990 ve 1992 kampanyaların değerlendirilmesi bölümlerinde açıklanacaktır) dikkate alınmıştır.
- Ölçüler iyileştirildikten sonra daha iyi yaklaşık koordinatlar elde etmek için SPP koordinatları kullanılarak L3 frekansında başlangıç faz bilinmeyenlerini çözmeden günlük çözümler yapılmıştır. Bu aşamadan sonra, ard arda yapılan bütün günlük çözümlerin sonunda elde edilen son yaklaşık koordinatlar kullanılmıştır. L5 frekansında günlük çözümler yapılmış, başlangıç faz bilinmeyenleri çözülerek kaydedilmiş ve ardından L3 çözümü gerçekleştirilmiştir. Her iki çözüm 1 numaralı noktaya göre rölatif yapılmıştır. Tam sayı faz bilinmeyenlerinin yanlış çözümü birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatasını arttıracak için faz bilinmeyenlerinin tam sayıya çözmeden önceki karesel ortalama hatalar ile çözüm sonrası karesel ortalama hatalar karşılaştırılmıştır (Jivall 1992).
- Tam sayıya çözülemeyen tam sayı faz bilinmeyenlerinin hangi uyduya ve hangi baza ait oldukları bulunmuş, faz bilinmeyenleri çözülen bazla çözülemeyen aynı baz tekrar birlikte hesaplanmış, başlangıç faz bilinmeyenlerinden bir veya birkaç çözümsüz kalan bazlar tek bir session ölçülmüşse tek başlarına değerlendirilip sonuçlar irdelenmiştir. Ağ dizaynının başlangıç faz bilinmeyenlerinin çözümüne olan etkisinden çok, aynı bazın iki veya üç session oluşturulması, başlangıç faz bilinmeyenlerinin çözümüne büyük ölçüde katkı sağlamıştır (Blewitt 1990).
- Başlangıç faz bilinmeyenlerinin çözülmesi bazların yataydaki doğu - batı yönündeki bileşenlerini doğrudan etkilemektedir (Dong 1989). Günlük çözümlerin ardından çözümsüz kalan ambiguitilerin bazılarını çözmek ve günlük çözümleri birleştirmek için tüm sessionları içeren tümünden serbest çözüm gerçekleştirilerek serbest koordinatlar elde edilmiştir (Wellenhof 1989). Başlangıç faz

bilinmeyenlerin çözümüne ilişkin daha detaylı bilgi, ölçme kampanyalarının değerlendirilmesi başlıklarında açıklanacaktır.

3.3 1990 Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Sessionların, bütün ölçüleri kapsayacak şekilde tanımlanmasından sonra, Rinex dosyasından ölçülen 47 noktaya ilişkin koordinat listesi oluşturularak ölçüler Bernese formatına dönüştürülmüştür. Daha sonra US DMA precise efemerislerinden ilki 4, ikincisi 3 ve üçüncüsü 4' er günlük yaylardan oluşan yörüngeler hesaplanmış, SPP hesabı yapılarak tek farklar oluşturulmuştur. Mümkün olan en uzun yörüngeyi hesaplamak, her bir yörünge için gerekli olan parametreleri azaltacağından uygun görünmesine rağmen uzun yörüngeleri modellendirilemeyen kuvvetler daha fazla etkilemektedir. Bu etkiyi azaltmak için ölçme zamanı içinde kalan yörünge yaklaşık üç eşit parçaya bölünmüştür (Beutler 1989). 'Phase Check' aşamasında 103 kenara ilişkin 103122 adet ölçüden (= çift farklar (Beutler 1987, Beutler 1989, Genrich 1992)) Cycle Slipler temizlenmiş, zayıf ölçüler markalanmıştır. 208 numaralı nokta zayıf ve yetersiz veri nedeniyle değerlendirme dışı bırakılmıştır. Ölçülere ilişkin grafikler Ek A' da verilmiştir. Ardından günlük ve tümünden çözümlerin yapıldığı GPSEST programının çalıştırılmasına geçilmiştir. Programın çalıştırılmasında karşılaşılan zorluklar şunlar olmuştur:

GPSEST ana programının ve alt programlarının içinde tanımlanan boyutlarla ilgili parametreler (en fazla epoh sayısı, oluşturulan baz sayısı, session sayısı, istasyon sayısı, uydu sayısı gibi bilgilere ilişkin parametreler), değerlendirilecek kampanyaya uygun olmadığından hemen çalıştırılamamıştır. Bu parametrelerden bazıları gereğinden büyük bazıları da gereğinden küçük kaldığı için küçük kalan parametreler gereği kadar büyütülmüştür. Ancak, belleğin gereğinden büyük parametrelerin azaltılmasına rağmen yine de yetersiz kalmasıyla, bilgisayarın kapasitesi zorunlu olarak 8 RAM' dan 16 RAM'a yükseltilmiştir.

Başlangıç faz bilinmeyenlerin sayısı ve günlük çözümlerin sonunda ambiguity çözümlerine ilişkin bilgiler Tablo 3.1' de özetlenmiştir.

Tablo 3.1: 1990 kampanyası başlangıç faz bilinmeyenlerin çözüm sonuçları

Gün	L3 ambiguity sayısı		% olarak
	Toplam	Çözülen	
1	68	67	99
2	62	59	95
3	71	69	97
4	68	67	99
5	69	67	97
6	66	65	98
7	61	60	98
8	61	61	100
9	60	60	100
10	59	58	98
11	24	23	96
Toplam	669	656	98

Çözumsuz kalan 13 faz bilinmeyen beşi (% 38), Bölüm 3.2 'de anlatıldığı gibi, ikisi de tümünden çözüm sırasında çözülerek 669 'dan 663 tanesi (%99) tam sayı olarak çözülmüştür.

1990 kampanyasının değerlendirilmesi sonucunda elde edilen koordinatlar Tablo 3.2 de verilmiştir.

Tablo 3.2:1990 kampanyası sonucunda elde edilen koordinatlar

NO	İSİM	X (m)	Y (m)	Z(m)
001	ITAY	4208814.4929	2334871.7444	4171265.6435
101	YENİ	4292490.3054	2224329.2828	4146730.6883
102	SARK	4313369.9004	2207308.6279	4134159.9481
103	HEMI	4304502.6390	2172752.2538	4161512.0681
104	DOKU	4323348.4672	2175024.0665	4140612.5848
105	KVAK	4325962.0175	2191960.2450	4128891.9865
106	SEVK	4338837.3282	2199288.4299	4111599.5326
201	TEBA	4179346.0554	2491832.7244	4111338.1880
202	PINA	4166246.9713	2489710.2566	4125505.9333
203	BOZT	4174396.5882	2476516.9956	4125239.6082
204	KTOP	4171886.3581	2470990.2613	4130144.9871
205	AKTE	4170054.8208	2468886.7951	4133194.8093
206	KKAP	4170270.5915	2471725.8687	4131223.7980

Tablo 3.2: (Devam)

NO	İSİM	X (m)	Y (m)	Z(m)
207	KMAL	4165600.7040	2477766.8177	4133936.9126
208	KZIM	4155357.6767	2468643.1413	4148260.0758
209	KDER	4156518.8238	2480397.7322	4140571.6830
301	EZIN	4399408.7011	2175978.1846	4059761.9080
302	KRKT	4407083.0564	2170035.1316	4054737.5656
303	KEST	4408899.1997	2165324.8906	4055086.0173
304	BDER	4415200.0906	2171538.2438	4045226.0492
305	AMAN	4426444.1314	2166723.3039	4035479.7386
306	HOBİ	4404365.5975	2199302.8991	4042433.7705
307	KCAM	4392681.9649	2212394.4715	4049206.2112
308	AYVA	4413445.7082	2220439.0926	4020485.2944
309	EGMI	4375870.2991	2255594.8455	4042029.2866
401	OLUK	4213370.7423	2392084.8772	4134708.3283
402	DERB	4228627.5866	2410142.8099	4109045.4051
403	HMZA	4247827.7159	2404653.8749	4092103.3503
404	CATA	4256184.4477	2384650.8054	4095181.8413
405	GIRE	4287135.9683	2368826.6915	4072326.0214
406	YIGİ	4267958.8769	2368070.2683	4093036.0529
407	ZEYA	4264876.5324	2374850.4745	4092557.9192
408	ULUD	4267666.9333	2375544.4585	4090593.5516
409	DTAS	4258061.9562	2370578.1547	4101038.4171
410	HAGA	4278036.6977	2349792.3047	4092341.9161
411	IGDI	4254626.6132	2377854.3289	4100427.4207
412	GEMİ	4244682.3399	2367030.0187	4117206.7138
413	GAZİ	4210375.4388	2374613.5829	4147650.3677
414	YUHE	4202720.3041	2390906.2953	4146116.2717
501	ALAN	4356882.9119	2260754.2489	4060031.8118
502	KİRE	4358147.0629	2241460.6512	4069860.9853
503	BAHA	4361214.8394	2213546.4064	4080649.8944
504	ARAK	4340293.4488	2231968.6309	4092544.0631
505	KABİ	4323472.1493	2231625.7889	4110334.6467
506	UKİR	4319310.8948	2260902.7273	4098901.3767
507	KOCB	4326029.6439	2277328.9865	4083231.8226
508	ERDE	4302026.0216	2269769.3126	4111979.7181

3.4 1992 Kampanyası Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Sessionlar, yine bütün ölçüleri kapsayacak şekilde tanımlanmış, Rinex dosyasından ölçülen 53 noktaya ait dosyalar Bernese formatına dönüştürülmüştür. 1990 yılından 1992 yılına uydu sayısı, epoch sayısı v.b. parametrelerin artmasından dolayı bütün programlar tek tek gözden geçirilerek ilgili parametrelerin boyutlarında değişiklikler yapıldıktan sonra değerlendirme işlemine geçilmiştir. Daha sonra IGS - CODE precise efemerislerinden 3 adet 4 er günlük yaylardan oluşan yörüngeler hesaplanmış, SPP hesabı yapılmış ve oluşturulan tek farklardan sonra 1990 ölçülerinde olduğu gibi 'Phase Check' işlemi gerçekleştirilmiştir. 1990 yılında ölçülen 47 noktanın yaklaşık koordinatları aynı alınıp, 1990 yılından sonra tesis edilmiş olan 6 yeni noktaya ilişkin yaklaşık koordinatlar SPP çözümlerinin ortalaması olarak alınmıştır. Bu kampanyada ölçülerin kötü olması nedeniyle değerlendirme oldukça zor ve çok zaman alıcı olmuştur. Oluşturulan 152 kenara ilişkin 165276 adet ölçüden (çift farklar) yine 1990 yılı ölçülerindeki gibi Cycle Slipler temizlenmiş ve zayıf ölçüler markalanmıştır. Ölçülere ilişkin histogramlar Ek B'de verilmiştir.

Başlangıç faz bilinmeyenlerin sayısı ve günlük çözümlerin sonunda başlangıç faz bilinmeyeni çözümlerine ilişkin bilgiler Tablo 3.3' te özetlenmiştir.

Tablo 3.3: 1992 kampanyası başlangıç faz bilinmeyenlerin çözüm sonuçları

Gün	L3 ambiguity sayısı		% olarak
	Toplam	Çözülen	
1	114	98	86
2	118	104	88
3	122	98	80
4	124	116	94
5	127	107	84
6	139	115	83
7	141	124	88
8	130	114	88
9	137	130	95
10	120	107	89
11/12	131	126	96
Toplam	1403	1239	88

Çözüksüz kalan 164 faz bilinmeyenin 86 'sı (% 52) Bölüm 3.2 'de anlatıldığı gibi, 1 tanesi de tümünden çözüm sırasında çözülerek 1403 'ten 1326 tanesi (%95) tam sayıya olarak çözülmüştür.

1992 kampanyasının değeriendirilmesi sonucunda elde edilen koordinatlar Tablo 3.4' de verilmiştir.

Tablo: 3.4: 1992 kampanyası sonucunda elde edilen koordinatlar

NO	İSİM	X (m)	Y (m)	Z (m)
001	ITAY	4208814.0171	2334874.1709	4171265.8248
101	YENİ	4292490.5733	2224331.6878	4146729.0102
102	SARK	4313373.3698	2207313.0094	4134155.1596
103	HEMI	4304502.1258	2172754.6655	4161512.2085
104	DOKU	4323347.9575	2175026.4790	4140612.7112
105	KVAK	4325961.4900	2191962.6258	4128892.0966
106	SEVK	4338836.8552	2199290.8240	4111599.6827
201	TEBA	4179347.4163	2491826.6206	4111340.2657
202	PINA	4166246.5001	2489712.6412	4125506.1117
203	BOZT	4174396.1154	2476519.3877	4125239.7841
204	KTOP	4171885.9038	2470992.6732	4130145.1733
205	AKTE	4170054.3132	2468889.1967	4133194.9717
206	KKAP	4170270.1145	2471728.2640	4131223.9684
207	KMAL	4165600.2398	2477769.2223	4133937.0896
208	KZIM	4155355.6388	2468642.1002	4148256.9869
209	KDER	4156518.3457	2480400.1414	4140571.8639
301	EZIN	4399408.1809	2175980.5647	4059762.0073
302	KRKT	4407082.5025	2170037.5024	4054737.6501
303	KEST	4408898.6667	2165327.2715	4055086.1033
304	BDER	4415199.5383	2171540.6121	4045226.1177
305	AMAN	4426443.5795	2166725.6701	4035479.8068
306	HOBİ	4404365.0534	2199305.2634	4042433.8504
307	KCAM	4392681.4332	2212396.8373	4049206.2957
308	AYVA	4413445.1764	2220441.4650	4020485.3908
309	EGMI	4375869.7923	2255597.2215	4042029.3958
401	OLUK	4213370.2503	2392087.2734	4134708.4901
402	DERB	4228627.0723	2410145.1800	4109045.5500
403	HMZA	4247827.2482	2404656.2737	4092103.5176
404	CATA	4256183.9886	2384653.2132	4095182.0195

Tablo 3.4: (Devam)

NO	İSİM	X (m)	Y (m)	Z (m)
405	GIRE	4287135.4634	2368829.0675	4072326.1623
406	YIGI	4267958.3847	2368072.6605	4093036.2179
407	ZEYA	4264876.0486	2374852.8535	4092558.0842
408	ULUD	4267666.4983	2375546.8757	4090593.7655
409	DTAS	4258061.4842	2370580.5545	4101038.5938
410	HAGA	4278036.2300	2349794.6965	4092342.0911
411	IGDI	4254626.1518	2377856.7365	4100427.5979
412	GEML	4244681.8562	2367032.4098	4117206.8791
413	GAZI	4210375.0404	2374615.8123	4147650.5309
414	YUHE	4202719.8212	2390908.7144	4146116.4457
501	ALAN	4356882.3798	2260756.6233	4060031.9180
502	KIRE	4358146.5711	2241463.0341	4069861.1017
503	BAHA	4361214.3239	2213548.7821	4080649.9924
504	ARAK	4340292.9541	2231971.0072	4092544.1766
505	KABI	4323471.6653	2231628.1892	4110334.7962
506	UKIR	4319310.4215	2260905.1099	4098901.5178
507	KOCB	4326029.1438	2277331.3656	4083231.9548
508	ERDE	4302025.5545	2269771.7005	4111979.8692
415	CINA	4233302.6870	2360401.6072	4132233.6112
311	D5DU	4403211.9606	2254438.5085	4013834.3655
312	D7DU	4380853.4341	2289299.3591	4017955.4660
310	ESEN	4426455.6916	2244203.2316	3993380.5020
002	IKAN	4209624.1322	2339577.5081	4167866.2969
107	MAER	4259824.1338	2261175.6616	4159984.0524

4. DEĞERLENDİRME SONUÇLARININ ANALİZİ

Deformasyon ağıları, belirlenecek olan dinamik parametrelere göre (deformasyon vektörü, strain tensörü elemanları veya her ikisi birden) tasarlanmalıdır (Xu 1995). Marmara GPS ağında deformasyon vektörleri ile strain parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ancak matematiksel bir optimizasyon çalışması yapılmamıştır.

4.1 Mevcut Verilerin Durumu ve Analiz Yöntemlerinin Seçimi

Bölüm 3' teki çalışmalarda, Marmara ağının kapalı geometrik şekiller oluşturacak biçimde değerlendirilmesine çalışılmış, ancak ölçme planlamasındaki bütün dikkate rağmen oluşan veri kayıpları buna olanak vermemiştir. Ağın bir bütün olarak değerlendirilmesi doğruluk açısından zorunlu olmuştur.

İki peryod ölçü ayrı ayrı değerlendirildikten sonra, Bernese yazılımı ile tüm ölçülerin birlikte değerlendirilmesi olanakları araştırılmıştır. Ancak iki peryotta ağın geometrisinin ve ölçü planının değişmiş olması, toplam verinin büyüklüğü gibi nedenlerle birlikte değerlendirme yapılamamıştır.

Analizi yapılacak veri olarak; büyük bir kısmı ortak noktalardan oluşan (43 ortak nokta, 10 ayrı nokta) iki ağın üç boyutlu nokta koordinatları ve bunların varyans - kovaryans matrisleri mevcuttur. Bundan sonraki çalışmalar bu nitelikteki verinin değerlendirilmesine yöneliktir. Bu bağlamda analizlerde,

- i.) mümkün olduğunca üç boyutlu analiz yöntemlerinin kullanılması
- ii.) Straub 1996' daki çalışmalardan farklı analizlerin yapılarak sonuçların karşılaştırılmasının sağlanması
- iii.) bulunan sonuçların istatistik testlerinin yapılabilir olması

ilkeleri esas alınmıştır.

Yukarıdaki kısıtlamalar ve yönelmeler burada bazı varsayımları zorunlu hale getirmiştir.

Dengeleme hesabının matematik modelinin ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkilere uygun olup olmadığı, ölçülerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıtır yansıtmadığı Model Hipotez Testi yoluyla denetlenmelidir. Bu çalışmada, ölçülere ve kullanılan Bernese programına müdahale edilemediğinden Bernese programının matematik modelinin test edilmesi yoluna gidilmemiş ve klasik ölçülerin dengelenmesi sonucunda geçerli olması gereken Model Hipotez Testi bağıntılarının geçerliliği üzerine bir araştırma yapılmamış, GPS tekniği ile elde edilen verilerin Bernese yazılımı kullanılarak mümkün olan en yüksek doğrulukla değerlendirilmesi ve bu programın sonuçları ile analizinin nasıl yapılabileceği araştırılmıştır.

Yerkabuğu hareketlerinin ve mühendislik yapılarındaki deformasyonların belirlenmesi için kurulan ağlarda belirli aralıklarla tekrar ölçmeleri yapılmaktadır. Fakat tekrar ölçmeleri arasında bu çalışmada olduğu gibi uzun zaman geçebileceği düşünülürse, ağda yeni nokta tesisleri, nokta kayıpları veya ölçme alet ve donanımlarında değişiklikler olabilecektir. Bu değişiklikler de, periyotlar arası ağ konfigürasyonunun ve gözleme planının değiştirilmesini zorunlu kılacaktır. Nokta eksilmesi karşılaştırılacak nokta sayısını azalttığı, dolayısıyla kayıp noktaların temsil ettiği bölgenin davranışının incelenmesini zorlaştırdığı için arzu edilmemesine rağmen pratikte çoğu zaman kaçınılmaz bir durumdur. Ancak bu hususlar göz önünde tutulduğunda, deformasyon analizi genel olarak kullanılabilirlik kazanacaktır (Niemeier 1980 b, Niemeier 1985 b).

Marmara bölgesinde, ölçme periyodu aralığında signifikant bir deformasyonun olup olmadığı, varsa bu deformasyon vektörlerinin yerleri, büyüklükleri ve yönleri ile deformasyon alanındaki lokal gerilimlerin belirlenmesine yönelik olarak,

- iki periyot arasında ağda global olarak bir yerdeğiştirmenin olup olmadığını belirlemek amacıyla dönüklük, benzerlik ve özdeşlik testleri

- iki peryod değerlendirmesinden bulunan koordinatların S - transformasyonu ile müsterek bir datuma dönüştürülmesinden sonra koordinat karşılaştırılması ve deformasyon vektörlerinin belirlenmesi esasına dayanan deformasyon analizi
- iki peryoddaki koordinatlardan yararlanarak sonsuz küçük gerilimlerinin belirlenmesi esasına dayanan strain analizi

çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

4.2 Üç Boyutlu Ağlarda Dönüklük, Benzerlik ve Özdeşlik Testleri (Ön Analiz)

Bölgesel kabuk hareketlerini belirlemek için jeodezik ağlar sismik yönden aktif bölgelerde kurulmaktadır. Bu ağların kurulmasındaki temel amaç, deformasyonları ve strain büyüklüklerini prezisyonlu ve güvenilir şekilde elde etmektir. Çoğu zaman da oluşturulan ağın bir bölümünde deformasyon ve strain beklenmektedir. Bu durumda deformasyonun, ağın neresinde (hangi noktalarda) beklendiği veya neresinde beklenmediği ön bilgi olarak (örneğin jeolojik açıdan) bilinmeli ve ağ tesis edilirken noktaların yerleri ona göre seçilmelidir. Nokta seçimi için bir diğer önemli konu da, kontrol ağında strain büyüklükleri mi yoksa deformasyon vektörleri mi belirlemek isteniyor olmasıdır (Johnson 1994, Xu 1995).

Üç boyutlu bir cisme kuvvet uygulandığında veya kütle içi kuvvetler söz konusu olduğunda cisim deforme olacaktır ve gerilim (strain) alanı oluşacaktır. Strain alanı mevcut ise yer değiştirmenin meydana geleceği bilinmelidir. Strain alanı da hareketli bölge biliniyorsa hesaplanabilecektir. İleriki bölümlerde açıklanacak olan hareketli noktalarla hareketsiz noktaların birbirlerinden ayrılması, hareketli noktalarda deformasyon ve strain analizinden önce, ağda genel olarak strain ve dolayısıyla yer değiştirme ve dönme olup olmadığı araştırılmıştır.

4.2.1 Testlerin temel bağıntıları

Testlerin esası üç boyutlu afin dönüşümünün temel eşitliklerine dayanır. Jeodezik ağın iki peryoddaki elde edilen nokta koordinat farkları, afin dönüşümünün dönüşüm parametreleri veya strain tensörü elemanları olarak ifade edilebilir.

Ağın bir noktası için koordinat farkı vektörü

$$\underline{U}_i = \begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{bmatrix}_i \quad (4.1)$$

olarak alınır;

$$\underline{U}_i + \underline{v}_i = \underline{B}_i \underline{d} \quad (4.2)$$

yazılabilir. Burada

$$\underline{B}_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & y_{i0} & z_{i0} & 0 & x_{i0} & 0 & 0 & y_{i0} & z_{i0} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -x_{i0} & 0 & z_{i0} & 0 & y_{i0} & 0 & x_{i0} & 0 & z_{i0} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -x_{i0} & -y_{i0} & 0 & 0 & z_{i0} & 0 & x_{i0} & y_{i0} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

ve x_0, y_0, z_0 koordinatların ağırlık merkezi olmak üzere

$$x_{i0} = x_i - x_0 \quad (4.4a)$$

$$y_{i0} = y_i - y_0 \quad (4.4b)$$

$$z_{i0} = z_i - z_0 \quad (4.4c)$$

$$\underline{d}^T = [u_0, v_0, w_0, \omega_{xy}, \omega_{xz}, \omega_{yz}, \epsilon_{xx}, \epsilon_{yy}, \epsilon_{zz}, \gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}] \quad (4.5)$$

“sabit bilinmeyen vektör” olacaktır. Bu vektörün bileşenleri;

u_0, v_0, w_0 ötelenme bilinmeyenleri

$\omega_{yz}, \omega_{xz}, \omega_{xy}$ sırasıyla x, y, z eksenlerinin dönüklüklerini

$\epsilon_{xx}, \epsilon_{yy}, \epsilon_{zz}$ normal gerilmeleri

$\gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$ kesme gerilmeleri

olur. İki periyod ortak ağ noktalarının tümü için (4.2) eşitliği yazılabilir ve sabit bilinmeyen vektörü $\underline{d}$;

$$\underline{d} = [\underline{B}^T \underline{C}_{uu}^{-1} \underline{B}]^{-1} \underline{B}^T \underline{C}_{uu}^{-1} \underline{U} \quad (4.6)$$

$$\underline{C}_{uu}^{-1} = (\underline{C}_1 + \underline{C}_2)^{-1} \quad (4.7)$$

ve varyans - kovaryans matrisi

$$\underline{C}_{\hat{d}} = [\underline{B}^T \underline{C}_{uu}^{-1} \underline{B}]^{-1} \quad (4.8)$$

olarak bulunur. Her iki peryod' da ağ benzer ise

$$H_0 : e_{xx} = e_{yy} = e_{zz} \quad \text{ve,} \quad (4.9a)$$

$$H_0 : \gamma_{xy} = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0 \quad (4.9b)$$

hipotezi geçerli olmalıdır.

Üç boyutlu ağ için;

$$\gamma_1 = e_{yy} - e_{xx} \quad (4.10)$$

$$\gamma_2 = \gamma_{xy} \quad (4.11)$$

$$\gamma_3 = e_{zz} - e_{yy} \quad (4.12)$$

$$\gamma_4 = \gamma_{xz} \quad (4.13)$$

$$\gamma_5 = e_{xx} - e_{zz} \quad (4.14)$$

$$\gamma_6 = \gamma_{yz} \quad (4.15)$$

$$\underline{e}^T = [e_{xx}, e_{yy}, e_{zz}, \gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}] \quad (4.16)$$

$$\underline{\mathbf{F}} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

$$\gamma = \underline{\mathbf{F}} \mathbf{e} \quad (4.18)$$

$$\underline{\mathbf{C}}_{\gamma} = \underline{\mathbf{F}}^T \underline{\mathbf{C}}^{-1} \underline{\mathbf{F}} \quad (4.19)$$

ile tanımlanan “saf kesme gerilimleri” ($\gamma_1, \gamma_3, \gamma_5$) ve “mühendislik kesme gerilimleri” ($\gamma_2, \gamma_4, \gamma_6$),

$$T_{\text{benzerlik}} = \gamma^T \underline{\mathbf{C}}_{\gamma}^{-1} \gamma \quad (4.20)$$

test istatistiği ile test edilebilir. Burada $T_{\text{benzerlik}}$, χ^2 dağılımlı ve 6 serbestlik derecelidir. Eğer;

$$T_{\text{benzerlik}} < \chi^2(6, 1 - \alpha) \quad (4.21)$$

ise benzerlik kabul edilir. Bundan sonra özdeşlik testi uygulanabilir. Üç boyutlu özdeşlik testi,

$$T_{\text{özdeşlik}} = \mathbf{e}^T \underline{\mathbf{C}}^{-1} \mathbf{e} \quad (4.22)$$

olur. $T_{\text{özdeşlik}}$ yine χ^2 dağılımlı ve 6 serbestlik derecelidir. Eğer;

$$T_{\text{özdeşlik}} < \chi^2(6, 1 - \alpha) \quad (4.23)$$

ise özdeşlik kabul edilir.

$\underline{\omega}^T = [\omega_{xy}, \omega_{xz}, \omega_{yz}]$ dönüklükleri ise, $\underline{\mathbf{U}} = \underline{\mathbf{0}}$ olmak üzere

$$T_{\text{dönüklük}} = (\underline{\mathbf{U}} - \underline{\omega})^T \underline{\mathbf{C}} \omega^{-1} (\underline{\mathbf{U}} - \underline{\omega}) \quad (4.24)$$

test büyüklüğü ile test edilebilir (Wells 1971, Harvey 1990).

Burada uygulanan benzerlik ve özdeşlik testlerinin klasik uygulamalarda kullanılan diğer testlerden daha güçlü olduğu ifade edilmektedir (Xu 1995, Mierlo 1997).

4.2.2 Marmara ağında dönüklük, benzerlik ve özdeşlik testlerinin sonuçları

Tablo 3.2' deki 1990 koordinatları ve Tablo 3.4' deki 1992 koordinatları farklarından Bölüm 4.2.1 deki esaslara göre yapılan değerlendirmeler aşağıda özetlenmiştir. Sabit bilinmeyen vektörü;

$$\hat{\underline{d}}^T = \begin{bmatrix} u_0 \pm mu_0 \\ v_0 \pm mv_0 \\ w_0 \pm mw_0 \\ \omega_{xy} \pm m\omega_{xy_0} \\ \omega_{xz} \pm m\omega_{xz_0} \\ \omega_{yz} \pm m\omega_{yz_0} \\ \varepsilon_{xx} \pm m\varepsilon_{x_0} \\ \varepsilon_{yy} \pm m\varepsilon_{y_0} \\ \varepsilon_{zz} \pm m\varepsilon_{z_0} \\ \gamma_{xy} \pm m\gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \pm m\gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \pm m\gamma_{yz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.49619 \pm 0.00266m \\ 2.39137 \pm 0.00188m \\ 0.13811 \pm 0.00200m \\ 1.2837E-6 \pm 6.3394E-7rad \\ 2.5367E-7 \pm 9.5938E-7rad \\ -1.0514E-6 \pm 5.7231E-7rad \\ 0.0057\mu s \pm 0.0015\mu s \\ 0.0004\mu s \pm 0.0005\mu s \\ 0.0054\mu s \pm 0.0019\mu s \\ 0.0019\mu s \pm 0.0006\mu s \\ 0.0055\mu s \pm 0.0010\mu s \\ 0.0020\mu s \pm 0.0006\mu s \end{bmatrix}$$

Dönüklük için test istatistiği;

$$T_{\text{dönüklük}} = 1.928E-6$$

Benzerlik için test istatistiği;

$$T_{\text{benzerlik}} = 1.867E-11$$

Özdeşlik için test istatistiği

$$T_{\text{özdeşlik}} = 16.3119$$

olarak hesaplanmıştır.

$T_{\text{dönüklük}}$ 'nin $\chi^2(3, .95)$ ve $T_{\text{benzerlik}}$ ile $T_{\text{özdeşlik}}$ değerlerinin de $\chi^2(6, .95)$ tablo değeri ile karşılaştırıldığında;

$$1.928E-6 < 7.815$$

$$T_{\text{dönüklük}} < \chi^2(3, .95) \quad ;$$

$$1.867E-11 < 12.592$$

$$T_{\text{benzerlik}} < \chi^2(6, 0.95) \quad ;$$

$$16.3119 > 12.592$$

$$T_{\text{özdeşlik}} > \chi^2(6, .95)$$

sonuçlar ortaya çıkar. Bu sonuçlar, iki ağ arasında signifikant bir dönüklüğün olmadığını, ağların benzer olduğunu fakat bir deformasyon sonucu özdeş olmadığını göstermiştir.

4.3 S - Transformasyonu İle Deformasyon Analizi

4.3.1 S - transformasyonu

Jeodezik ağların serbest dengelenmesi çoğu kez tüm iz minimum olacak şekilde yapılmaktadır. Ağın datumunu bütün noktalar değil de bazı noktaların belirlemesi istenirse, kofaktörler matrisinin ilgili noktalarına karşılık gelen izinin ve x bilinmeyenler vektörünün normunun minimum olacak şekilde ağın tekrar serbest dengelenmesi gerekir. Eğer tüm iz minimum şeklinde serbest dengeleme sonunda kofaktörler matrisi ve x bilinmeyenler vektörü varsa, tekrar dengeleme yerine ağ istenen datuma S - transformasyonu ile yerleştirilerek karşılaştırılacak ağlarla datum birliği sağlanabilir. S - transformasyonu 1944 yılında W. Baarda tarafından geliştirilmiş ve bir çok yayınlarda (örneğin Baarda 1981) açıklanmıştır. S - transformasyonu ile $\underline{x}$ vektörü ve Q_{xx} matrisleri, tanımlanmış S_i referans sisteminde $\underline{x}^i$ vektörü ve Q_{xx}^i matrislerine dönüştürme, buradan da anlaşılacağı gibi, S - transformasyonu yeni bir dengelemeye gerek olmadan herhangi bir datumdan başka bir datuma dönüştürme işlemidir (Illner 1983, Zaiser 1984, Niemeier 1985 a., Demirel 1987).

Bu çalışmada, deformasyon analizi önce iki boyutta sonra da üç boyutta yapılmıştır. Her ne kadar iki boyutlu analizin sonuçları çalışma bölgesinin tektonik özelliklerine uyum gösterdiysede, analizde, eldeki üç boyutlu sonuçların irdelenmesinin ve daha az varsayımlarda bulunulmasının jeodezik temellere daha uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

İki boyutlu analizden önce nokta koordinatları ve katsayılar matrisi aşağıdaki eşitliklerle lokal (yerel) sisteme dönüştürülmüştür.

$$x_0 = (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \quad (4.25)$$

$$y_0 = (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \quad (4.26)$$

$$z_0 = [(N (1 - e^2) + h) \sin \varphi] \quad (4.27)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \\ z_i - z_0 \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ h \end{bmatrix} = \underline{R}(\varphi, \lambda) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (4.30)$$

Burada x_0 , y_0 , z_0 büyüklükleri koordinatların ağırlık merkezi, φ ve λ bu ağırlık merkezinin elipsoid koordinatları, n , e ve h noktaların ağırlık merkezine göre sistemin lokal koordinatlarıdır. Varyans - kovaryans dönüşümü yine bu $\underline{R}$ matrisinden

$$\underline{\Sigma}_{n, e, h} = \underline{R} \underline{\Sigma}_{x, y, z} \underline{R}^T \quad (4.31)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Bundan sonraki iki boyutlu notasyonlarda n ve e yerine x ve y kullanılacaktır.

Dengeleme sonuçlarının k datumundan i datumuna genel transformasyon eşitlikleri

$$\underline{Q}_i = \underline{S}_i \underline{Q}_k \underline{S}_i^T \quad \text{ve} \quad (4.32)$$

$$\underline{x}_i = \underline{S}_i \underline{x}_k \quad (4.33)$$

olmaktadır.

İki boyutlu ağlarda

$$\underline{G}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 & 1 \\ -\bar{y}_{10} & \bar{x}_{10} & -\bar{y}_{20} & \bar{x}_{20} & \dots & -\bar{y}_{m0} & \bar{x}_{m0} \\ \bar{x}_{10} & \bar{y}_{10} & \bar{x}_{20} & \bar{y}_{20} & \dots & \bar{x}_{m0} & \bar{y}_{m0} \end{bmatrix}; \quad (4.34)$$

ve üç boyutlu ağlarda

$$\underline{G}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\bar{z}_{10} & \bar{y}_{10} & \dots & 0 & -\bar{z}_{m0} & \bar{y}_{m0} \\ \bar{z}_{10} & 0 & -\bar{x}_{10} & \dots & \bar{z}_{m0} & 0 & -\bar{x}_{m0} \\ -\bar{y}_{10} & \bar{x}_{10} & 0 & \dots & -\bar{y}_{m0} & \bar{x}_{m0} & 0 \\ \bar{x}_{10} & \bar{y}_{10} & \bar{z}_{10} & \dots & \bar{x}_{m0} & \bar{y}_{m0} & \bar{z}_{m0} \end{bmatrix} \quad (4.35)$$

I birim matris, E_i datumu belirlemesi istenen noktalara köşegen üzerinde 1, diğer elemanları 0 olan datum seçici matris

$$\underline{E}_i = \begin{bmatrix} \underline{0} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{I} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{0} & \underline{0} \end{bmatrix} \quad (4.36)$$

olmak üzere $\underline{S}_i$ transformasyon matrisi

$$\underline{S}_i = \underline{I} - \underline{G}(\underline{G}^T \underline{E}_i \underline{G})^{-1} \underline{G}^T \underline{E}_i \quad (4.37)$$

olmaktadır. Eşitliklerdeki $\bar{x}_i$, $\bar{y}_i$, ve $\bar{z}_i$ değerleri datum noktalarının ağırlık merkezine ötelenmiş koordinatlarıdır. Numerik hesaplamayı kolaylaştırmak için (4.35)'deki matris $(\underline{G}^T \underline{G})^{-1/2}$ ile normlandırılmalıdır. Eşitliklerden de anlaşılacağı gibi $\underline{S}$ matrisi

oluşturulurken k datumunu bilmek gerekmemektedir. Önemli olan her iki ağın iç geometrisinin değiştirilmemiş olmasıdır (Strang van Hees 1982, Illner 1983, Illner 1985, Niemeier 1985 a, Caspary 1987, Welsch 1993, Başkaya 1995).

Klasik üç boyutlu ağlarda dış parametrelere bağlı olarak datum defekt sayısı 7 olabilmesine rağmen GPS ağlarında bu sayı 3 eksen doğrultularındaki ötelemeye karşılık 3 olmaktadır (Leick 1990, Welsch 1993, Baumann 1994). Diğer taraftan klasik ağlarda defekt sayısı ağda yapılan ölçmelere bağlı olarak genellikle iyi bilinmesine rağmen GPS ağlarında bu sayı atmosferik etkiler, farklı anten tiplerinin kullanılması, uzun aralıklı ölçmelerde farklı yörüngelerin kullanımı ve antenlerin lokal düşey ve kuzeye yöneltmesi nedeniyle değişebilmektedir (Illner 1983, Leick 1990, Blewitt 1990). Bunu ortaya çıkarmak için transformasyonlarda literatürde geçtiği üzere üç ötelemeye karşılık datum defekti 3 kabul edilmiş ve belirlenen stabil noktalar ölçek ve dönmelere karşı test edilmiştir.

4.3.2 S - transformasyonu yardımıyla global test

İki peryod ölçülerinin değerlendirilme sonuçlarına global test, yalnızca eşlenik noktalardan oluşan ağ için uygulanmalıdır. Herhangi bir zamanda ölçülen ağ noktalarının koordinatları f (datum) ve n (datum olmayan) olarak ikiye ayrılır.

$$\underline{x}^k = \begin{bmatrix} \underline{x}_f^k \\ \underline{x}_n^k \end{bmatrix} \quad (4.38)$$

Bu $\underline{x}_k$ parametreler vektörünün ayrımına göre Q_{xx}^k ağırlık katsayılar matrisi de

$$Q_{xx}^k = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{ff}^k & \underline{Q}_{fn}^k \\ \underline{Q}_{nf}^k & \underline{Q}_{nn}^k \end{bmatrix} \quad (4.39)$$

datum olan ve olmayan alt matrislerine ayrılır. k datumundan i datumuna seçici $\underline{E}_i$ matrisiyle ağı eşlenik noktalarına göre konumlandırılması

$$\begin{bmatrix} \underline{x}_f^i \\ \underline{x}_n^i \end{bmatrix} = \underline{S}_i \begin{bmatrix} \underline{x}_f^k \\ \underline{x}_n^k \end{bmatrix}, \quad (4.40)$$

$$\underline{Q}_{xx}^i = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{ff}^i & \underline{Q}_{fn}^i \\ \underline{Q}_{nf}^i & \underline{Q}_{nn}^i \end{bmatrix} = \underline{S}_i \underline{Q}_{xx}^k \underline{S}_i^T \quad (4.41)$$

eşitlikleriyle sağlanır. Bu işlemler 1. ve 2. peryodlar için yapılarak aynı bir i datumunda eşlenik noktaların $(\underline{x}_f^i)_1$ ve $(\underline{x}_f^i)_2$ koordinat bilinmeyenleriyle bunların $(\underline{Q}_{ff}^i)_1$ ve $(\underline{Q}_{ff}^i)_2$ kofaktörler matrisi bulunur. Eşlenik noktaların global testi için

$$H_0 : E(\underline{x}_f^i)_1 = E(\underline{x}_f^i)_2 \quad (4.42)$$

$$\underline{d}_f = \underline{x}_{f2}^i - \underline{x}_{f1}^i \quad (4.43)$$

$$(\underline{Q}_{dd})_f = (\underline{Q}_{ff}^i)_1 + (\underline{Q}_{ff}^i)_2 \quad (4.44)$$

$$\underline{R}_f = \underline{d}_f^T (\underline{Q}_{dd})_f^{-1} \underline{d}_f \quad (4.45)$$

$$s_0^2 = \frac{f_1 s_{01}^2 + f_2 s_{02}^2}{f_1 + f_2} \quad (4.46)$$

$$T = \frac{\underline{R}_f}{s_0^2 h_f} \quad (4.47)$$

test büyüklüğü elde edilir. Burada $\underline{R}_f$ büyüklüğünün serbestlik derecesi $h_f = u_f - d$ dir. Eğer $T > F_{h_f, f, 1-\alpha}$ oluyorsa, ağıın eşlenik noktalarından oluşan bölümünde bir deformasyon olduğuna karar verilir (Niemeier 1980 a, Niemeier 1985 b, Demirel 1987, Niemeier 1989). GPS ağlarında ağıın doğruluğunu ifade eden dengeleme sonrası varyanslar fazla iyimser olmaktadır (Beutler 1989). Daha gerçekçi bir değer elde etmek için standart sapmaların 3 ile 5 arasında bir katsayı ile çarpılması (Jaeger 1993) (Bock 1985 ve Dong 1989: 3 ile, Illner 1993: 3 - 6 arası, Mireault 1994: ~ 10) ifade edildiği için, bu çalışmada her iki peryodda dengeleme sonrası elde edilen standart sapmalar 4 ile çarpılmıştır.

Kuzey Anadolu Fayına ilişkin (Westaway 1992, Barka 1992, Schindler 1993, Westaway 1994, Pavoni 1994, Straub 1996, Barka 1997)' deki çalışmalar Fayın kuzeyindeki noktaların stabil blokta yer alabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, Marmara ağının KAF' nın kuzeyinde yer alabileceği düşünülen 1, 103, 104, 105, 205, 207, 209, 414 nolu noktalar bloğunda significant bir hareketin olup olmadığı (4.42) -

(4.47) eşitlikleriyle verilen global test ile test edilmiştir (Caspary 1987). Bu noktalara uygulanan global test sonunda;

$$T = 13.042$$

test büyüklüğü,

$$F_{21,268018,.95} = 1.556$$

değerinden büyük çıktığı görülmüştür. Bu sonuç stabil blokta yer aldığı düşünülen noktalar arasında signifikant hareketlerin varlığını kanıtlamaktadır ve Bölüm 4.2.2 de tüm ağ için uygulanan özdeşlik testi ile uyusmaktadır.

4.3.3 S - transformasyonu yardımıyla anlamlı nokta hareketlerinin belirlenmesi (lokalizasyon)

Bir önceki bölümde açıklandığı gibi global test sonunda eşlenik noktalar grubunun herhangi bir yerinde deformasyon olduğuna karar verilerek hareketli noktaların belirlenmesine geçilmiştir. Eşlenik noktalardan herbirinin yer değiştirmiş olabileceği düşünülerek k datumunda belirlenmiş bir peryoda ait $\underline{x}_k$ parametreler vektörünün eşlenik nokta koordinatlarını tanımlayan $\underline{x}_f^k$ vektörü, hareket ettiği varsayılan bir noktanın koordinatlarını içeren $\underline{x}_h^k$ ve hareket etmediği kabul edilen eşlenik nokta koordinatlarını içeren $\underline{x}_s^k$ biçiminde alt vektörlere ayrılır. Eşlenik olmayan noktalara ilişkin parametreler $\underline{x}_n^k$ vektörü içine toplandığına göre $\underline{x}^k$ vektörü ve Q_{xx}^k matrisi

$$\underline{x}^k = \begin{bmatrix} \underline{x}_s \\ \underline{x}_h \\ \underline{x}_n \end{bmatrix}_k \quad (4.48)$$

$$Q_{xx}^k = \begin{bmatrix} Q_{ss} & Q_{sh} & Q_{sn} \\ Q_{hs} & Q_{hh} & Q_{hn} \\ Q_{ns} & Q_{nh} & Q_{nn} \end{bmatrix}_k \quad (4.49)$$

şeklinde yeniden düzenlenir.

Herhangi bir t anında ölçülen ağ, koordinatları $\underline{x}_s$ içinde toplanan ve stabil kabul edilen noktalara göre konumlandırılmalıdır. Bu datum i ile gösterilirse (4.48) ve (4.49) ayrımına uygun olarak (4.37) 'den $\underline{S}_i$ transformasyon matrisi bulunarak her peryod için

$$\underline{x}^i = \underline{S}_i \underline{x}^k, \quad \underline{Q}_{xx}^i = \underline{S}_i \underline{Q}_{xx}^k \underline{S}_i^T \quad (4.50)$$

transformasyonları yapılmalıdır.

Stabil kabul edilen noktaların testi için H_0 hipotezi,

$$H_0 : E(\underline{x}_s^i)_1 = E(\underline{x}_s^i)_2 \quad (4.51)$$

kurularak (5.43) - (5.45) eşitliklerine uygun olarak $\underline{d}_s$ koordinat farkları,

$$\underline{d}_s = (\underline{x}_s^i)_2 - (\underline{x}_s^i)_1 \quad (4.52)$$

ve bunların kofaktörler matrisi

$$(\underline{Q}_{dd})_s = (\underline{Q}_{ss}^i)_1 + (\underline{Q}_{ss}^i)_2 \quad (4.53)$$

ve karesel formdaki artım miktarı,

$$R_s = \underline{d}_s^T (\underline{Q}_{dd})_s^+ \underline{d}_s \quad (4.54)$$

elde edilir. (4.48) - (4.54) işlemleri $\underline{x}_f$ alt vektöründeki noktalardan herbiri için yinelenerek her defasında $\underline{x}_s$ ve $\underline{x}_h$ ayrımına karşılık bir R_s değeri bulunur. m eşlenik nokta sayısı olmak üzere, m tane R_s değerinden en küçük R_s değerini veren noktadaki hareket,

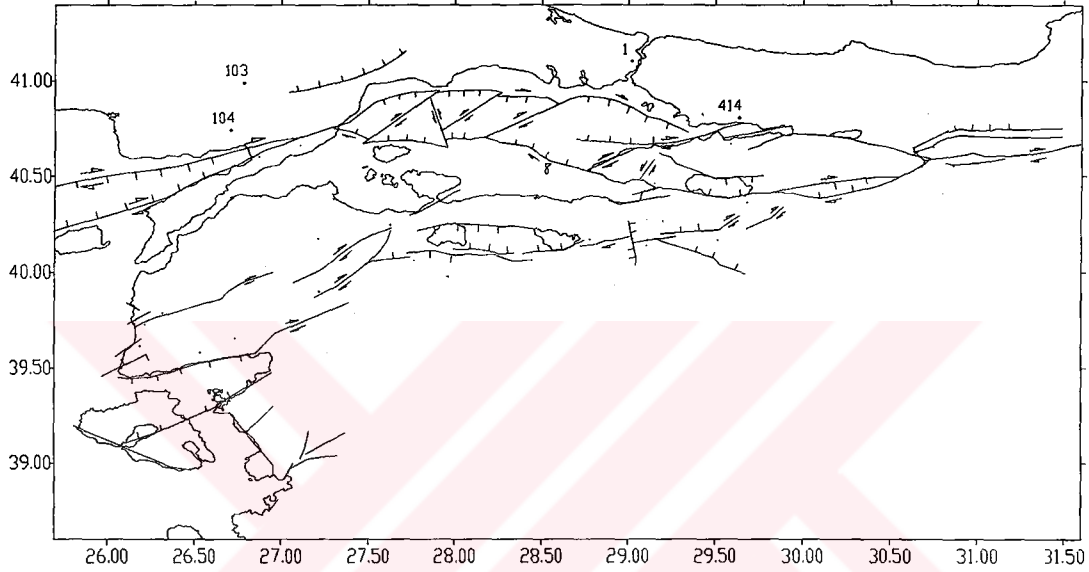
$$(R_s)_{\min} = \min.(R_s)_j \quad j = 1, 2, 3, \dots, m$$

anlamli görülür. (4.47) eşitliğindeki test büyüklüğü, $(R_s)_{\min}$ ve $h_s = u_s - d$ ile hesaplanır ve eğer,

$$T > F_{h_s, f; 1 - \alpha} \quad (4.55)$$

eşitsizliği gerçekleşiyorsa, $(R_s)_{\min}$ değerini veren nokta $\underline{x}_n$ alt vektörü içine alınır ve geri kalan eşlenik nokta kümesi için işlemler (4.48) 'den buraya kadar yinelenerek diğer hareketli noktaların araştırılması sürdürülür (Demirel 1987, Niemeier 1985 b).

Üç boyutlu analizin sonunda 1, 103, 104, 414 numaralı noktalar, iki boyutlu analiz sonunda da 1, 103, 104, 205, 209, 414 numaralı noktalar stabil olarak yorumlanmıştır. Üç boyutlu analiz sonuçlarına göre stabil noktaların dağılımı Şekil 4.1' deki gibidir.



Şekil 4.1: Üç boyutlu S - transformasyonu yardımıyla lokalizasyon sonucu belirlenen stabil noktalar

4.3.3.1 Stabil noktaların üç boyutlu transformasyon ile test edilmesi

Tüm ağda genel dönüklükler Bölüm 4.2.2 de test edilmiş ve sonuçlar anlamlı bulunmamış olmasına rağmen yalnızca stabil nokta bloğunu içeren periyodlar arası dönme ve ölçek farkı aşağıdaki denklem sistemi çözülerek bulunmuştur.

Molodensky-Badekas yöntemi olan bu yöntemde u_0 , v_0 , w_0 , (u, v, w) sisteminin ağırlık merkezi olmak üzere, düzeltme denklemleri;

$$-\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & u-u_0 & v-v_0 & -(w-w_0) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & v-v_0 & -(u-u_0) & 0 & w-w_0 \\ 0 & 0 & 1 & w-w_0 & 0 & u-u_0 & -(v-v_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Lambda \\ \omega \\ \psi \\ \varepsilon \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u-x \\ v-y \\ w-z \end{bmatrix} = 0 \quad (4.56)$$

veya matris normundaki gösterimi

$$-\underline{V} + \underline{A}\underline{X} + \underline{W} = \underline{0} \quad (4.57)$$

olan sistem, Bölüm 4.2.1 dekine benzer şekilde Gauss-Markoff modeline göre çözümlenir

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ x, y, z eksenleri doğrultusundaki ötelenmeler

Λ ölçek

$\omega, \psi, \varepsilon$ x, y, z eksenleri etrafındaki dönüklükler

olmak üzere

$\underline{x} = [\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Lambda, \omega, \psi, \varepsilon]$ parametreleri bulunmuştur (Leick 1990). Bulunan parametrelerden yalnızca ölçek ve dönüklüklerin anlamlı olup olmadıkları test edilmiştir. Ölçek için, $k = 0$ olmak üzere

$$t_\Lambda = \frac{|k - \Lambda|}{m_\Lambda} \quad (4.58)$$

dönüklükler için de, $\underline{X}$ dönüklük parametrelerini ifade etmek üzere

$$t_d = ((\underline{U} - \underline{X})^T \underline{C}_X^{-1} (\underline{U} - \underline{X})) \quad (4.59)$$

test büyüklükleri kullanılmıştır. $\underline{U}$ matrisi sıfır matris ve $k = 0$ olmak üzere

$$H_{0\Lambda} : \Lambda = k \quad \text{ve,} \quad (4.60)$$

$$H_{0d} : \underline{X} = \underline{U} \quad (4.61)$$

sıfır hipotezleri kurulmuştur (Harvey 1990).

Çözüm sonucunda $\underline{x}$ parametreler vektörü olarak,

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \Delta x \pm m_{\Delta x} \\ \Delta y \pm m_{\Delta y} \\ \Delta z \pm m_{\Delta z} \\ \Delta \pm m_{\Delta} \\ \omega \pm m_{\omega} \\ \psi \pm m_{\psi} \\ \epsilon \pm m_{\epsilon} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.4954 \pm 0.0029m \\ 2.4174 \pm 0.0029m \\ 0.1555 \pm 0.0029m \\ -0.0206 \pm 0.0260\text{ppm} \\ 0.1330E-6 \pm 0.0265E-6\text{rad} \\ -0.5362E-6 \pm 0.1632E-6\text{rad} \\ 0.0775E-6 \pm 0.0937E-6\text{rad} \end{bmatrix}$$

elde edilmiştir. t_{Λ} ve t_d test büyüklükleri;

$$t_{\Lambda} = 0.178$$

$$t_d = 0.792 \quad \text{ve,}$$

$$t_{\Lambda} < 1.96$$

$$t_d < 7.815 \quad (= \chi^2_{3,95})$$

olduğundan $H_{0\Lambda}$ ve H_{0d} sıfır hipotezleri kabul edilmiş, stabil nokta bloğunda da anlamlı dönme ve ölçek değişimi olmadığı sonucuna varılmıştır. Bölüm 4.2.2 deki sonuçlarla da karşılaştırıldığında, oradaki dönmelere ilişkin test büyüklüklerinin de anlamlı görülmemiş olmasına rağmen stabil nokta bloğundaki dönmelere ilişkin değerler tüm ağa göre daha küçük olduğu görülmüştür.

4.3.4 Deformasyon büyüklüklerinin belirlenmesi

Bir önceki bölümde açıklanan anlamlı nokta hareketlerinin belirlenmesinden sonra, 1, 103, 104 ve 414 nolu noktalar stabil alınarak ağda deforme olmamış referans bloğu

tanımlanmış, her iki periyod sonuçları, S - transformasyonu ile bu referans bloğuna yerleştirilmiştir.

Bir p noktası için hareket vektörü,

$$\underline{d} = \begin{bmatrix} x_i^2 - x_i^1 \\ y_i^2 - y_i^1 \\ z_i^2 - z_i^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} \quad (4.62)$$

ve bu vektörün boyu,

$$d = \sqrt{\underline{d}^T \underline{d}} \quad (4.63)$$

olmaktadır. Bu eşitliklerle hesaplanan hareket vektörlerinin anlamlı olup olmadıkları her vektör için ,

$$H_0 : d = 0 \quad (4.64)$$

sıfır hipotezi ile test edilmiştir. Test büyüklüğü,

$$T = \frac{\underline{d}^T \underline{Q}_{dd}^{-1} \underline{d}}{3s_0^2} \quad (4.64)$$

ile F dağılımının $F_{3, f, 1-\alpha}$ sınır değeri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonunda

$$T > F_{3, f, 1-\alpha} \quad (4.65)$$

çıkıyorsa k noktası iki periyod arasında $1 - \alpha$ güven düzeyi ile hareket ettiği kabul edilmiştir (Niemeier 1985 b, Demirel 1987).

Üç ve iki boyutlu analizin sonuçları Tablo 4.1 ve Tablo 4.2' de, üç boyutlu vektörlerin yerel (lokal) sisteme dönüştürülmüş sonuçları Tablo 4.4' de verilmiştir

Her noktanın Rölativ Helmert Güven Elipsinin yarı eksenleri iki boyutlu vektörler için,

$$\lambda_A = 0.5 (Q_{xx} + Q_{yy} + D) \quad (4.66)$$

$$\lambda_B = 0.5 (Q_{xx} + Q_{yy} - D) \quad (4.67)$$

$$D = \sqrt{(Q_{xx} - Q_{yy})^2 + 4Q_{xy}^2} \quad (4.68)$$

$$\theta = 0.5 \arctg \frac{2Q_{xy}}{Q_{xx} - Q_{yy}} \quad (4.69)$$

$$A_G = s_0 \sqrt{2\lambda_A F_{2,f,1-\alpha}} \quad (4.70)$$

$$B_G = s_0 \sqrt{2\lambda_B F_{2,f,1-\alpha}} \quad (4.71)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada θ ile gösterilen değer elipsin büyük yarı ekseninin yönüdür (Öztürk 1982, Pelzer 1985).

Üç boyutlu rölatif güven elipsoidinin elemanları ,

$$\lambda_A = 2\sqrt{-(p/3)} \cos\varphi - (a/3) \quad (4.72)$$

$$\lambda_B = 2\sqrt{-(p/3)} \cos(\varphi + 120^\circ) - (a/3) \quad (4.73)$$

$$\lambda_C = 2\sqrt{-(p/3)} \cos(\varphi + 240^\circ) - (a/3) \quad (4.74)$$

ile hesaplanmıştır. Burada ifadenin içinde geçen değişkenler,

$$\cos 3\varphi = -\frac{q}{2\sqrt{-(\frac{p}{3})^3}} \quad (4.75)$$

$$p = b - (a^2/3) \quad (4.76)$$

$$q = c - (ab/3) + (2a^3/27) \quad (4.77)$$

$$a = -(Q_{xx} + Q_{yy} + Q_{zz}) \quad (4.78)$$

$$b = Q_{xx}Q_{yy} + Q_{zz}Q_{xx} + Q_{yy}Q_{zz} - Q_{xy}^2 - Q_{xz}^2 - Q_{yz}^2 \quad (4.79)$$

$$c = Q_{xx}Q_{yz}^2 + Q_{yy}Q_{xz}^2 + Q_{zz}Q_{xy}^2 - Q_{xx}Q_{yy}Q_{zz} - 2Q_{xy}Q_{xz}Q_{yz} \quad (4.80)$$

şeklinde. Elipsoid eksenlerinin x, y, z eksenleriyle yaptığı açılar ise,

$$\cos \alpha_j = \frac{M_j}{W_j} \quad (4.81)$$

$$\cos \beta_j = \frac{N_j}{W_j} \quad (4.82)$$

$$\cos \gamma_j = \frac{T_j}{W_j} \quad (4.83)$$

olmaktadır. $j = A, B, C$ olmak üzere M_j, N_j, T_j, W_j değişkenleri,

$$M_j = Q_{xz} (Q_{yy} - \lambda_j) - Q_{xy} Q_{yz} \quad (4.84)$$

$$N_j = (Q_{xx} - \lambda_j) Q_{yz} - Q_{xy} Q_{xz} \quad (4.85)$$

$$T_j = Q_{xy}^2 - (Q_{xx} - \lambda_j) (Q_{yy} - \lambda_j) \quad (4.86)$$

$$W_j^2 = M_j^2 + N_j^2 + T_j^2 \quad (4.87)$$

olmaktadır.

Bağıl güven elipsoidlerin yarıksenleri $i = A, B, C$ olmak üzere

$$A_{Gi}^2 = s_0^2 (3 \lambda_i F_{3, f, 1-\alpha}) \quad (4.88)$$

olarak hesaplanmıştır (Wolf 1968, Körner 1968, Wolf 1975, Pelzer 1985). Bu hesaplara ilişkin sonuçlar Tablo 5.3 de verilmiştir.

4.3.4.1 Marmara GPS ağı deformasyon analizi sonuçları

$$f_1 : 102978 \quad s_{01} : 0.96$$

$$f_2 : 165040 \quad s_{02} : 1.08$$

$$f_{12} : 268018 \quad s_0^2 = 1.0723$$

Tablo 4.1: Üç boyutlu analiz sonuçları

Nok. No	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	D (mm)	Test	Fisher 3.f.95	Hipotez
206	2.18	-28.04	-17.87	33.32	16.276	2.605	GEÇERSİZ
209	-5.36	-16.51	-13.87	22.23	3.283	2.605	GEÇERSİZ
207	12.63	-19.44	-13.25	26.71	10.498	2.605	GEÇERSİZ
105	-6.63	-27.41	-16.43	32.64	24.745	2.605	GEÇERSİZ
408	80.77	7.98	69.55	106.88	50.601	2.605	GEÇERSİZ
205	-29.09	-21.98	-26.16	44.88	2.769	2.605	GEÇERSİZ
203	9.04	-30.13	-9.91	32.98	17.515	2.605	GEÇERSİZ
204	25.59	-11.15	-1.28	27.95	9.990	2.605	GEÇERSİZ
202	8.57	-38.46	-10.75	40.84	23.732	2.605	GEÇERSİZ
402	-13.82	-45.02	-17.31	50.18	66.392	2.605	GEÇERSİZ
401	-3.19	-23.31	-9.46	25.37	34.518	2.605	GEÇERSİZ
412	18.46	-23.41	8.51	31.00	28.521	2.605	GEÇERSİZ
413	85.72	-191.88	-10.76	210.43	1074.580	2.605	GEÇERSİZ
404	52.76	-3.11	28.49	60.04	21.996	2.605	GEÇERSİZ
409	38.63	-11.60	27.03	48.56	25.021	2.605	GEÇERSİZ
403	42.98	-12.57	14.60	47.10	23.714	2.605	GEÇERSİZ
411	48.52	-4.06	26.24	55.31	23.131	2.605	GEÇERSİZ
507	33.88	-23.80	11.37	42.94	65.140	2.605	GEÇERSİZ
407	30.95	-30.75	19.14	47.64	60.431	2.605	GEÇERSİZ
405	21.96	-29.34	6.09	37.15	28.068	2.605	GEÇERSİZ
410	50.77	-16.70	34.25	63.48	33.084	2.605	GEÇERSİZ
406	23.26	-17.32	20.27	35.39	18.129	2.605	GEÇERSİZ
502	54.78	-15.43	9.73	57.74	56.772	2.605	GEÇERSİZ
501	17.16	-22.94	0.15	28.65	17.236	2.605	GEÇERSİZ
504	40.62	-26.36	-3.00	48.52	44.061	2.605	GEÇERSİZ
503	29.08	-23.63	-8.95	38.53	28.627	2.605	GEÇERSİZ
506	54.33	-22.75	15.72	60.96	67.455	2.605	GEÇERSİZ
508	51.98	-20.58	17.41	58.56	164.747	2.605	GEÇERSİZ
307	30.54	-26.93	-6.32	41.21	36.565	2.605	GEÇERSİZ
308	45.19	-15.18	16.74	50.53	20.270	2.605	GEÇERSİZ
309	53.19	-17.52	12.56	57.40	30.190	2.605	GEÇERSİZ
306	23.75	-26.62	-5.81	36.15	21.888	2.605	GEÇERSİZ
304	17.97	-21.97	-13.50	31.43	17.762	2.605	GEÇERSİZ

Tablo 4.1: (Devam)

Nok No	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	D (mm)	Test	Fisher 3.f.,95	Hipotez
305	24.47	-21.92	-8.34	33.90	15.067	2.605	GEÇERSİZ
301	41.36	-13.31	9.47	44.47	19.042	2.605	GEÇERSİZ
303	32.68	-11.10	0.34	34.52	13.897	2.605	GEÇERSİZ
302	11.30	-21.32	-1.77	24.20	7.466	2.605	GEÇERSİZ
505	41.48	-5.98	24.31	48.45	27.415	2.605	GEÇERSİZ
106	56.42	-10.91	30.67	65.14	59.172	2.605	GEÇERSİZ

Tablo 4.2:İki boyutlu analiz sonuçları

Nok No.	DX (mm)	DY (mm)	D (mm)	td (grad)	AG (mm)	BG (mm)	phi (grad)	Test	Fisher 2.f.,95	Hipotez
408	4.58	-29.44	29.79	309.817	5.88	4.68	129.373	112.864	2.996	GEÇERSİZ
206	-5.45	-25.60	26.18	286.638	7.88	4.92	178.734	39.380	2.996	GEÇERSİZ
203	-2.78	-30.88	31.01	294.278	9.23	6.93	184.524	35.396	2.996	GEÇERSİZ
207	-10.98	-23.34	25.80	272.003	10.11	7.38	182.481	20.794	2.996	GEÇERSİZ
204	-11.27	-21.79	24.53	269.604	9.71	7.48	157.937	24.093	2.996	GEÇERSİZ
202	-0.36	-38.14	38.14	299.396	10.02	7.45	190.101	44.239	2.996	GEÇERSİZ
402	8.69	-31.78	32.95	317.003	7.81	7.22	172.066	54.982	2.996	GEÇERSİZ
401	1.39	-17.46	17.51	305.044	9.06	8.94	257.061	11.391	2.996	GEÇERSİZ
412	2.98	-27.19	27.36	306.953	8.53	7.76	286.650	37.022	2.996	GEÇERSİZ
413	1.18	-207.70	207.70	300.361	10.30	9.45	278.122	1422.555	2.996	GEÇERSİZ
404	-6.79	-25.82	26.70	283.634	9.00	8.29	278.851	30.590	2.996	GEÇERSİZ
409	2.56	-26.29	26.41	306.192	8.78	7.93	293.296	33.200	2.996	GEÇERSİZ
403	-8.71	-29.94	31.18	281.968	9.70	9.04	100.211	35.683	2.996	GEÇERSİZ
411	-5.99	-24.63	25.35	284.808	8.53	7.63	280.120	32.496	2.996	GEÇERSİZ
507	-2.54	-32.53	32.63	295.031	8.78	6.82	259.334	58.886	2.996	GEÇERSİZ
407	6.73	-39.65	40.22	310.712	7.15	7.05	309.046	96.910	2.996	GEÇERSİZ
405	2.14	-33.84	33.91	304.013	11.02	9.65	299.826	37.025	2.996	GEÇERSİZ
410	2.84	-36.05	36.16	305.008	11.48	10.07	295.208	38.640	2.996	GEÇERSİZ
406	7.76	-24.11	25.33	319.817	10.53	9.15	311.463	22.760	2.996	GEÇERSİZ
502	-17.89	-34.12	38.53	269.262	11.12	8.40	224.434	39.827	2.996	GEÇERSİZ
501	-1.08	-23.24	23.27	297.030	13.24	10.16	257.032	13.203	2.996	GEÇERSİZ

Tablo 4.2: (Devam)

Nok.	DX	DY	D	td	AG	BG	phi	Test	Fisher	Hipotez
No.	(mm)	(mm)	(mm)	(grad)	(mm)	(mm)	(grad)		24.95	
504	-16.49	-36.90	40.42	273.238	13.18	10.21	225.852	31.119	2.996	GEÇERSİZ
503	-14.71	-28.47	32.04	269.638	13.65	10.72	221.763	17.682	2.996	GEÇERSİZ
506	-11.50	-41.05	42.63	282.603	10.65	9.16	239.147	53.716	2.996	GEÇERSİZ
508	-10.01	-38.38	39.66	283.752	6.84	5.30	230.774	115.199	2.996	GEÇERSİZ
307	-12.00	-31.83	34.01	277.038	13.22	9.82	230.856	23.363	2.996	GEÇERSİZ
308	-4.65	-27.98	28.36	289.524	15.33	11.06	248.016	14.699	2.996	GEÇERSİZ
309	-13.02	-35.15	37.48	277.421	14.67	10.91	237.347	24.403	2.996	GEÇERSİZ
306	-7.03	-27.67	28.55	284.149	15.34	11.38	239.868	13.314	2.996	GEÇERSİZ
304	-10.56	-20.01	22.63	269.102	14.35	11.18	216.436	7.763	2.996	GEÇERSİZ
305	-9.81	-22.71	24.74	274.041	16.62	12.93	224.975	7.278	2.996	GEÇERSİZ
301	-9.60	-23.75	25.62	275.540	15.00	11.42	224.774	9.651	2.996	GEÇERSİZ
303	-11.91	-17.27	20.99	261.561	14.90	11.25	207.684	6.010	2.996	GEÇERSİZ
302	1.60	-16.31	16.39	306.227	16.73	14.53	254.135	3.409	2.996	GEÇERSİZ
505	-2.83	-19.48	19.68	290.816	10.31	7.81	238.988	13.604	2.996	GEÇERSİZ
106	-4.70	-30.06	30.42	290.125	11.31	8.15	219.151	23.460	2.996	GEÇERSİZ
105	-0.18	-14.56	14.56	299.211	11.42	8.82	222.672	5.280	2.996	GEÇERSİZ

Tablo 4.3: Üç boyutlu deformasyon vektörlerinin bağıl güven elipsi elemanları

No.	A _{G1}	alfa1	beta1	gama1	A _{G2}	alfa2	beta2	gama2	A _{G3}	alfa3	beta3	gama3
	(cm)	(grad)	(grad)	(grad)	(cm)	(grad)	(grad)	(grad)	(cm)	(grad)	(grad)	(grad)
206	5.511	150.769	122.941	141.204	1.209	112.087	24.181	120.679	1.317	146.959	92.690	47.797
209	5.222	151.592	122.663	140.538	1.373	114.334	23.099	117.796	1.497	145.218	95.721	45.508
207	5.841	151.823	121.710	140.934	1.362	104.428	28.021	127.620	1.521	147.869	82.994	52.308
105	3.339	153.444	121.125	139.623	0.840	115.925	21.144	113.614	1.017	142.595	99.131	42.607
408	7.652	146.852	122.331	145.612	0.815	63.907	163.040	107.111	0.829	134.155	128.088	46.403
205	5.761	151.023	122.850	141.001	1.417	109.244	25.683	123.782	1.525	147.641	88.784	49.598
203	6.251	150.101	122.732	142.039	1.339	111.424	24.089	120.969	1.463	147.877	92.369	48.781
204	5.862	150.552	123.234	141.228	1.378	113.890	23.833	119.047	1.463	146.458	94.926	46.864
202	6.436	150.513	122.810	141.559	1.420	111.264	24.3471	121.347	1.537	147.512	91.853	48.551
402	5.518	147.601	122.832	144.526	0.781	105.497	27.190	126.557	0.815	151.924	85.883	55.023
401	2.404	148.322	122.760	143.843	0.613	115.652	22.795	116.228	0.659	147.905	98.799	47.927
412	5.568	148.246	122.259	144.251	0.998	113.432	22.569	117.858	1.083	148.961	96.423	49.162
413	3.881	150.764	121.816	141.962	1.168	121.833	23.236	107.637	1.270	141.952	107.679	42.900

Tablo 4.3: (Devam)

No.	A _{G1} (cm)	alfa1 (grad)	beta1 (grad)	gama1 (grad)	A _{G2} (cm)	alfa2 (grad)	beta2 (grad)	gama2 (grad)	A _{G3} (cm)	alfa3 (grad)	beta3 (grad)	gama3 (grad)
404	7.586	147.933	122.474	144.427	1.089	109.806	24.123	121.856	1.159	150.566	91.601	51.669
409	6.927	148.014	122.449	144.361	1.032	112.334	23.075	119.248	1.110	149.624	94.884	50.034
403	8.102	148.144	122.531	144.176	1.197	112.919	23.013	118.773	1.253	149.268	95.509	49.584
411	7.011	147.858	122.642	144.393	1.020	115.620	22.663	116.082	1.099	148.383	99.066	48.3970
507	7.537	147.633	122.463	144.738	0.830	126.103	26.519	104.417	0.975	142.167	113.505	45.048
407	7.675	147.445	122.456	144.933	0.984	118.082	22.627	113.229	1.051	147.549	102.669	47.661
405	9.537	147.601	122.643	144.653	1.244	122.173	24.099	109.058	1.315	144.958	107.908	45.946
410	7.741	147.758	122.633	144.500	1.233	123.715	24.919	107.300	1.343	143.767	109.986	45.343
406	7.780	147.627	122.491	144.725	1.165	120.273	23.211	110.917	1.273	146.120	105.498	46.596
502	8.462	147.863	122.467	144.503	0.995	122.592	24.196	108.3000	1.189	144.420	108.610	45.592
501	9.671	148.122	122.475	144.235	1.223	117.066	22.502	114.308	1.423	147.407	101.066	47.425
504	6.799	149.775	121.939	142.900	1.134	112.095	22.726	118.999	1.386	147.953	94.306	48.462
503	7.593	149.360	122.334	143.067	1.197	116.607	22.334	114.588	1.444	146.398	100.159	46.398
506	6.2956	148.563	122.483	143.782	1.020	122.804	24.260	107.925	1.152	143.568	108.735	44.779
508	4.851	148.004	122.187	144.543	0.598	121.488	23.482	109.107	0.722	144.991	107.381	45.852
307	10.027	148.064	122.662	144.170	1.179	123.936	25.041	107.008	1.417	143.301	110.202	44.950
308	12.585	148.373	122.958	143.659	1.399	122.074	24.170	109.449	1.639	144.242	107.234	45.073
309	11.206	148.296	122.609	143.969	1.345	115.857	22.623	115.793	1.566	147.833	99.245	47.841
306	10.607	148.741	122.744	143.426	1.351	120.785	23.486	110.542	1.642	144.685	105.609	45.184
304	9.942	148.730	123.149	143.164	1.297	127.480	27.706	103.314	1.551	139.959	114.541	43.340
305	10.917	149.035	123.100	142.885	1.515	123.754	25.045	107.569	1.790	142.433	109.254	43.801
301	8.934	149.448	122.760	142.692	1.304	119.720	23.125	111.687	1.588	144.611	103.917	44.855
303	9.165	149.449	122.873	142.615	1.304	120.734	23.5078	110.683	1.575	143.998	105.193	44.428
302	9.559	149.360	123.424	142.330	1.615	129.268	29.297	101.207	1.813	137.805	116.788	42.353
505	5.041	150.236	121.666	142.604	0.814	113.918	21.906	116.639	1.057	146.764	96.890	46.916
106	4.474	150.255	121.779	142.511	0.822	114.361	21.951	116.311	1.014	146.553	97.364	46.663

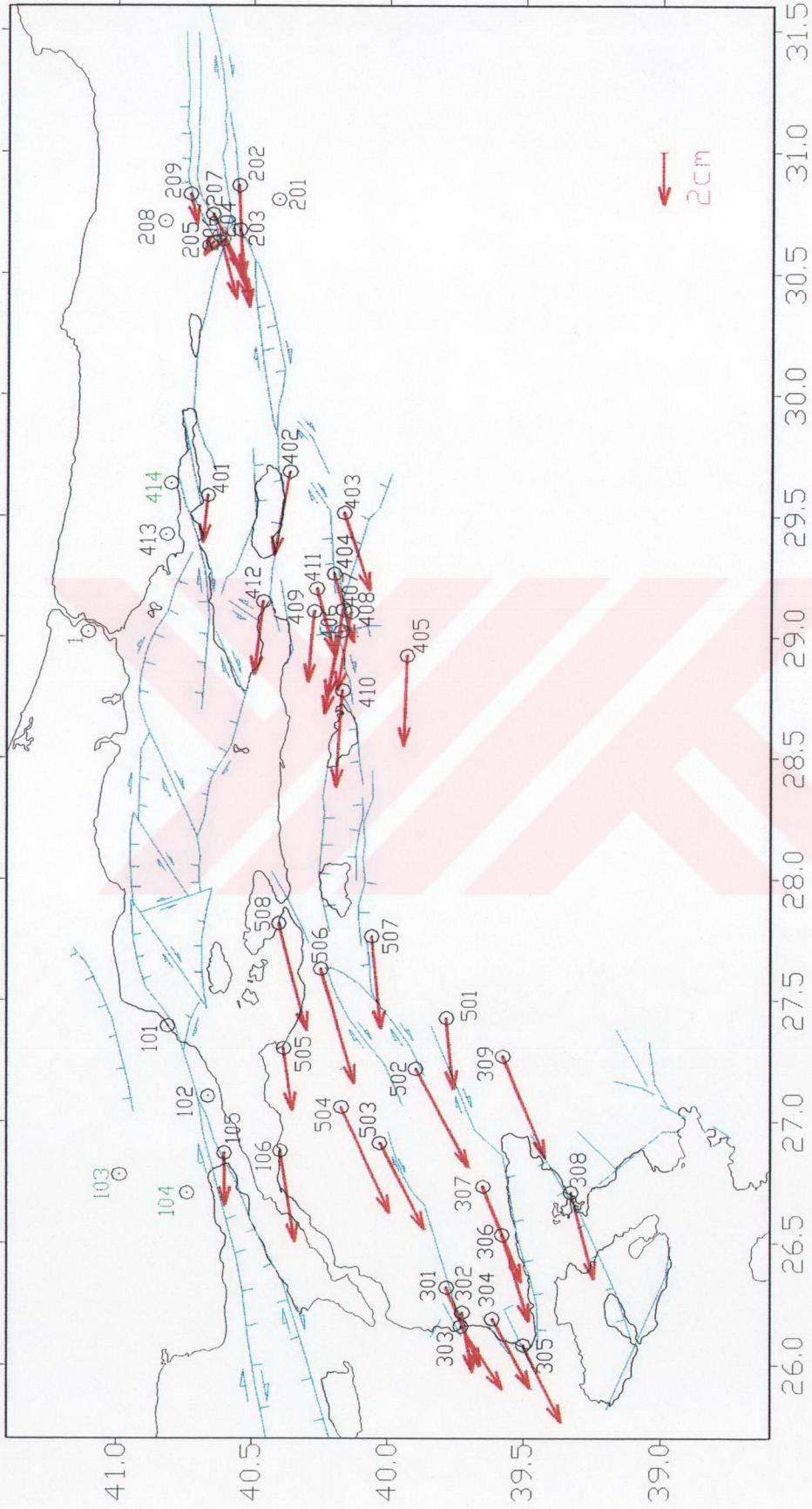
Tablo 4.4: Üç boyutlu deformasyon vektörlerinin lokal x, y, h sistemindeki büyüklükleri

Nokta No	dx(kuzey) (mm)	dy(doğu) (mm)	dh (mm)	d _{xy} (mm)	t _d (grad)
206	-6.28	-25.72	-20.24	26.47	284.7541
209	-2.48	-11.99	-18.54	12.24	287.0153
207	-11.34	-23.11	-7.12	25.74	296.9811
105	-0.37	-20.98	-25.00	20.98	298.8774
408	4.72	-31.31	102.09	31.66	309.5254
205	3.31	-5.54	-44.41	6.45	334.2857

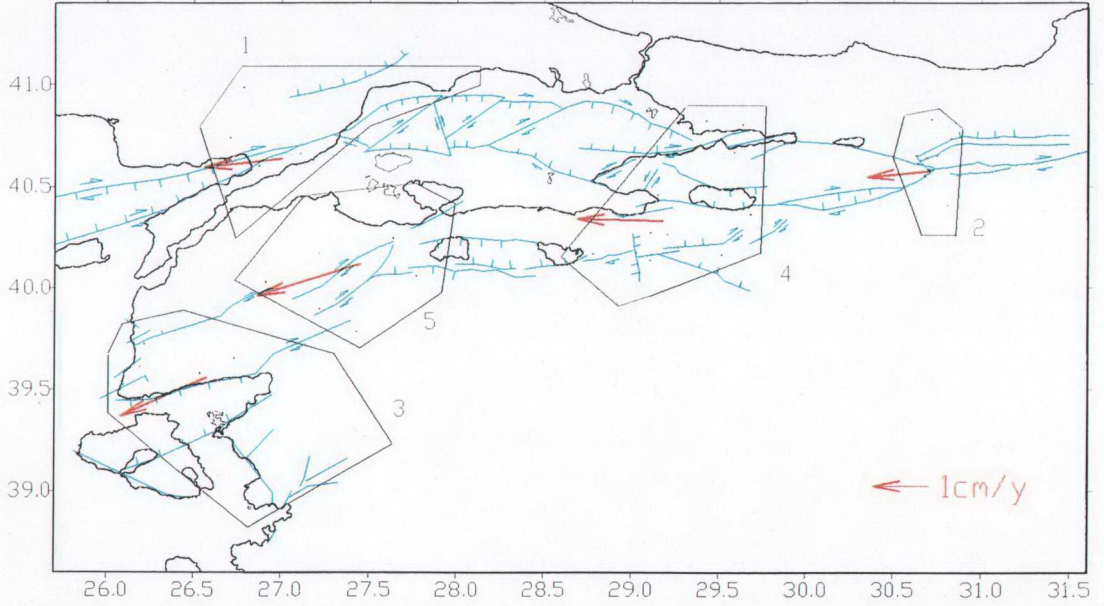
Tablo 4.4: (Devam)

Nokta No	dx(kuzey) (mm)	dy(doğu) (mm)	dh (mm)	d _{xy} (mm)	t _a (grad)
203	-3.47	-30.81	-11.24	31.00	292.8601
204	-12.11	-21.96	12.33	25.08	267.9168
202	-1.29	-37.92	-15.12	37.94	297.8351
402	8.45	-33.07	-36.78	34.13	315.9261
401	1.74	-19.00	-16.70	19.08	305.8139
412	3.18	-29.37	9.42	29.34	306.8661
413	1.87	-209.58	-18.87	209.59	yeni nokta
404	-7.30	-27.78	52.73	28.72	283.6408
409	2.23	-28.54	39.21	28.63	304.9642
403	-9.44	-31.46	33.76	32.85	281.4416
411	-6.31	-26.60	48.08	27.34	285.1723
507	-3.29	-37.03	21.49	37.18	294.3586
407	6.44	-41.75	22.02	42.24	309.7432
405	1.16	-36.25	8.06	36.27	302.0365
410	2.40	-38.79	50.19	38.86	303.9339
406	7.56	-26.28	22.45	27.35	317.8322
502	-18.99	-39.58	37.50	43.90	271.5210
501	-2.61	-28.34	3.32	28.46	294.1535
504	-17.31	-42.48	15.81	45.87	275.3664
503	-16.12	-34.60	5.20	38.17	272.2438
506	-11.92	-45.81	38.42	47.33	283.7942
508	-9.96	-42.78	38.72	43.92	285.4377
307	-13.93	-38.20	6.68	40.66	277.7390
308	-8.26	-34.81	35.68	35.78	285.1681
309	-15.28	-40.66	37.51	43.44	277.1153
306	-9.78	-34.70	2.56	36.05	282.5109
304	-13.79	-27.87	-4.61	31.10	270.7488
305	-13.56	-30.91	3.11	33.75	273.6814
301	-12.21	-31.34	29.09	33.63	276.3491
303	-14.92	-25.28	18.16	29.35	266.0570
302	-1.24	-24.13	-1.27	24.16	296.7314
505	-3.19	-24.95	41.41	25.15	291.9044
106	-5.32	-36.38	53.77	36.77	290.7560

Bu sonuçlar ağda genel bir doğu - batı yönlü bir hareketin olduğunu ortaya koymaktadır. Marmara Bölgesinde, signifikant olarak elde edilen üç boyutlu deformasyon vektörlerinin yatay bileşenleri Şekil 4.2' de, bölgelerdeki noktaların ağırlık merkezine göre genel olarak bölgesel hareket vektörleri de Şekil 4.3' de grafik olarak görülmektedir.



Şekil 4.2: Tablo 4.4' deki üç boyutlu deformasyon vektörlerinin yatay bileşenlerine göre gösterimi



Şekil 4.3: Bölgelerdeki noktaların ağırlık merkezine göre bölgesel hareket vektörleri

408 numaralı noktanın yükseklik değişimi diğer noktalara göre fazla bulunmuştur. Bunun nedeni; noktanın yüksek gerilim hattına yakın olması, yüksekliğinin fazla olması sonucu troposferik etkilerin tam olarak giderilememesi olarak düşünülmektedir (Wiget 1990).

4.4 Jeodezik Verilerden Strain (Gerilim) Analizi

4.4.1 Strain analizi yöntemleri ve yöntem seçimi

"Strain analizi, tekrarlı jeodezik gözlemlerin kinematik analizi için en uygun matematiksel araçtır (Schneider 1990)" yorumu, gerilim analizinin önemini vurgulamaktadır.

Yerkabuğunda oluşan gerilimler, sismik verilerden ve jeodezik verilerden olmak üzere iki farklı yöntemle belirlenebilmektedir. Beklenen, her iki yöntemle bulunan sonuçların uyuşmasıdır. Bu konuda bazı sonuçlar da elde edilmiştir (Stein 1983, Brunner 1989).

Jeodezik verilerden gerilimlerin belirlenmesine yönelik çalışmalarda,

- jeodezik ağ noktalarının söz konusu bölgeyi temsil ettiği,

- söz konusu alanda ve zaman aralığında noktalarda oluşan yer değiştirmelerin lineer olduğu ve gerilme birikiminin uniform olduğu

temel varsayımı yapılır.

Jeodezik verilerden gerilimlerin belirlenmesine ilişkin ilk rapor, 1929 yılında Japon sismologlar tarafından yayınlanmıştır (Schneider 1991). Bundan sonra, doğrudan ölçülerden veya dengelenmiş jeodezik ağ koordinatlarından gerilim tensörünün veya bazı elemanlarının belirlenmesine yönelik bir çok yöntem geliştirilmiştir. Genel olarak bu yöntemler,

- jeodezik nokta çevresinde oluşan gerilimlerin sonsuz küçük olduğu varsayımına dayanan yöntemler

- sonlu elemanlar yöntemi

olmak üzere iki farklı temel üzerine tesis edilmişlerdir.

Bu çalışmada, Marmara GPS ağının yapısı, belirlenecek gerilim tensörü elemanlarının sayısı, güvenilirliği ve prezisyonlarının elde edilebilirliği irdelenerek, Chen 1991' de önerilen iki boyutlu gerilim analizi yöntemi seçilmiştir.

GPS ölçmeleriyle konum belirlemede, yatay konum doğruluğu ile yüksekliğin doğrulukları farklı olduğundan, genellikle üç boyutlu gerilme tensörü elemanları yerine iki boyutlu yatay gerilme tensörü elemanları belirlenmektedir. Bunun bir diğer nedeni, üç boyutlu gerilim tensörü elemanlarının sayısının fazla olması nedeniyle, jeodezik ağın tüm noktalarında bu elemanların belirlenememesi olasılığıdır.

Bir iki boyutlu yatay gerilme tensörü

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{xy} & e_{yy} \end{bmatrix} \quad (4.89)$$

olarak verilmektedir. Burada;

e_{xx} = x eksenine doğrultusunda birim uzunluktaki değişme

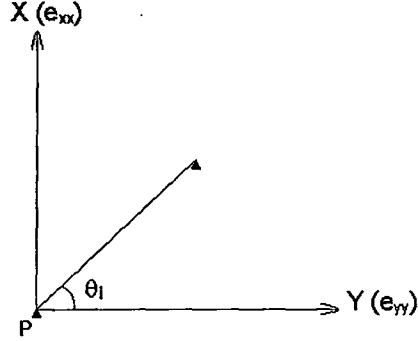
e_{yy} = y eksenine doğrultusunda birim uzunluktaki değişme

e_{xy} = kesme gerilmesi (shear strain)

olarak adlandırılmaktadır.

4.4.2 Chen modeline göre strain tensörü elemanlarının belirlenmesi

Lokal bir X, Y koordinat sisteminde,



Şekil 4.4: Bir P noktasında θ_i doğrultusuna göre strain parametreleri

bir P noktasında θ_i doğrultusundaki strain oranı $\Delta s_i = s'_i - s_i$ olmak üzere;

$$\epsilon_i = \frac{\Delta s_i}{\Delta t \cdot s_i} = e_{xx} \sin^2 \theta_i + e_{xy} \sin 2\theta_i + e_{yy} \cos^2 \theta_i \quad (4.90)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada; s'_i değeri, Δt süre sonra değişmiş uzunluğu, s_i değeri de, değişmemiş uzunluğu ifade etmektedir. P noktasında e_{xx} , e_{xy} , e_{yy} parametrelerini elde edebilmek için farklı doğrultularda en az üç uzunluğa (üç 4.90 eşitliğine) ihtiyaç vardır. Rastlantısal hatalar göz önünde tutulursa, ilgili nokta etrafında homojen olarak dağılmış bir grup gözlemlerle en küçük kareler çözümü en ideal çözüm olacaktır.

Ağın bir noktasındaki parametreler vektörü,

$$\underline{\epsilon}^T = [\epsilon_{xx}, \epsilon_{xy}, \epsilon_{yy}] \quad (4.91)$$

olarak alınırsa

$$\underline{\epsilon} + \underline{v} = \underline{B}\underline{e} \quad (4.92)$$

yazılabilir. Burada

$$\underline{\epsilon}^T = [\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \dots, \epsilon_n] \quad (4.93)$$

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} \sin^2 \theta_1 & \sin 2\theta_1 & \cos^2 \theta_1 \\ \sin^2 \theta_2 & \sin 2\theta_2 & \cos^2 \theta_2 \\ \sin^2 \theta_3 & \sin 2\theta_3 & \cos^2 \theta_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \sin^2 \theta_n & \sin 2\theta_n & \cos^2 \theta_n \end{bmatrix} \quad (4.94)$$

ve n, P noktasının doğrudan ölçülerle bağlı olduğu noktasayısıdır. $\underline{D}_{y1y1}$ ve $\underline{D}_{y2y2}$, birinci ve ikinci periyot dengelenmiş koordinatların varyans - kovaryans matrisleri, s_0^2 4.46 eşitliğinden elde edilen varyans olmak üzere

$$\underline{D}_{\varepsilon\varepsilon} = (\underline{D}_{y1y1} + \underline{D}_{y2y2}) \quad (4.95)$$

ile $\underline{Q}_{\varepsilon\varepsilon}$ kofaktörler matrisi

$$\underline{Q}_{\varepsilon\varepsilon} = \frac{\underline{D}_{\varepsilon\varepsilon}}{s_0^2} \quad (4.96)$$

olmak üzere

$$\underline{e} = (\underline{B}^T \underline{Q}_{\varepsilon\varepsilon}^{-1} \underline{B})^{-1} \underline{B}^T \underline{Q}_{\varepsilon\varepsilon}^{-1} \underline{\varepsilon} \quad (4.97)$$

çözüm vektörü ve

$$\underline{Q}_{ee} = (\underline{B}^T \underline{Q}_{\varepsilon\varepsilon}^{-1} \underline{B})^{-1} \quad (4.98)$$

kofaktörler matrisi bulunur. Gerilim analizinde, Δ (dilatasyon), $\gamma_{\max}$ (kesme gerilmesi), ε_1 ve ε_2 (asal gerilmeler) değerleri karşılaştırılır. Gerilme tensörü elemanlarından,

$$\Delta = e_{xx} + e_{yy} \quad (4.99)$$

$$\gamma_{\max} = \sqrt{(e_{xx} - e_{yy})^2 + 4e_{xy}^2} \quad (4.100)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2}(e_{xx} + e_{yy} + \gamma_{\max}) \quad (4.101)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{2}(e_{xx} + e_{yy} - \gamma_{\max}) \quad (4.102)$$

eşitlikleriyle elde edilirler (Chen 1991, Kakkuri 1992).

Dilatasyon Δ ; koordinat transformasyonundan etkilenmeyen bir büyüklüktür. ε_1 ; söz konusu nokta çevresinde en büyük gerilimi ve ε_2 en küçük gerilimi ifade ederler. En büyük gerilimin doğrultusu;

$$\omega = \frac{e_{xy}}{e_1 - e_{xy}} \quad (4.103)$$

$$\beta = \arctan \omega \quad (4.104)$$

olarak bulunur. Sonuçların istatistik analizi için hesaplanan parametrelerin varyans - kovaryans matrisleri aşağıdaki gibi elde edilir. Çözüm vektörü,

$$\underline{\Phi} = [\Delta \gamma_{\max} \ e_1 \ e_2 \ \beta] \quad (4.105)$$

ve bu vektörün varyans - kovaryans matrisi

$$\underline{D}_{\Phi\Phi} = \underline{C} \underline{D}_{ee} \underline{C}^T \quad (4.105)$$

bulunur. Bu ifadede $\underline{D}_{ee}$ bilinmeyen parametrelerin kofaktörler matrisidir. $\underline{C}$ matrisi;

$$a = \frac{(e_{xx} - e_{yy})}{\gamma_{\max}} \quad (4.106)$$

$$b = \frac{4e_{xy}}{\gamma_{\max}} \quad (4.107)$$

$$c = \frac{1}{1+k^2} \cdot \frac{k}{\gamma_{\max}} \quad (4.108)$$

$$d = \frac{1}{1+k^2} \cdot \left(\frac{k}{e_{xy}} - \frac{2k^2}{\gamma_{\max}} \right) \quad (4.109)$$

$$k = \frac{2e_{xy}}{e_{xx} - e_{yy} + \gamma_{\max}} \quad (4.110)$$

olmak üzere

$$\underline{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ a & b & -a \\ \frac{1}{2}(1+a) & \frac{1}{2}b & \frac{1}{2}(1-a) \\ \frac{1}{2}(1-a) & -\frac{1}{2}b & \frac{1}{2}(1+a) \\ -c & d & c \end{bmatrix} \quad (4.111)$$

dir. Değerlendirmeler sonunda elde edilen parametrelerden e_{xx} , e_{xy} , ve e_{yy} birlikte, ϵ_1 ile ϵ_2 birlikte ve ayrı ayrı χ^2 dağılımına göre test edilmiştir (Harvey 1990, Wells 1971).

4.4.3 Marmara ağının genelleştirilmesi ve strain analizi sonuçları

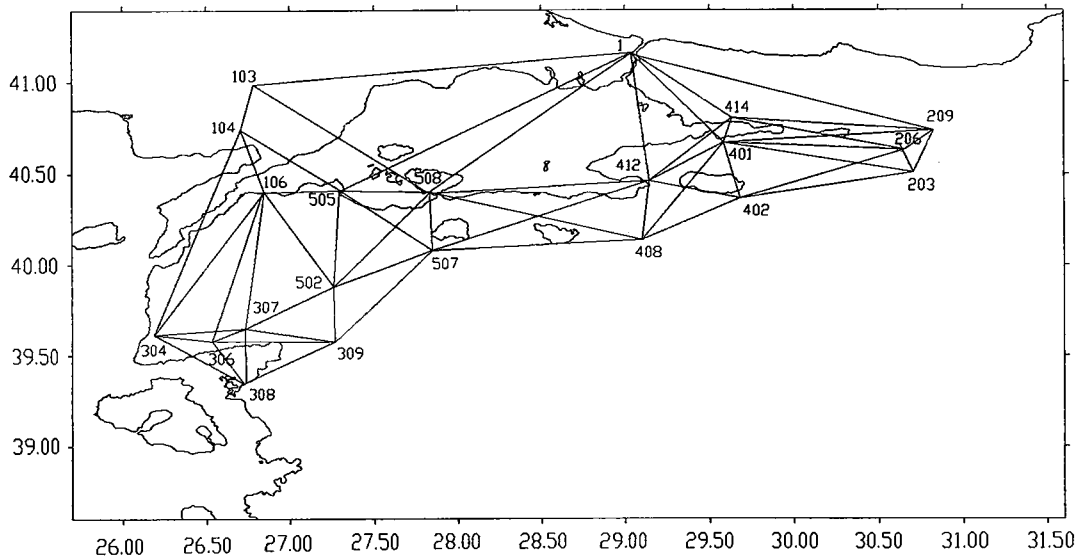
Marmara GPS ağında gerilim analizi için; üç boyutlu x, y, z jeosentrik koordinatlar ve bunların kovaryansları Bölüm 4.3.1 de açıklanan lokal sisteme dönüştürülmüş, bu dönüştürülmüş lokal sistemdeki x, y düzlem koordinat ve bunların kovaryansları kullanılmıştır.

P noktasındaki üç parametrenin dengelenerek elde edilmesi için en az dört kenara ihtiyaç vardır. Bu kenar gruplarının oluşturulması Marmara ağında her zaman mümkün olmadığından ağda bir genelleme yapılmıştır. Genelleme,

- strain parametreleri hesaplamak noktaların etrafında mümkün olduğunca homojen olarak dağılmış en az dört kenarın oluşturulması
- bölgelerin en az iki nokta ile temsil edilmesi
- bir nokta için oluşturulan kenarların mümkün olduğunca birbirlerine yakın uzunluklarda tutulması

göz önünde tutularak yapılmıştır.

Genelleme sonrası ağ Şekil 4.5 de görülmektedir.



Şekil 4.5: Genelleştirilmiş Marmara ağı

Genelleştirilmiş Marmara ağındaki gerilim parametrelerinin sayısal değerleri ve test büyüklükleri Tablo 4.5 'deki gibi bulunmuştur. Tablo 4.5 deki gerilim parametreleri $\mu\text{s/yıl}$ olarak verilmektedir.

Tablo 4.5: Gerilim parametrelerin sayısal değerleri ve test büyüklükleri

	N.No.:106	χ^2	Hipotez	N.No.:203	χ^2	Hipotez
e_{xx}	-0.07 ± 0.08			-0.19 ± 0.14		
e_{xy}	0.07 ± 0.08			0.32 ± 0.14		
e_{yy}	0.12 ± 0.09			-0.07 ± 0.10		
T	2.796	7.815	Geçersiz	6.957	7.815	Geçersiz
		χ^2			χ^2	
ϵ_1	0.15 ± 0.11			0.20 ± 0.15		
T_1	1.952	3.841	Geçersiz	2.583	3.841	Geçersiz
ϵ_2	-0.10 ± 0.07			-0.46 ± 0.17		
T_2	2.183	3.841	Geçersiz	9.593	3.841	Geçerli
T_{12}	2.651	5.991	Geçersiz	6.929	5.991	Geçerli
β	51.21 ± 18.59			123.33 ± 9.24		

Tablo 4.5: (Devam)

	N.No.:206	χ^2	Hipotez	N.No.:209	χ^2	Hipotez
e_{xx}	-0.25 ± 0.02			-0.18 ± 0.38		
e_{xy}	0.20 ± 0.01			0.34 ± 0.21		
e_{yy}	0.00 ± 0.01			-0.08 ± 0.08		
T	467.070	7.815	Geçerli	13.986	7.815	Geçerli
		χ^2			χ^2	
ϵ_1	0.11 ± 0.01			0.47 ± 0.13		
T_1	99.354	3.841	Geçerli	13.591	3.841	Geçerli
ϵ_2	-0.36 ± 0.02			-0.21 ± 0.34		
T_2	481.851	3.841	Geçerli	0.411	3.841	Geçersiz
T_{12}	466.292	5.991	Geçerli	13.733	5.991	Geçerli
β	126.36 ± 1.55			76.44 ± 21.52		

Tablo 4.5: (Devam)

	N.No.:304	χ^2	Hipotez	N.No.:306	χ^2	Hipotez
e_{xx}	0.04 ± 0.03			0.07 ± 0.19		
e_{xy}	0.02 ± 0.02			0.06 ± 0.17		
e_{yy}	-0.08 ± 0.02			-0.11 ± 0.13		
T	26.511	7.815	Geçerli	0.813	7.815	Geçersiz
		χ^2			χ^2	
ϵ_1	0.05 ± 0.02			0.09 ± 0.19		
T_1	3.892	3.841	Geçerli	0.241	3.841	Geçersiz
ϵ_2	-0.09 ± 0.02			-0.12 ± 0.16		
T_2	25.328	3.841	Geçerli	0.685	3.841	Geçersiz
T_{12}	25.137	5.991	Geçerli	0.691	5.991	Geçersiz
β	40.81 ± 12.25			71.98 ± 47.73		

Tablo 4.5: (Devam)

	N.No.:307	χ^2	Hipotez	N.No.:308	χ^2	Hipotez
e_{xx}	-0.05 ± 0.06	7.815	Geçersiz	-0.07 ± 0.05	7.815	Geçersiz
e_{xy}	0.12 ± 0.08			-0.04 ± 0.04		
e_{yy}	-0.08 ± 0.04			-0.09 ± 0.06		
T	4.818	7.815	Geçersiz	6.690	7.815	Geçersiz
		χ^2			χ^2	
ϵ_1	0.06 ± 0.07	3.841	Geçersiz	-0.04 ± 0.04	3.841	Geçersiz
T_1	1.694			0.969		
ϵ_2	-0.19 ± 0.10			-0.12 ± 0.06		
T_2	7.323	3.841	Geçerli	4.609	3.841	Geçerli
T_{12}	3.786	5.991	Geçersiz	6.538	5.991	Geçerli
β	129.25 ± 9.52			95.95 ± 40.35		

Tablo 4.5: (Devam)

	N.No.:309	χ^2	Hipotez	N.No.:401	χ^2	Hipotez
e_{xx}	0.04 ± 0.08	7.815	Geçersiz	-0.06 ± 0.04	7.815	Geçerli
e_{xy}	0.06 ± 0.07			0.14 ± 0.04		
e_{yy}	-0.09 ± 0.05			-0.02 ± 0.05		
T	3.744	7.815	Geçersiz	15.657	7.815	Geçerli
		χ^2			χ^2	
ϵ_1	0.07 ± 0.06	3.841	Geçersiz	0.10 ± 0.05	3.841	Geçerli
T_1	1.088			5.882		
ϵ_2	-0.12 ± 0.07			-0.18 ± 0.05		
T_2	2.842	3.841	Geçersiz	16.731	3.841	Geçerli
T_{12}	3.161	5.991	Geçersiz	15.651	5.991	Geçerli
β	94.21 ± 22.38			116.58 ± 8.16		

Tablo 4.5: (Devam)

	N.No.:402	χ^2	Hipotez	N.No.:408	χ^2	Hipotez
e_{xx}	-0.14 ± 0.01	7.815	Geçerli	-0.06 ± 0.02	7.815	Geçersiz
e_{xy}	0.08 ± 0.01			0.01 ± 0.02		
e_{yy}	-0.04 ± 0.00			-0.02 ± 0.01		
T	1634.262	7.815	Geçerli	7.242	7.815	Geçersiz
		χ^2			χ^2	
ϵ_1	0.00 ± 0.00	3.841	Geçersiz	0.02 ± 0.01	3.841	Geçersiz
T_1	0.939			2.261		
ϵ_2	-0.18 ± 0.00			-0.06 ± 0.03		
T_2	1605.932	3.841	Geçerli	6.156	3.841	Geçerli
T_{12}	1581.044	5.991	Geçerli	6.391	5.991	Geçerli
β	148.46 ± 1.83			55.04 ± 15.43		

Tablo 4.5: (Devam)

	N.No.:412	χ^2	Hipotez	N.No.:502	χ^2	Hipotez
ϵ_{xx}	-0.02 ± 0.02			0.09 ± 0.05		
ϵ_{xy}	0.10 ± 0.02			-0.00 ± 0.06		
ϵ_{yy}	-0.02 ± 0.02			-0.01 ± 0.09		
T	22.323	7.815	Geçerli	3.285	7.815	Geçersiz
		χ^2			χ^2	
ϵ_1	0.08 ± 0.02			0.09 ± 0.05		
T ₁	22.744	3.841	Geçerli	3.354	3.841	Geçersiz
ϵ_2	-0.12 ± 0.03			-0.01 ± 0.09		
T ₂	19.524	3.841	Geçerli	0.005	3.841	Geçersiz
T ₁₂	21.522	5.991	Geçerli	3.251	5.991	Geçersiz
β	111.90 ± 4.91			199.53 ± 41.81		

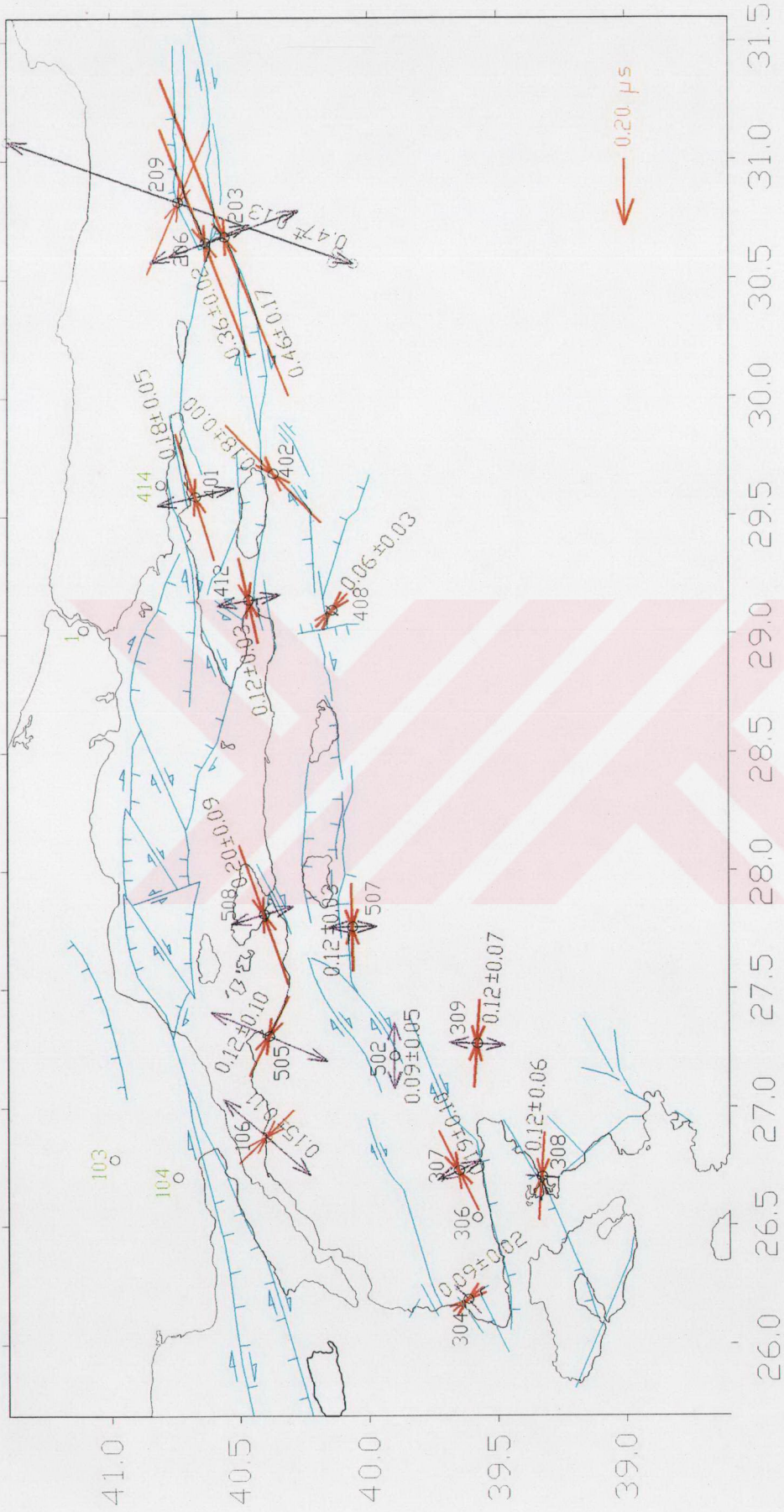
Tablo 4.5 (Devam)

	N.No.:505	χ^2	Hipotez	N.No.:507	χ^2	Hipotez
ϵ_{xx}	0.11 ± 0.20			-0.10 ± 0.03		
ϵ_{xy}	0.11 ± 0.11			0.06 ± 0.02		
ϵ_{yy}	-0.07 ± 0.10			-0.04 ± 0.02		
T	1.599	7.815	Geçersiz	26.391	7.815	Geçerli
		χ^2			χ^2	
ϵ_1	0.16 ± 0.20			0.06 ± 0.02		
T ₁	0.730	3.841	Geçersiz	11.248	3.841	Geçerli
ϵ_2	-0.12 ± 0.10			-0.12 ± 0.03		
T ₂	1.688	3.841	Geçersiz	23.350	3.841	Geçerli
T ₁₂	1.590	5.991	Geçersiz	26.105	5.991	Geçerli
β	69.75 ± 24.31			100.95 ± 7.31		

Tablo 4.5: (Devam)

	N.No.:508	χ^2	Hipotez
ϵ_{xx}	-0.09 ± 0.12		
ϵ_{xy}	0.14 ± 0.06		
ϵ_{yy}	-0.02 ± 0.06		
T	7.761	7.815	Geçersiz
		χ^2	
ϵ_1	0.09 ± 0.08		
T ₁	1.446	3.841	Geçersiz
ϵ_2	-0.20 ± 0.09		
T ₂	5.008	3.841	Geçerli
T ₁₂	5.129	5.991	Geçersiz
β	122.05 ± 16.04		

Tablo 4.5 'de bulunan asal gerilim sonuçlarının grafik gösterimi Şekil 4.6' deki gibidir.



Sekil 4.6: Gerilim parametrelerinden asal gerilim sonuçlarının grafik gösterimi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada GPS uydu sistemi kullanılarak geniş bir bölgede ve sayıca fazla alıcılardan elde edilen verilerden, Marmara Bölgesinde yer kabuğu hareketlerinin ve gerilimlerinin belirlenmesi problemi ele alınmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Marmara GPS ağ noktaları en az iki session ölçülecek şekilde planlanmış olmasına rağmen buna kısmen uyulamamıştır. Bunun nedenleri hava şartlarından dolayı noktalara geç ulaşma, hatta ulaşamama, bazı noktaların da özel mülk, tarihi eserlerin bulunduğu bölgelere yakın veya askeri kışla gibi ölçmeler için izin alınmasının her zaman kolay olmadığı yerlere tesis edilmiş olması olarak sayılabilir. Sonuçlara etkisinin büyük olabileceği göz önünde tutularak, istasyon noktalarının yerleri, buna benzer çalışmalarda daha dikkatli seçilmelidir.
- Ölçmeler her iki kampanyada WM 102 tipi çift frekanslı alıcılarla sürdürülmüştür. Bu alıcılar 1980' li yılların teknolojisiyle üretildiklerinden, ölçülerde çok sayıda faz sıçramalarına neden olmuş, ölçülerin kaydedildiği teyp kasetlerinden kaynaklanan kayıt bozuklukları nedeniyle de ölçü kayıpları oluşmuştur. Bunlar verilerin değerlendirilmesini zorlaştırmış, ölçülerin kalitesinin düşmesine neden olmuştur.
- Değerlendirmelere geçmeden önce bütün istasyon noktalarındaki veriler incelenmiş, sürekli istasyon ile en az veri kaybına neden olacak istasyon arasındaki baz doğrudan oluşturulmuş, diğer istasyonlara ait bağımsız bazlar da ,veri süreleri ve kaliteleri karşılaştırılarak mümkün olduğunca kısa oluşturulmuştur. Kısa bazların çözülmesinde büyük sorunlarla karşılaşılmamış olmasına rağmen, baz uzunluklarındaki artışla birlikte kayıtlardaki veri kayıpları çözümü zorlaştırmıştır. Bu aşamada aynı bazın ikinci sessionda da oluşturulması çözüme büyük katkı sağlamıştır. Bu tür, özellikle bazların uzun oluşturulmasını gerektiren ağlarda ölçme planı, uzun bazların en az iki kez oluşturulacağı göz önünde tutularak yapılmalıdır.

- Global değerlendirmelerden, iki ağ arasında signifikant dönmelerin olmadığı, ötelenmelerin olduğu, signifikant normal strain ve kesme gerilmelerinin olduğu ve beklendiği gibi ağda signifikant bir deformasyonun olduğu belirlenmiştir. Signifikant bir global dönmenin olmaması nedeniyle, tek noktaya (ITAY) bağlı olarak Straub 1996' da gerçekleştirilen deformasyon analizi sonuçları bu çalışma sonuçlarıyla büyük ölçüde uyumaktadır.
- Ağda üç boyutlu stabil nokta araştırması sonucunda, Avrasya plakası üzerindeki noktaların stabil nokta olarak belirlenmesi, bölgenin tektonik yapısıyla uyum içerisindedir. Sonuçlardan yüksekliklere ilişkin büyüklükler çıkarılarak düzlemde yapılan stabil nokta araştırması sonucunda bulunan noktalar, üç boyutlu analizle bulunan aynı noktalardan fazla olarak iki noktanın daha stabil olarak yorumlanması, düşey bileşenlerin etkilerinden kaynaklanmaktadır.
- Her iki yöntemle stabil nokta bloğuna göre bulunan deformasyon vektörleri, bölgedeki diğer araştırmalarla karşılaştırıldığında, bölgenin tektonik yapısıyla uyum göstermektedir. Fakat, düşey bileşenlere ilişkin büyüklükleri ayırmadan yapılan değerlendirmeler jeodezik temelleren daha yakın olması nedeniyle, üç boyutlu analizin sonuçları esas alınmış, buradan elde edilen deformasyon vektörlerinin büyüklükleri ve yönleri, bölgelere göre aşağıdaki gibi bulunmuştur:
 - kuzey anadolu fayının  kola ayrıldığı bölge olan 2. bölgede vektörler ortalama $294^{\circ}.5$ 'lık azimutta 11.8 mm/yıl 'lık bir hareket,
 - kolların e ayrıldığı 4. bölgede vektörler ortalama $302^{\circ}.2$ 'lık azimutta 15.8 mm/yıl 'lık bir hareket,
 - kuzey kol' a yakın olan 1. bölgede ortalama $294^{\circ}.8$ azimutla ortalama 14.5 mm/yıl 'lık bir hareket,
 - orta kolu temsil eden ve etrafında yoğunlaşmış noktaların temsil ettiği bölge olan 5. bölgede ortalama $283^{\circ}.6$ 'lık azimutta ortalama 19.5 mm/yıl 'lık bir hareket, ve

- güney kol etrafında yoğunlaşmış noktaların temsil ettiği 3.bölgede vektörler ortalama $278^{\circ}5$ bir azimutla yine ortalama 17.1 mm/yıl 'lık bir hareket göstermiştir.

Elde edilen sonuçlar, Marmara' yı çevreleyen bölgede iki peryod ölçüleri arasında bölgenin kuzey doğusundan' dan güney batısına doğru hızlarda genel olarak bir artışı ve vektörlerin yönlerinde güneye doğru yönelme trendi olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, hızlarda Bolu bölgesinden batıya doğru bir artış olacağını ifade eden jeofiziksel tahminlerle oldukça iyi uyum sağlamaktadır. Ayrıca, vektörlerin doğrultusuyla bölgedeki fay doğrultuları arasında büyük ölçüde uyum olduğu görülmektedir.

- Gerilim analizi sonuçlarından;
 - En büyük uzama gerilim birikiminin 2. bölgede, (kuzuluk çevresi) $0.47 \text{ } \mu\text{s/yıl}$ mertebesinde olduğu ve doğrultusunun bu bölgedeki deformasyon vektörü doğrultusu ile uyduğu
 - 2. bölgeden itibaren 401, 412, 508, 505 ve 106 nolu noktaları birleştiren hatta dik olarak $0.1 \text{ } \mu\text{s/yıl}$ 'lık bir significant uzama geriliminin mevcut olduğu
 - 408, 507, 309, 306, 304 noktalarını birleştiren hatta dik doğrultuda uzama geriliminin $0.05 \text{ } \mu\text{s/yıl}$ olduğu görülmektedir.

Gerilim analizinde, Avrasya plakası üzerindeki stabil noktalar da kullanılmıştır. Bu nedenle, bu plakaya yakın noktalarda elde edilen $0.1 \text{ } \mu\text{s/yıl}$ büyüklüğündeki uzama geriliminin rijit plaka hareketi sonucunda ortaya çıkmış olabileceği olasılığı düşünülmektedir.

- En büyük basınç gerilimi yine 2. bölgede ve $0.46 \text{ } \mu\text{s/yıl}$ mertebesinde.

Genel olarak 2., 4. ve 5. bölgelerde doğu - batı doğrultusunda ortaya çıkan basınç gerilimleri 3. bölgede kuzey doğu - güney batı doğrultusuna doğru dönmektedir.

- 2. bölge dışında diğer bölgelerde $0.06 \text{ } \mu\text{s/yıl}$ - $0.18 \text{ } \mu\text{s/yıl}$ ve ortalama $0.14 \text{ } \mu\text{s/yıl}$ mertebesinde bir basınç gerilim birikimi bulunmuştur.

- Gerilim analizinden elde edilen sonuçlar, kolların birbirlerinden ayrılma trendi gösteren Bursa bölgesinin doğusunda ve kolların ayrılmasından sonra ana fay hattı

özelliğinde olan kuzey kol' un devamında rijit plaka özelliğinden kaynaklanan anlamlı ve büyük gerilimlerin olduğunu göstermiştir. Bu bölgede, faydan uzaklaştıkça gerilmelerin azalması, rijit plaka hareketlerde, deformasyon ve gerilimlerin fay sınırı boyunca gerçekleşmesi özelliğinden kaynaklanmaktadır. Bursa bölgesinin güneyinde, güney batısında ve Ege bölgesinin kuzey batısında yer alan noktalarda, bu noktaların stabil noktalarla bağlantısı olmamasına rağmen anlamlı gerilmeler görülmüştür. Bu sonuç, bu bölgenin tektonik yapısının aynı özelliği göstermediğini işaret etmektedir. Eğer aynı özellik söz konusu olsaydı, bu bölgenin kuzey kol ile uzaklığı ve stabil nokta bloğundaki noktalarla bağlantısının olmaması nedeniyle gerilimlerin olmamasını gerektirmektedir. Buna göre buradaki gerilmeler, bu bölgenin kuzey kol ile güney kol arasında bir iç deformasyon etkisi altında kaldığını göstermektedir.

- Jeodinamik amaçlı jeodezik çalışmalarda, ölçme, değerlendirme ve analiz aşamalarında karşılaşılabilecek sorunları azaltmak için ağ tasarımına ve ölçme dizaynine özen gösterilmelidir. Büyük ve karmaşık ağ yapılarında ortaya çıkan ölçme ve değerlendirme problemleri, bu çalışma ile bir kez daha vurgulanmıştır.
- Ağı mutlak sistemde ifade etmek için, ağın stabil nokta bloğundaki en az bir noktası ITRF veya benzeri bir sisteme bağlanmalıdır.
- Obje noktası fazla olan buna benzer ağlarda stabil blokta daha fazla nokta tesis edilmelidir.
- Günümüzde artık sürekli en az dört uydunun ufkun 15^0 üzerinde gözlenebilir olması nedeniyle, düşey bileşenleri etkileyen atmosferik etkileri azaltmak için mümkün olduğunca gece ölçmeleri tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Aksoy, A., ve diğeri, (1994), Bericht über das Projekt GEODAETISCHE ÜBERWACHUNGSMESSUNGEN, Eine Zusammenarbeit zwischen TU - Berlin und TU - Istanbul, İTÜ İnşaat Fakültesi, No. 1790
- Altınır, Y., (1993), SLR ve GPS çözümlerine göre Anadolu' nun Tektonik yapısı, 4.Harita Kurultayı, S 37 - 54
- Anderson, P. H. and Hauge S., (1992), GPS Orbit Determination And Relative Positioning Using Data From The GIG 91 Campagne, Proceedings, 6 th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Volume 1, S. 418 - 428
- Ashkenazi, V., ve diğeri, (1989), Orbit determination for GPS Satellites, Global Positioning System: An Overview, Symposium No. 102, Edinburg, Scotland
- Baarda, W., (1981), S - Transformations And Criterion Matrices, Netherland Geodetic Commision, Publications On Geodesy, Volume 5, Nr. 1, Second Revised Edition
- Barka, A., (1997), Neotectonics of the Marmara Region, Active Tectonics of Northwestern Anatolia- The Marmara Poly - Project, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich
- Barka, A. A., (1992), The North Anatolian fault zone, Anales Tectonicae, Special Issue, Supplement to Volume 6, S 164 - 195
- Başkaya, B., (1995), S - Transformasyonu ve Yatay Kontrol Ağlarında Deformasyon Analizi, Y. Lisans Tezi
- Baumann, E., (1994), Kombination von GPS- und terrestrischen Messungen, Einstieg in die GPS-Praxis, GPS-Seminar, Tagungsband 26, Fachhochschule für Technik, Stuttgart
- Beutler, B., ve diğeri, (1987), Correlations between simultaneous GPS double difference carrier phase observations in the multistation mode: Implementation considerations and first experiences, manuscripta geodetica, 12:40 - 44

- Beutler, G., ve diğerleri, (1989), Evaluation of the 1984 Alaska Global Positioning System Campaign with the Bernese GPS Software, Journal of Geophysical Research, Vol.92, No. B2. Pages 1295-1303
- Blewitt, G., (1990), GPS Techniques For Monitoring Geodynamics At Regional Scales, Second International Symposium on GPS, S 495 - 507, Canada
- Blewitt, G., and Lichten, S., (1992), GPS Carrier Phase Ambiguity Resolution up to 12000 km: Results from the GIG' 91 Experiment, Proceedings, 6 th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Volume 1, S. 462-471
- Bock, Y., (1985), Establishment Of Three- Dimensional Geodetic Control by Interferometry With the Global Positioning System, Journal Of Geophysical Research, Vol. 90, No.89, S. 7689-7703
- Boucher, C. and Altamini, Z., (1992), The IERS Terrestrial Reference System, Proceedings, 6 th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Volume 1, S. 47 - 55
- Brunner, F. K., Coleman, R., (1989), Strain Effects Near Palmdale Associated With the San Fernando Earthquake (1971), Journal Of Geophysical Research, Vol.94, No. B5, Pages 5651 - 5658
- Byerhammar, A., (1973), Theory of Errors and Generalized Matrix Inverses, Elsevier Scientific Publishing Company, New York
- Caspary, W. F., (1987), Concepts of Network Analyses, Edited by J.M.Rüger, School of Surveying, University of New South Wales, Australia
- Chen, R., (1991), On The Horizontal Crustal Deformations in Finland, Reports Of The Finnish Geodetic Institute, 91:1, Helsinki
- Chrzanowski, A., Chen, Y., (1994), Modelling of GPS systematic errors in monitoring and control surveys, Journal of Surveying Engineering, Vol.120, No.4
- Demirel, H., (1987), S - Transformasyonu ve Deformasyon Analizi, Türkiye 1. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı
- Deniz, R., ve diğerleri, (1993), Determination Of Crustal Movements In Turkey By Terrestrial Geodetic Methods, Journal of Geodynamics, Vol. 18, Nos 1-4, pp. 13 - 20

- Dong, D. N., Bock, Y., (1989), Global Positioning System network analysis with phase ambiguity resolution applied to crustal deformation studies in California, *Journal of Geophysical Research*, Vol.94, No. B4. Pages 3949-3966
- Genrich, G. F., Y.Bock, (1992), Rapid Resolution of Crustal Motion at Short Ranges With the Global Positioning System, *Journal of Geophysical Research*, Vol.97, No. B3. Pages 3261-3269
- Gerstenecker, C., (1994), Spaceborne Techniques in Geodesy, Lecture Notes, S 1 - 47
- Harvey, B. R., (1990), Practical Least Squares and Statistics for Surveyors, School of Surveying, University of New South Wales, Australia
- Hermann, B. R., (1992), Five Years of Absolute Positions at the Naval Surface, Proceedings, 6 th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Volume 1, S. 522 - 529
- Illner, I., (1983), Freie Netze und S - Transformation, AVN, S.158-170, 90. Jg., Heft 5,
- Illner, I., (1985), Datumsfestlegung in freien Netzen, Dissertationen, DGK, Reihe C, Heft Nr. 309, München
- Illner, M. R., Klees, (1993), Auswertung von GPS - Beobachtungen und Ergebnisanalyse, GPS und Integration von GPS in Bestehende Geodaetische Netze, Unveraenderte Vervielfaeltigung des Sonderheftes 38. Jahrgang der Mitteilungen des Deutschen Vereins für Vermessungswesen (DVW) vom 6.10.1993, Geodaetisches Institut Universitaet Karlsruhe (TU)
- Jackson, J., Hanes, J., Holt, W., (1992), The Horizontal Velocity Field in the Deforming Aegean Sea Region Determined From the Moment Tensors of Earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 97, No. B12, Pages 17657 - 17684
- Jaeger, R., Van Mierlo J., (1993), Genauigkeit, Zuverlaessigkeit und Ergebnisinterpretation bei der Planung und Ausgleichung von GPS-Konfigurationen und der GPS-Integration in bestehende Netze, Unveraenderte Vervielfaeltigung des Sonderheftes 38. Jahrgang der Mitteilungen des Deutschen Vereins für Vermessungswesen (DVW) vom 6.10.1993, Geodaetisches Institut Universitaet Karlsruhe (TU)

- Jivall, L., (1992), GPS For Geodetic Control Surveying In Sweden, Proceedings, 6 th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Volume 1, S. 501 - 510
- Johnson, H. O., Wyatt, F. K., (1994), Geodetic network design for fault-mechanics studies, *manuscripta geodetica*, 19:309 -323
- Kahle, H. G., (1989), Beitrag der Geodäsie zur Geodynamik, *Geodätisch - Geographische Arbeiten in der Schweiz*, Neununddreissigster Band, S 19 - 29
- Kakkuri, J., (1992), The Stress Phenomenon in the Fennoscandian Shield, Lecture Notes, NKG Autumn School in Helsinki, Helsinki
- Kato, T., (1992), Initial Baseline Analyses of the "GPS Japan" Project, Proceedings, 6 th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Volume 1, S. 591 - 599
- Klees, R. und Illner, M., (1993), Aspekte der Planung von GPS - Projekten, GPS und Integration von GPS in bestehende Geodätische Netze, Unveränderte Vervielfältigung des Sonderheftes 38. Jahrgang der Mitteilungen des Deutschen Vereins für Vermessungswesen (DVG) mit Genehmigung des DVG - Landesvereins vom 6.10.1993, Geodätisches Institut Universität Karlsruhe (TU)
- Körner, H., (1968), Die Berechnung einer Raumtriangulation im System der Dreidimensionalen Geodäsie, Dissertationen, Bonn
- Landau, H., (1990), GPS Processing Techniques in Geodetic Networks, Second International Symposium on GPS, S 373 - 386, Canada
- Leick, A., (1990), GPS Satellite Surveying, S.241-243, *Vermessungswesen bei Konrad Wittwer*
- Lima, N., (1992), Experiences with different GPS Software Packages, Proceedings, 6 th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Volume 1, S. 614 - 627
- Ma, C., Watkins M.M., (1994), Global Reference Frame: Intercomparison of Results (SLR, VLBI, GPS), Satellite Laser Ranging in the 1990 s, Report of the 1994, NASA Conference Publication 3283, Maryland

- Marel, V.d. H., (1990), Statistical testing and quality analysis of GPS networks, Second International Symposium on GPS, S 935 - 949, Canada
- Marti, U., Kahle, H. G., Aksoy, A., Deniz, R., (1991), GPS-Projekt Marmara, Dokumentation der ersten Messkampagne, Eidgenössische Technische Hochschule, Bericht 179, Zürich
- Marti, U., Kahle, H.G., Sanli, I., (1992), The 1990 Marmara GPS Campagne, Eidgenössische Technische Hochschule, Bericht 198, Zürich
- McKenzie, D., (1972), Active Tectonics of the Mediteean Region, Geophys. J. R. astr. Soc., 30, 109 - 185
- Mierlo, V.J., (1997), Geodetic Deformation Analyses Alternative Similarity and Congruency Tests, Second Turkish - German Joint Geodetic Days, Berlin
- Mireault, Y., Logan, Mt., (1994), GPS Campagn: Ellipsoidal Heigt Determination, Geomatica, Vo.48, No.4, 315 - 326
- Müller, I. I., (1990), Reference Coordinate Systems: An Update, Second International Symposium on GPS, S 153 - 193, Canada
- Niemeier, W., (1980 a), Hypotesentests in Geodaetischen Netzen, Geodaetische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung, Herausgegeben von Hans Pelzer, Band 5, Teil 4), S. 305 - 325
- Niemeier, W., (1980 b), Kongruenzprüfung in geodaetischen Netzen, Geodaetische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung, Herausgegeben von Hans Pelzer, Band 5, Teil 6, S. 511 - 527
- Niemeier, W., (1985 a), Netzqualitaet und Optimierung, Geodaetische Netze in Landes- und Vermessungswesen, Herausgegeben von Hans Pelzer, Band 13, Teil a, S.153 - 224
- Niemeier, W., (1985 b) Deformationsanalyse, Geodaetische Netze in Landes- und Vermessungswesen, Herausgegeben von Hans Pelzer, Band 13, Teil c-15, S.559 - 623
- Niemeier, W., (1989), Zur Zuverlaessigkeit geodaetischer Systeme - Problemformulierung und Lösungsansaezte, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universitaet Hannover, Nr. 153, Hannover
- Oral, M. B., Reilinger R. E., and Toksöz M. N., Barka A. A., Kınık İ., (1992), Preliminary Results of 1988 and 1990 GPS Measurements in Western

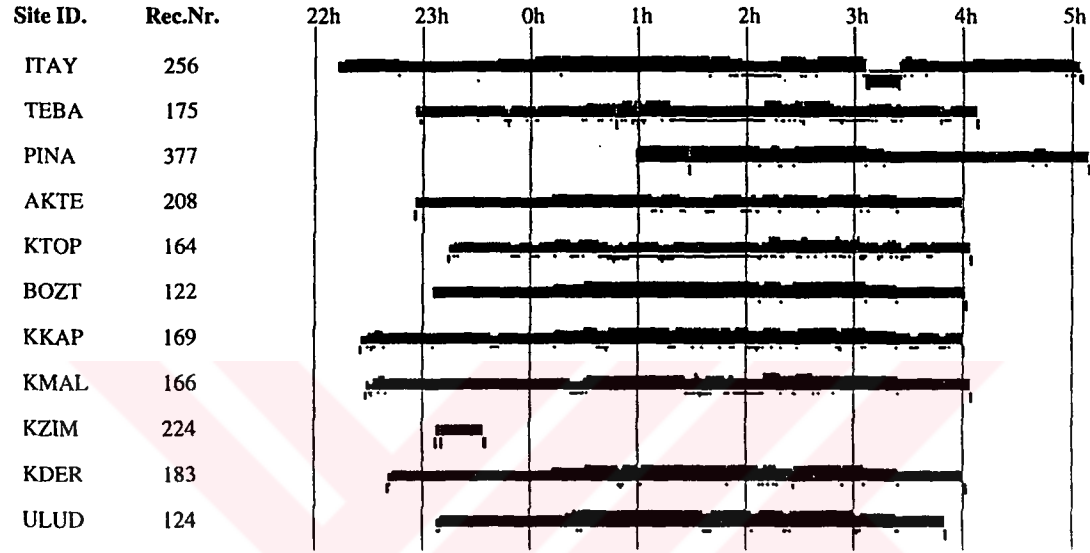
Turkey and their Tectonic Implications, Contributions of Space Geodesy of Geodynamics, edited by D. Smith and D. Trucotte, AGU Geodynamics Series, 23, S. 407 - 416

- Öztürk, E., (1982), Jeodezik Ağlarda Güven Ölçütleri ve Ölçme Planının Enuygunlaştırılması, K.T.Ü. Yayın No 149, Trabzon
- Pavoni, N., (1994), Crustal Deformation in Anatolia - Concepts and Prospects, Proceeding of the first Turkish International Symposium on Deformations, 1994, S 30 - 39, edited by M.Şahin and P.A.Cross
- Pelzer, H., (1985), Grundlagen der mathematischen Statistik und der Ausgleichungsrechnung, Geodaetische Netze in Landes- und Vermessungswesen, Herausgegeben von Hans Pelzer, Band 13, Teil a-1, S.3 - 120
- Reilinger, R., McClusky, S., Oral, B., King, R., and Toksoz, M. N. (MIT), Barka, A. (İTÜ), Kınık, İ., Lenk, O., and Sanlı, İ., (GCM), (1997a), Global Positioning System Measurements of Present - Day Movements in the Arabia - Africa - Eurasia Plate Collision Zone, Journal Of Geophysical Research
- Reilinger R., Aykut Barka, (1997b), GPS Constraints on fault slip rates in the Arabia - Africa - Eurasia plate collision zone: Implications for earthquake recurrence times,
- Rotacher, M., (1992), Orbits of Satellites Systems in Space Geodesy, Geodaetisch - geographische Arbeiten in der Schweiz, Volume 46
- Rothcher, M., Beutler G., Gurtner W., Brockmann E., Mervart L., (1993), Bernese GPS Software Version 3.4, Dokumentation
- Schindler, C., (1993), The Marmara Poly - Project: Tectonics and recent crustal movements revealed by space - geodesy and their interaction with the circulation of groundwater, heatflow and seismicity in Northwestern Turkey, Terra Nova, 5 S. 164 - 173
- Schneider, D., Vanicek, P., (1991), A New Look at the U.S. Geological Survey 1970 - 1980 Horizontal Crustal Deformation Data Around Hollister, California, Journal Of Geophysical Research, Vol.96, No. B13, Pages 21641 - 21657
- Seeber, G., Satellite Geodesy, 1993, S. 16, 326 - 327, 468 - 473, Walter de Gruyter

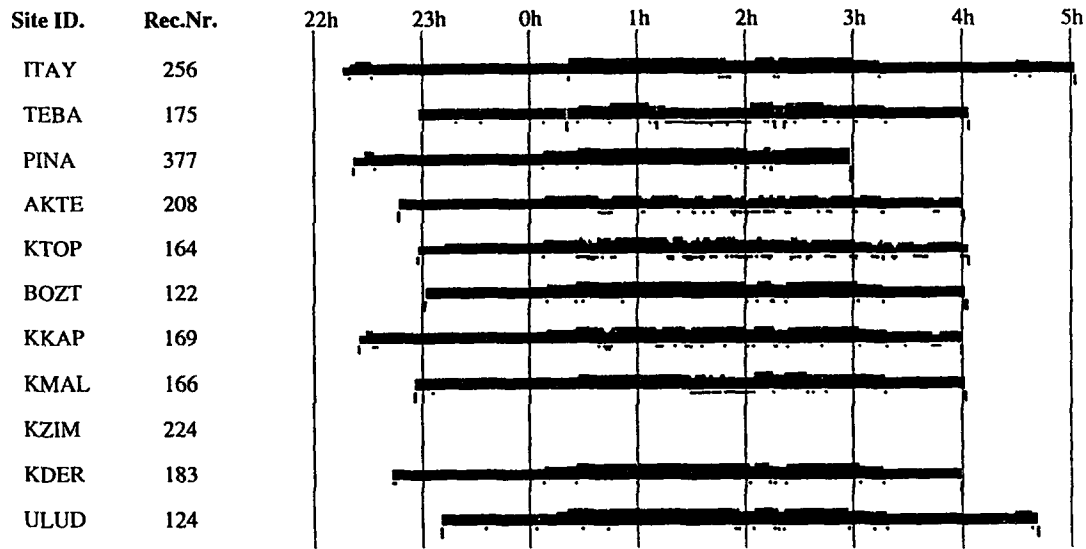
- Siegl, S., (1989), Bedeutung geodaetischer Raumverfahren für Landesvermessung und Geodynamik, Geodaetisch - geographische Arbeiten in der Schweiz, Neununddreissigster Band, S 1 - 17
- Stein, R. S., and Lisowski, M., (1983), The 1979 Homestead Valley Earthquake Sequence, California: Control of Aftershocks and Postseismic Deformation, Journal Of Geophysical Research, Vol.88, No. B8, Pages 6477 - 6490
- Strang van Hees, G. L., (1982), Variance - Covariance Transformations of Geodetic Networks, Manuscripta Geodetica, Vol.7, S. 1 - 20
- Straub, C., Kahle, H. G., Aksoy, A., Deniz, R., (1992), GPS Projekt Marmara, Report of the second Campagne August/September 1992, Eidgenössische Technische Hochschule, Bericht 208, Zürich
- Straub, C., (1996), Recent Crustal Deformation and Strain Accumulation in the Marmara Sea Region, N.W. Anatolia, inferred from GPS Measurements, Institute für Geodaesie und Photogrammetrie, Mitteilungen Nr.58, Zürich
- Şengör, C., (1980), Türkiyenin Neotektoniğinin esasları, Türkiye Jeoloji Kurumu
- Vigue, Y., Blewitt, J., Lichten S.M., Helfin M. B. and Malla R.P., (1992), Using the Global Positioning System for Precise Determination of Geocentric Station Coordinates, Proceedings, 6 th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Volume 1, S. 409 - 417
- Wellenhof, B. H., ve diğerleri, (1989), Österreichische Beiträge zum Wegener-Medlas-Projekt, Mitteilungen der geodaetischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 65, Graz
- Wellenhof, B. H., Lichtenegger H., Collins J., (1992), Some GPS Surveying Problems, Proceedings, 6 th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Volume 1, S. 336 - 344
- Wells, D. E., Krakiwsky, E. J., (1971), The Method Of Least Squares, Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick Fredericton N.B, Lecture Notes No. 18, Canada
- Welsch, W. M., (1993), A general 7 - parameter transformation for the combination, comparison and accuracy control of terrestrial and satellite network observations, manuscripta geodetica, 18:295 - 305
- Westaway, R., (1992), Measurement of Tektonik Deformation in Western Turkey using GPS Satellite Geodesy, Modern Geology, Vol 16, pp.251 - 277

- Westaway, R.,(1994), Evidence for dynamic coupling of surface processes with isostatic compensation in the lower crust during active extension of western Turkey, Journal of Geophysical Research, Vol 99 NOB10, pages 20203 - 20223
- Wiget, A., ve diğeri,(1990), High - precision regional crustal motion network in Switzerland, Second International Symposium on GPS, S 835 - 852, Canada
- Wild, U., (1984), Ionosphere and Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modelling and Monitoring, Geodaetisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Volume 48
- Wirth, B., (1990), Höhengsysteme, Schwerepotentiale und Niveauflächen, Geodaetisch - geographische Arbeiten in der Schweiz, Zweiundvierzigster Band, S 1 -30
- Wolf, H., (1968), Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate, Dümmlerbuch 7820, Bonn
- Wolf, H., (1975), Ausgleichungsrechnung, Formeln zur praktischen Anwendung, Dümmler Buch 7835, Bonn
- Wübbena, G.,(1991), Zur Modellierung von GPS - Beobachtungen für die hochgenaue Positionsbestimmung, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr.168
- Xu, P., Grafarend, E., (1995), A multi - objektive second order optimal design for deforming networks, Geophys. J. Int. 120, S. 577 - 589
- Yüzer, E., Schindler, C., (1989), Tectonic Activity and its interactions with Groundwater Circulation, Geothermics and Seismicity (Study Area NW - Turkey), Agreement between Technical University İstanbul (İTÜ) and Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zürich) upon The Entire Project, Polyproject Reg. Nr. 08818/41 - 31995
- Zaiser, J., (1984), Ein dreidimensionales geometrisch - geophysikalisches Modell für konventionelle geodaetische Beobachtungen - Beobachtungsfunktionale, Parameterschätzung und Deformationsanalyse-, Deutsche Geodaetische Kommission, Dissertationen, München

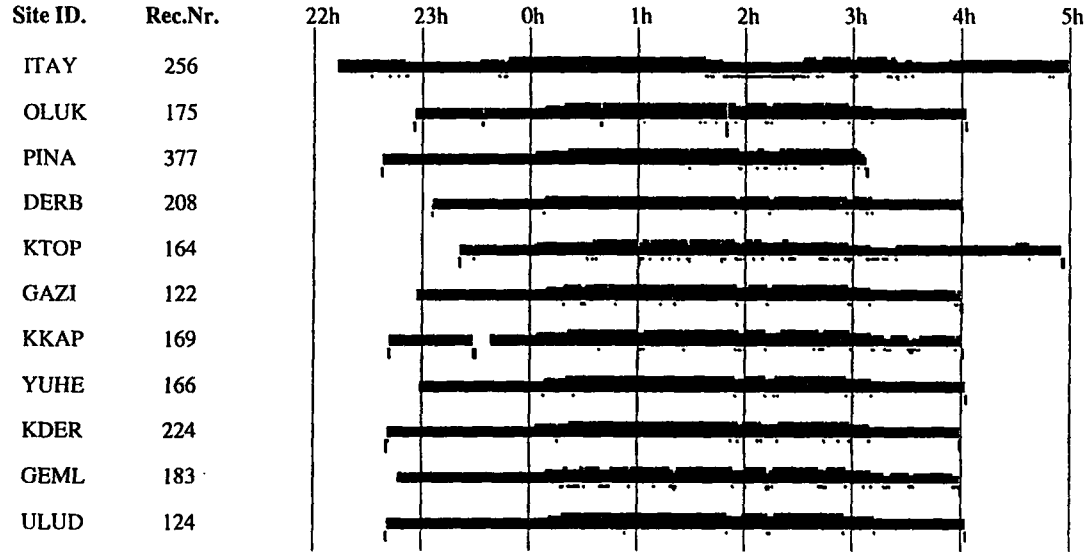
EK A: 1990 yılı Marmara GPS kampanyasında elde edilen verilerde, istasyon noktalarındaki kayıt sürelerinin ve frekans kayıplarının gösterimi. Şekillerde Site ID (Site Identification) nokta ismini, Rec.Nr. (Receiver Number) alıcı numarasını göstermektedir.



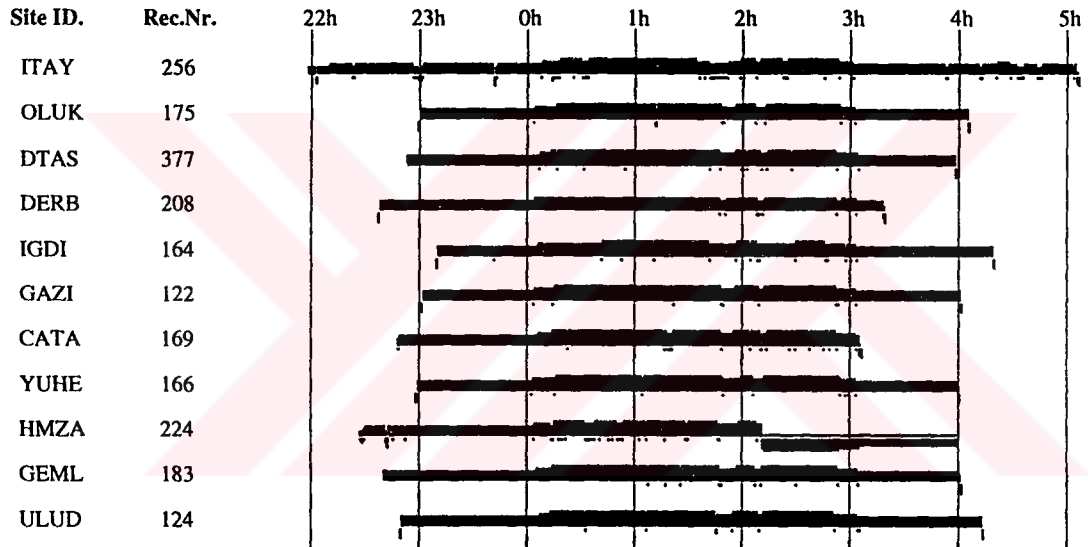
Şekil A.1 Marmara 90; Session 1, 12/13 Eylül 1990



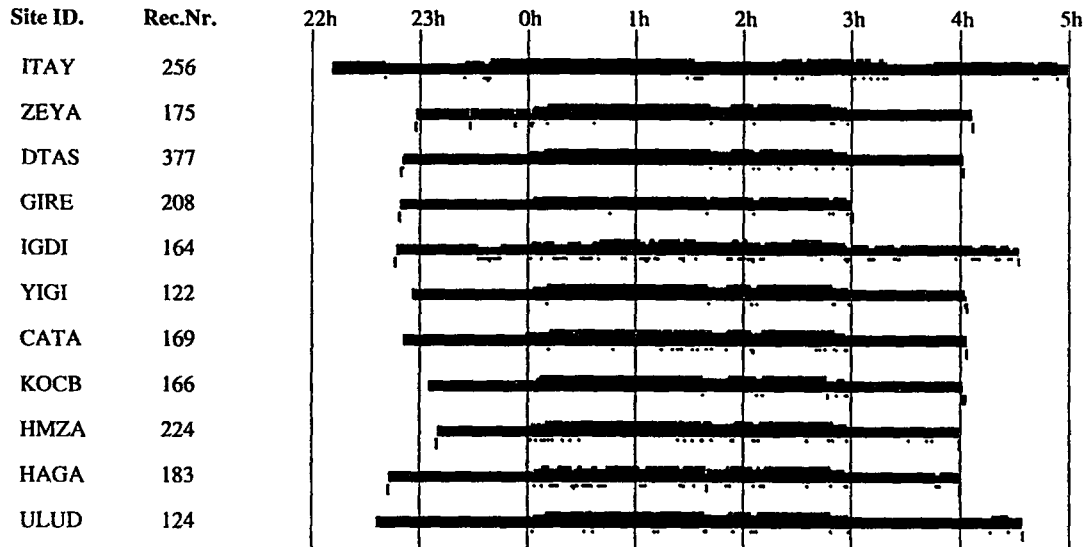
Şekil A.2 Marmara 90; Session 2, 13/14 Eylül 1990



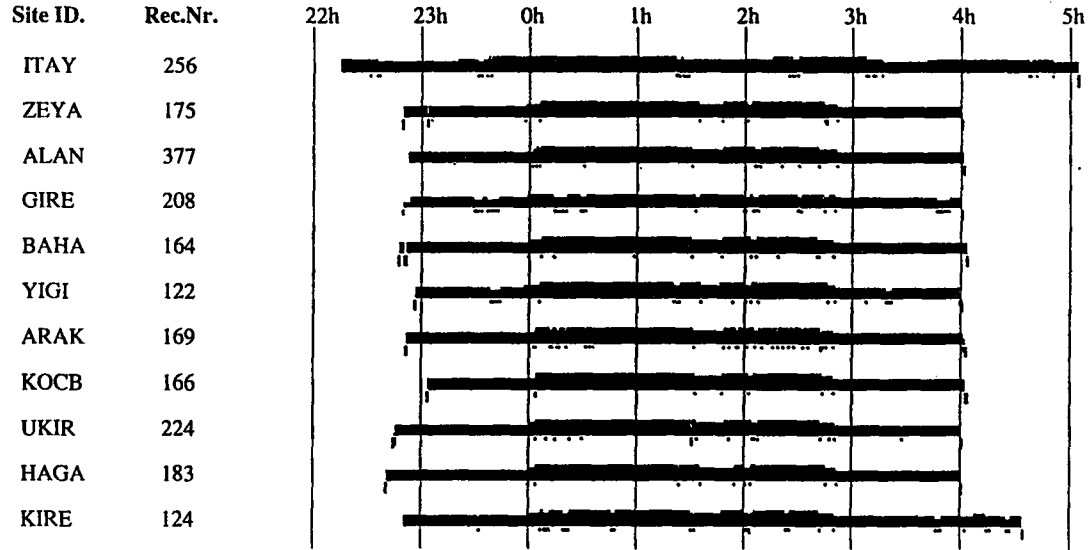
Şekil A.3 Marmara 90; Session 3, 14/15 Eylül 1990



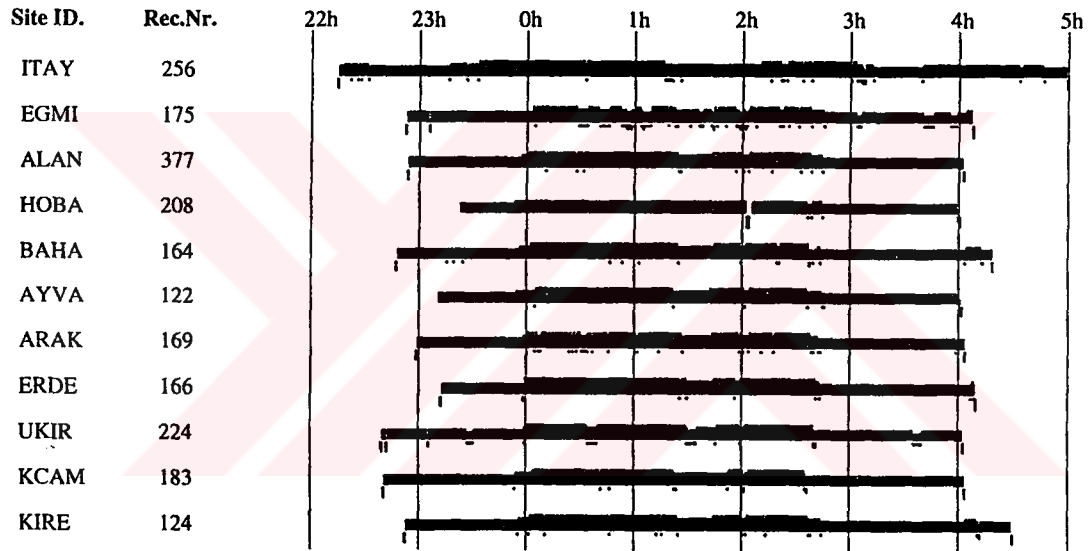
Şekil A.4 Marmara 90; Session 4, 15/16 Eylül 1990



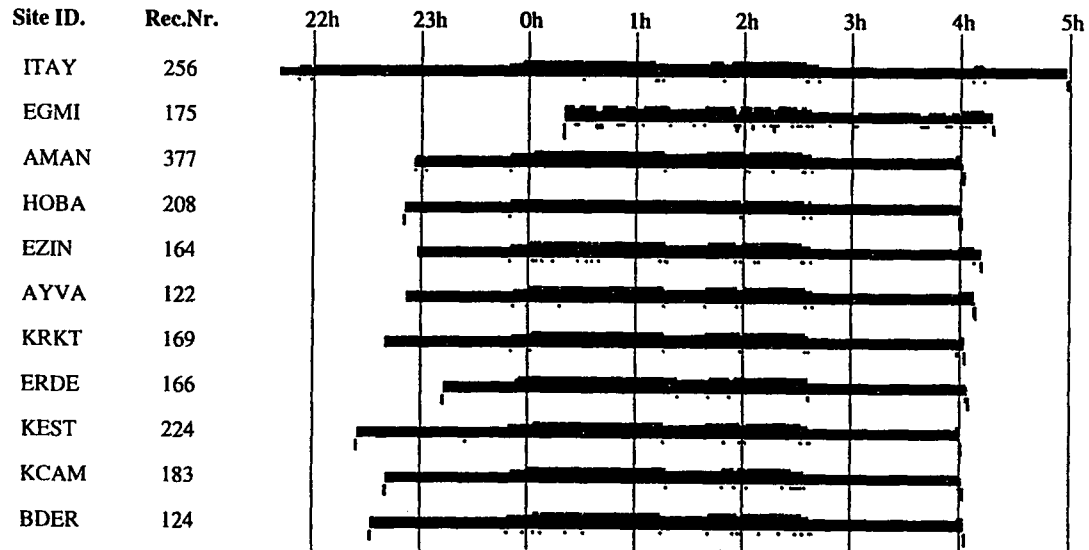
Şekil A.5 Marmara 90; Session 5, 16/17 Eylül 1990



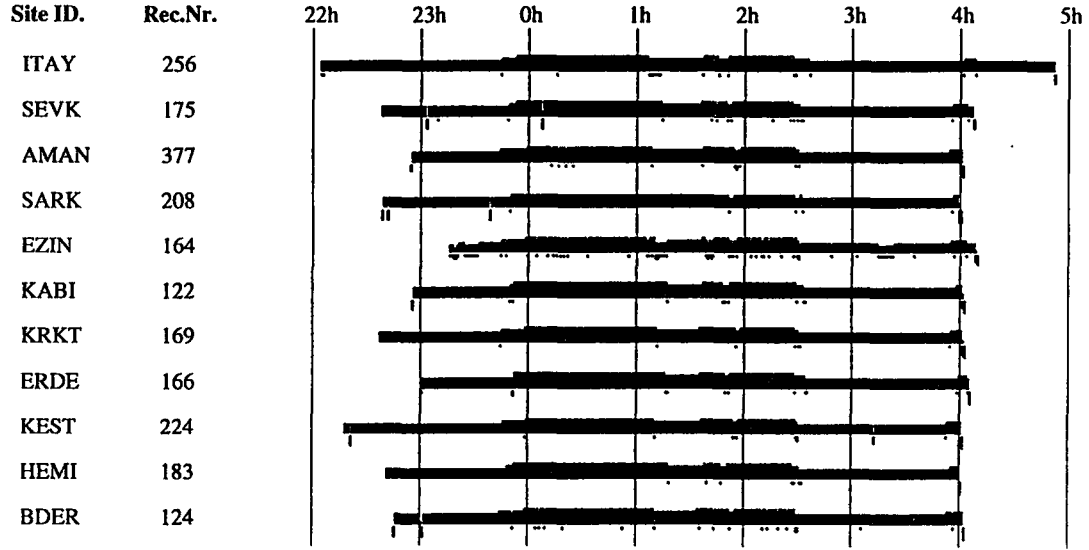
Şekil A.6 Marmara 90; Session 6, 17/18 Eylül 1990



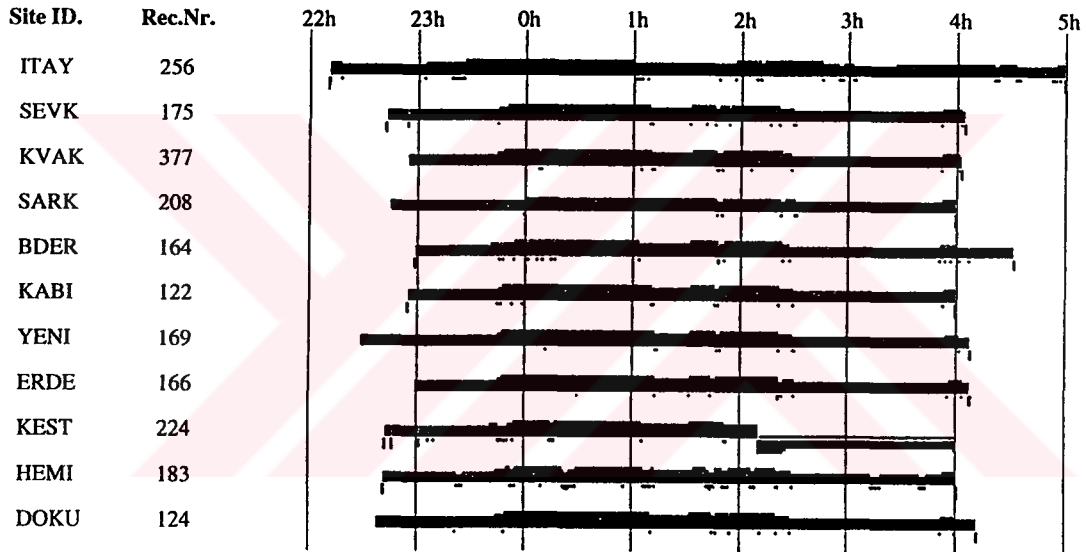
Şekil A.7 Marmara 90; Session 7, 18/19 Eylül 1990



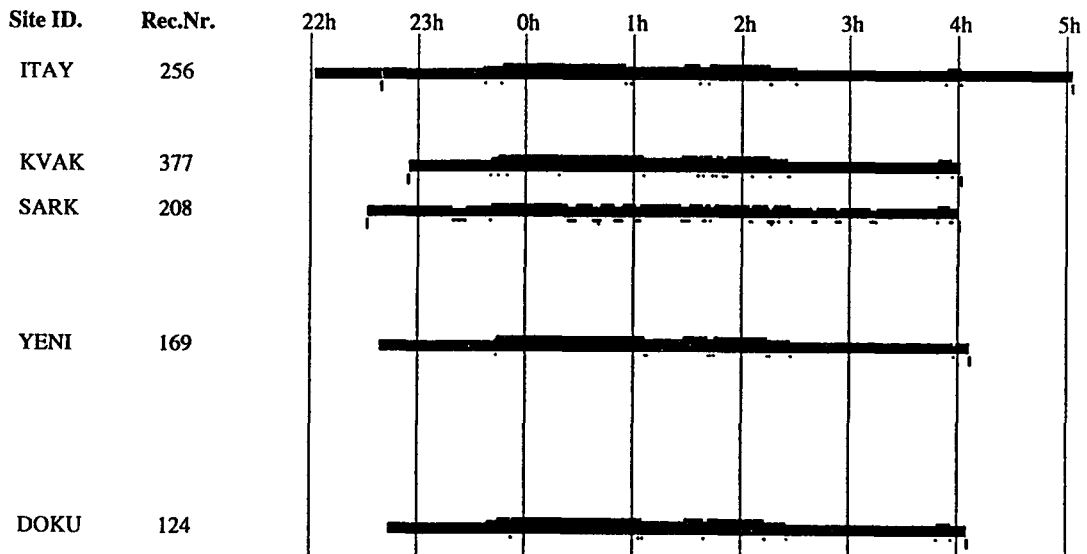
Şekil A.8 Marmara 90; Session 8, 19/20 Eylül 1990



Şekil A.9 Marmara 90; Session 9, 20/21 Eylül 1990

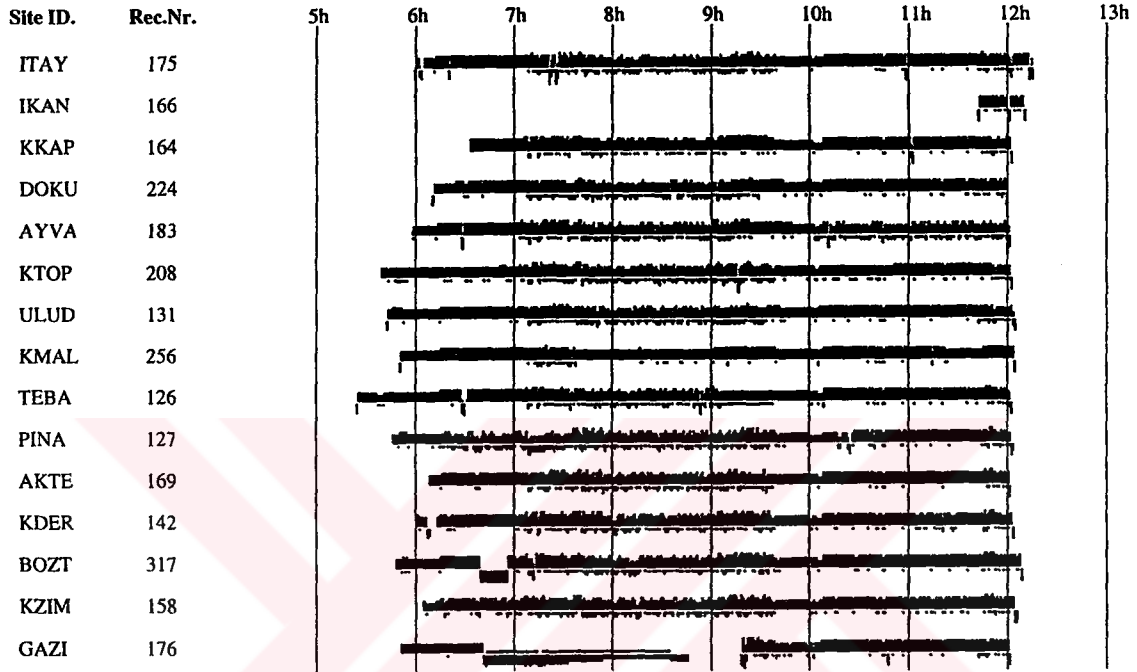


Şekil A.10 Marmara 90; Session 10, 21/22 Eylül 1990

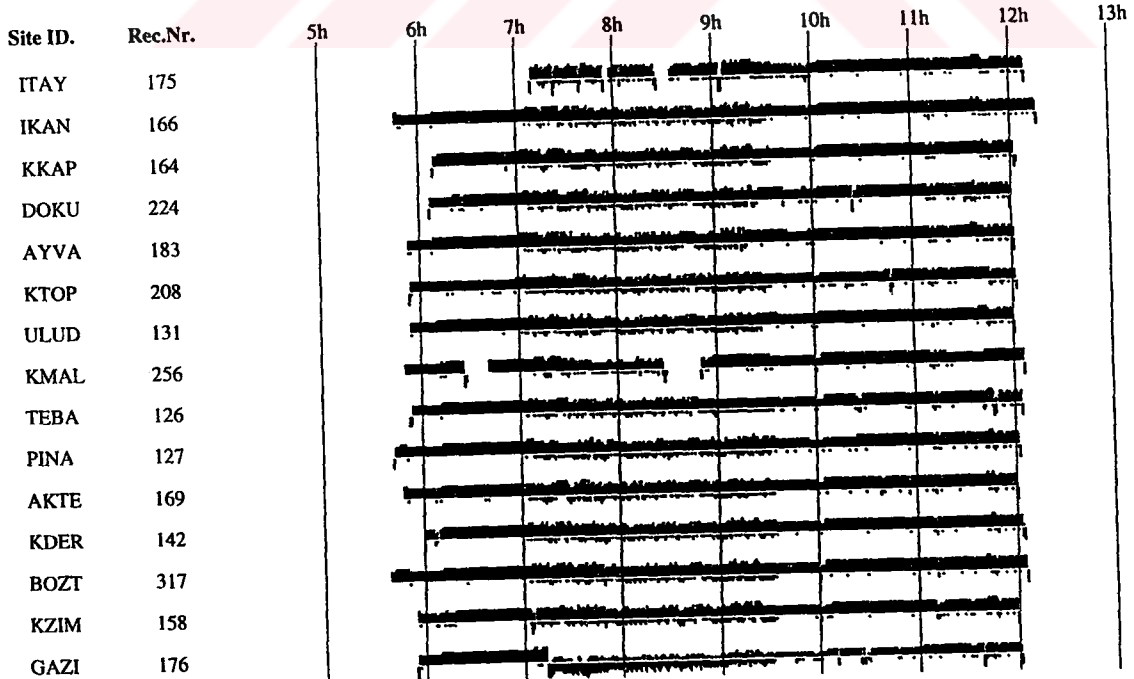


Şekil A.11 Marmara 90; Session 11, 22/23 Eylül 1990

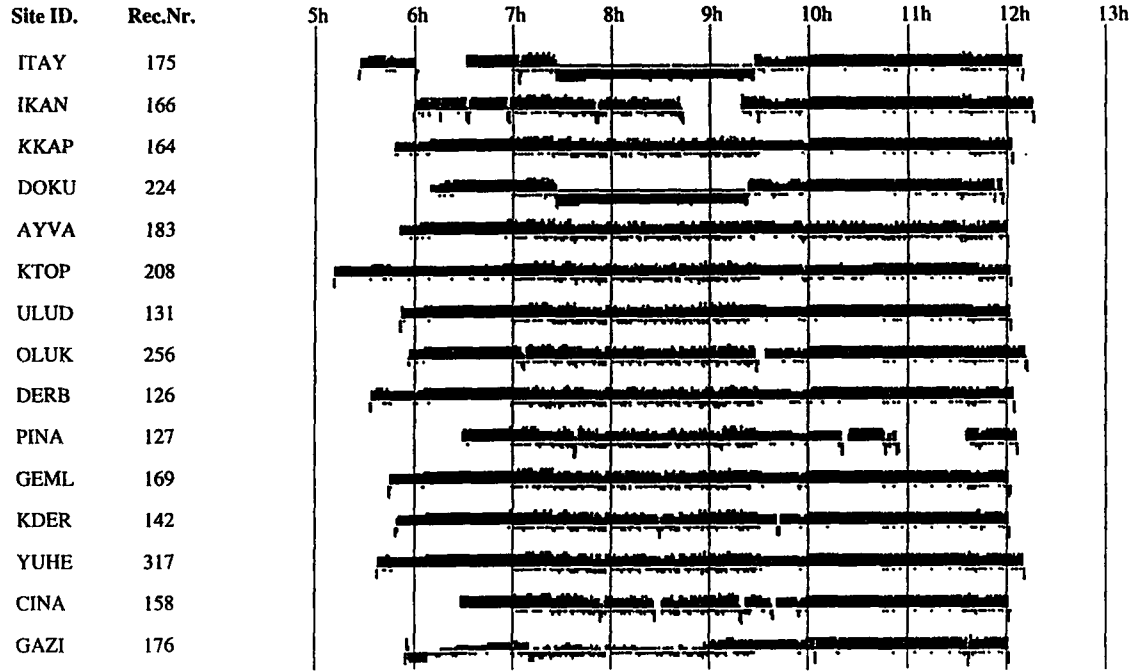
EK B: 1992 yılı Marmara GPS kampanyasında elde edilen verilerde, istasyon noktalarındaki kayıt sürelerinin ve frekans kayıplarının gösterimi. Şekillerde Site ID (Site Identification) nokta ismini, Rec.Nr. (Receiver Number) alıcı numarasını göstermektedir.



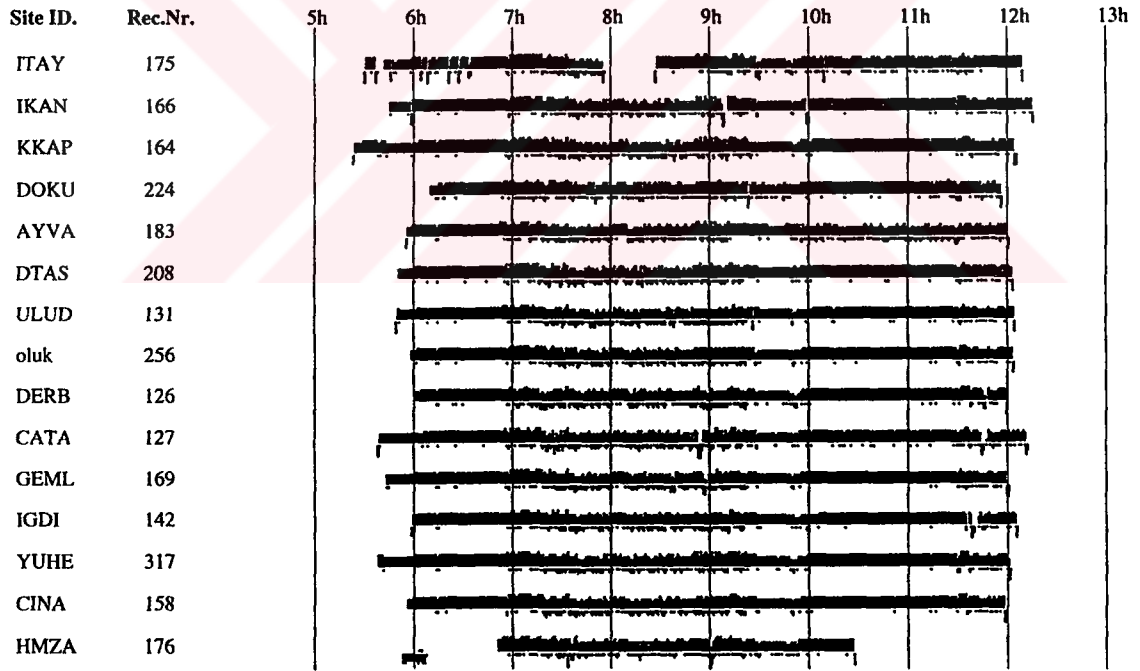
Şekil B.1 Marmara 92; Session 1, 27 Ağustos 1992



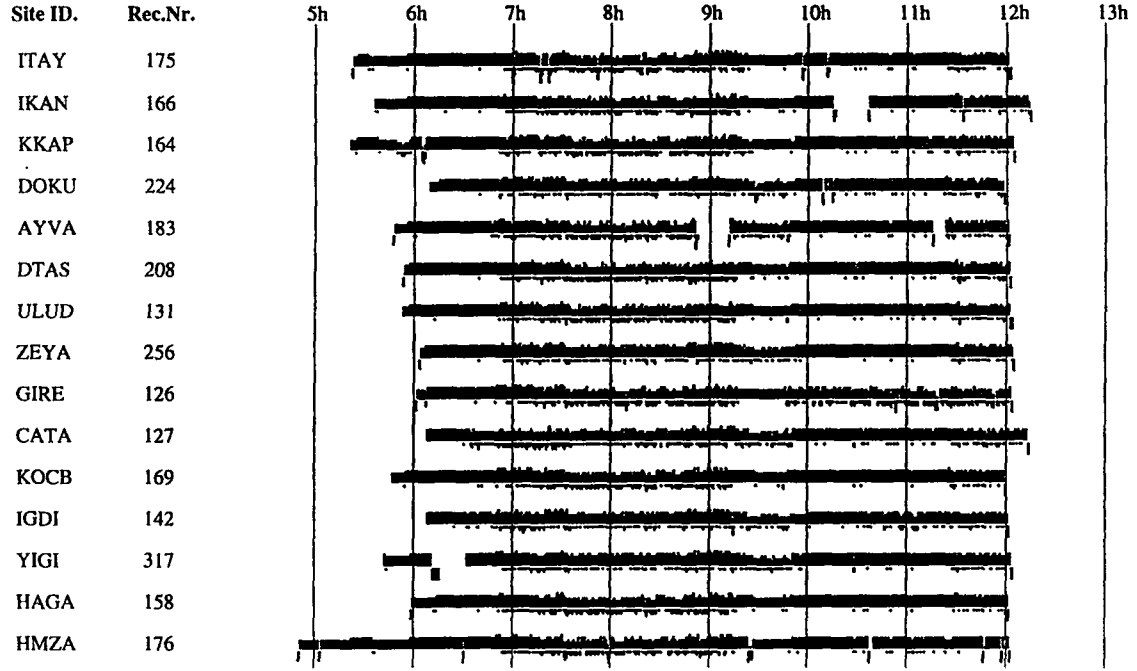
Şekil B.2 Marmara 92; Session 2, 28 Ağustos 1992



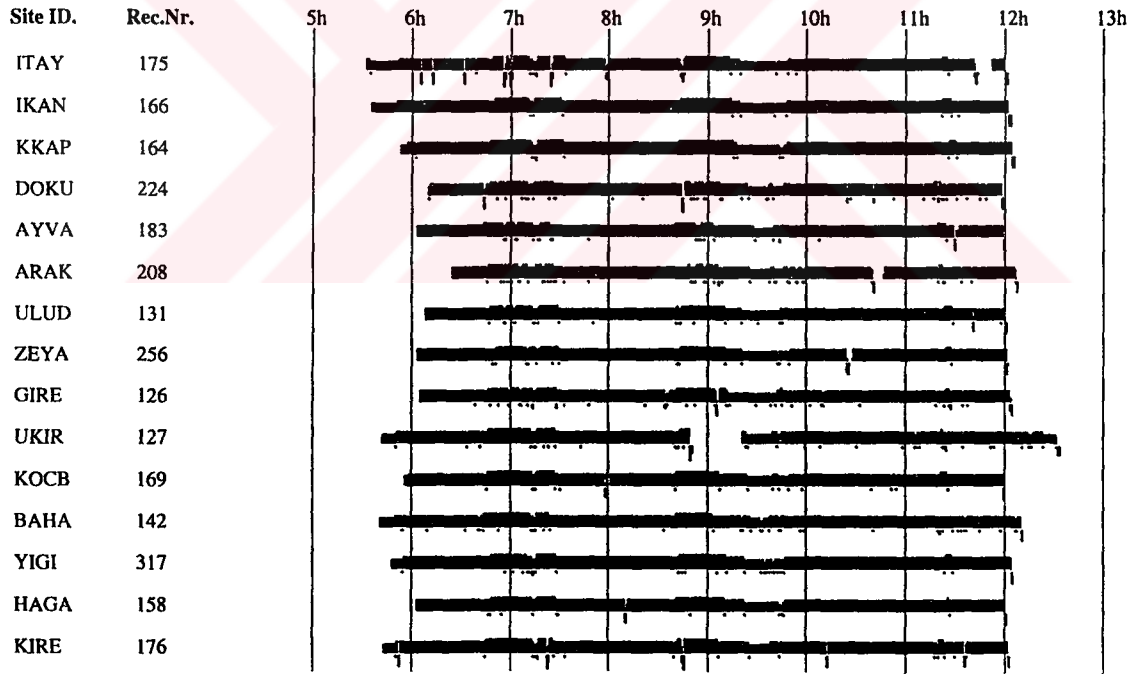
Şekil B.3 Marmara 92; Session 3, 29 Ağustos 1992



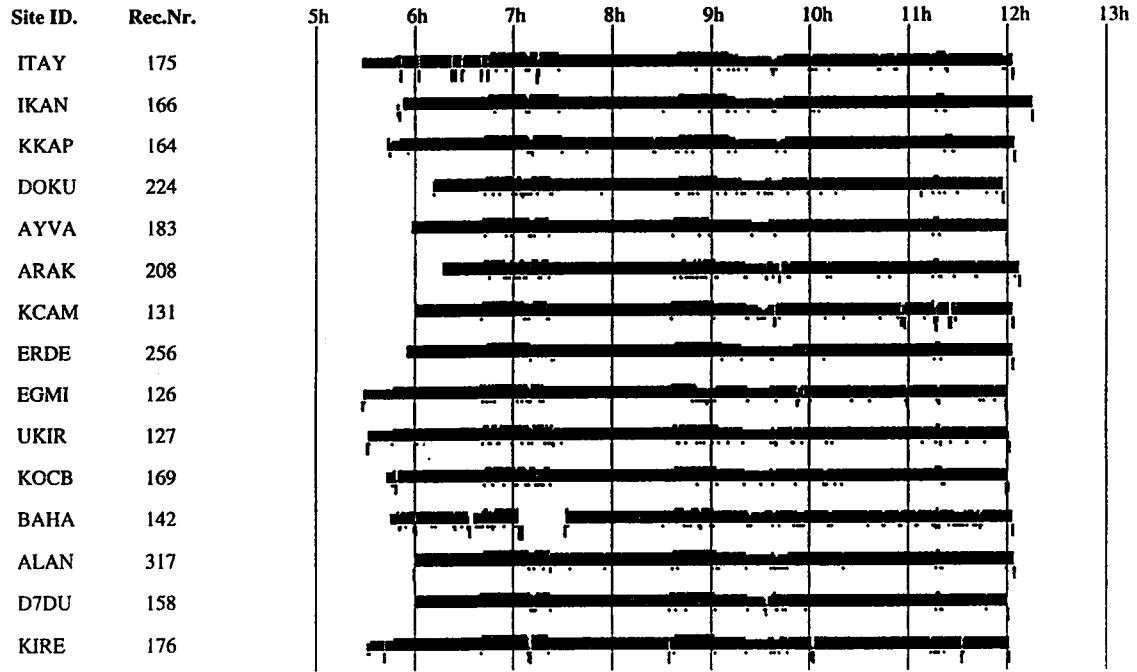
Şekil B.4 Marmara 92; Session 4, 30 Ağustos 1992



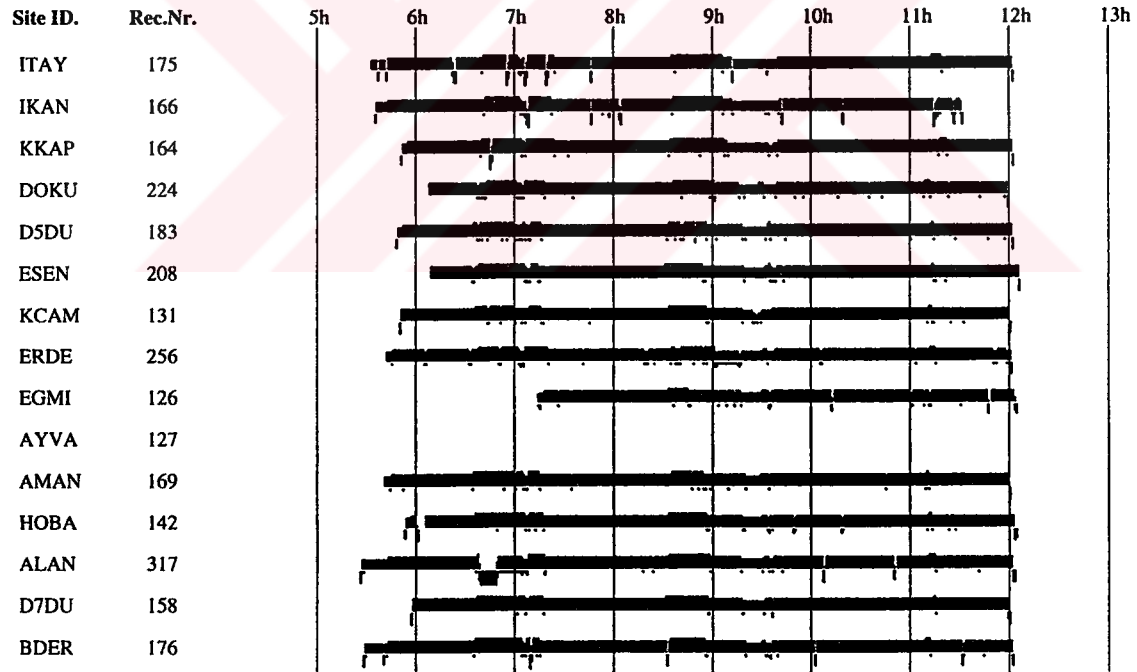
Şekil B.5 Marmara 92; Session 5, 31 Ağustos 1992



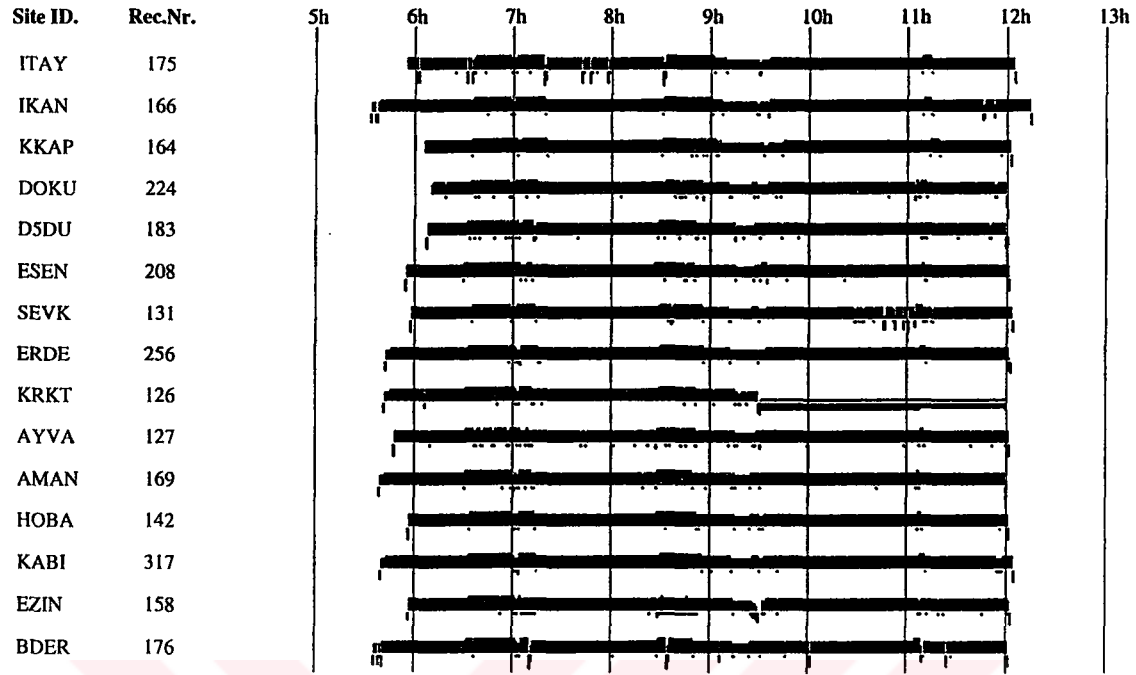
Şekil B.6 Marmara 92; Session 6, 1 Eylül 1992



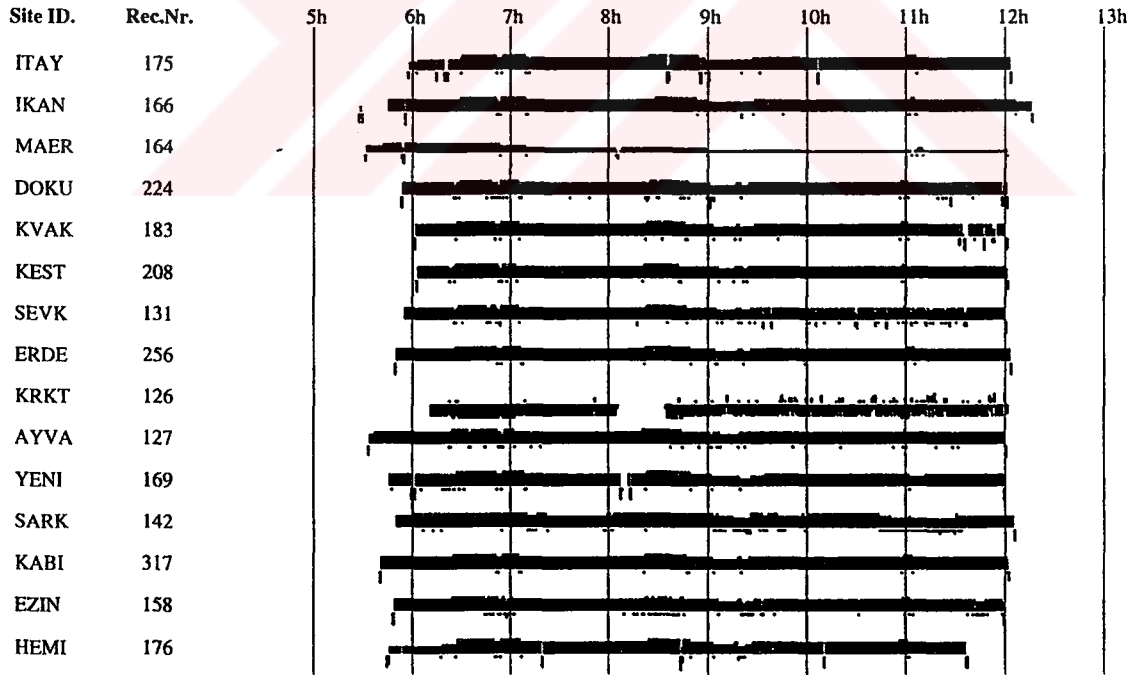
Şekil B.7 Marmara 92; Session 7, 2 Eylül 1992



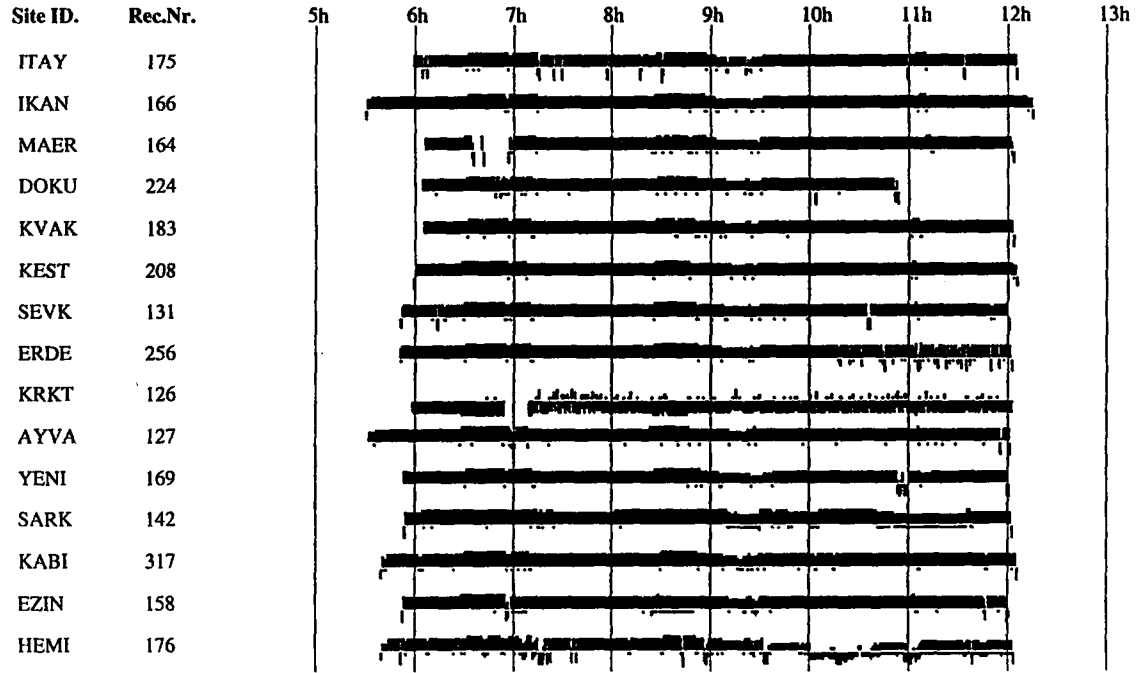
Şekil B.8 Marmara 92; Session 8, 3 Eylül 1992



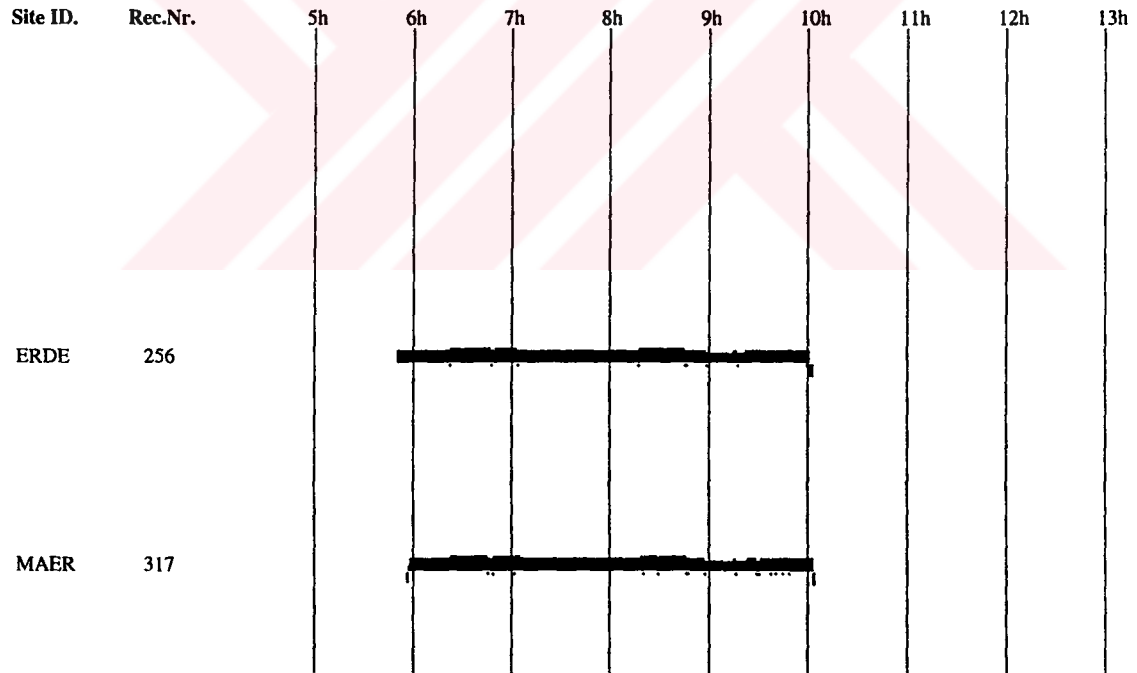
Şekil B.9 Marmara 92; Session 9, 4 Eylül 1992



Şekil B.10 Marmara 92; Session 10, 5 Eylül 1992



Şekil B.11 Marmara 92; Session 11, 6 Eylül 1992



Şekil B.12 Marmara 92; Session 12, 7 Eylül 1992