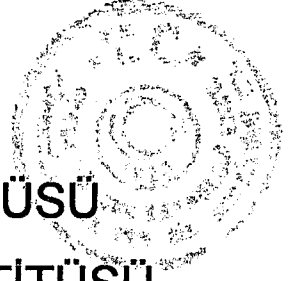


T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



140049

YERKABUĞU HAREKETLERİNİN GPS
ÖLÇMELERİ İLE BELİRLENMESİ

- 140049 -

Ömer ANDIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

Yrd.Doç.Dr.Halis SAKA

GEBZE

2003

...Ömer...ANKIK... 'ın tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16...1.07.2003 tarih ve 22... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ...Seferi ve Fot. Müh... Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRI

ÜYE
(Tez Danışmanı)

: Yrd. Doç. Dr. M. Halis SAKA

ÜYE

: Prof. Dr. İbrahim BAZ

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Salim ÖNCEL

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 30.10.2003 tarih ve 2003/135 sayılı kararı.

İmza / Mühür
Prof. Dr. Adem KILIÇ
GYTE Mühendislik ve Fen Bil.
Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Bilindiği gibi yeryuvarı, içerisinde sürekli bir hareketlenmenin olduğu yaşandığı, dinamik bir yapıya sahiptir. Bu hareketlerin sonucunda yeryüzünde meydana gelen yer ve şekil değiştirmelerin belirlenmesi ve kritik değerlerin hesaplanarak olası felaketlere karşı önlemlerin alınması son derece önemlidir. Yerkabuğu deformasyonları birçok etkini sonucunda oluşur. Bu etkilerin matematiksel ve fiziksel modellemesinin zorluğu yerkabuğu deformasyonlarının belirlenmesinde problem yaratır. Bu zorluğa rağmen, bir bölgede belirli zaman aralıklarında meydana gelen deformasyonlar jeodezinin temel konularından olan deformasyon analizi ile belirlenir. Deformasyon analizinde, üç boyutlu olarak ortaya çıkan yerkabuğu deformasyonları, yatay ve düşey yönde incelenir. Yerkabuğunda meydana gelen deformasyonların belirlenmesi, yeryuvarın tanımlanması ve depremlerin izlenmesi için oldukça önemlidir.

Deformasyon analizi, beklenen deformasyonların türüne ve kullanılan jeodezik ağın tipine göre ardışık adımlar izlenerek yapılır. Eğer jeodezik ağ referans ve deformasyon noktalarından oluşuyorsa temel adımlar aşağıdaki gibi sıralanır.

- ◆ Referans noktalarının incelenmesi ve hareketli olanların belirlenmesi
- ◆ Deformasyon noktalarının noktasal hareketlerinin incelenmesi, bu noktaların ihmal edilmesi veya varsa yer değiştirmelerin modellenmesi
- ◆ Katı kitle hareketlerini ve cisim deformasyonlarını içeren deformasyon modelinin tasarımı
- ◆ Bu modelin istatistik testlerle gerçekleşmesi

Deformasyonlar çeşitli modellere göre değerlendirilebilirler. Farklı datumlardaki kontrol ağları tek bir datumda birleştirilmek istenirse S – Transformasyonu kullanılır. Ayrıca S-Transformasyonu ard arda yinelenirse kontrol ağındaki hareketli noktaları da verir. Bu çalışmada deformasyon bölgesinde kurulan kontrol ağında iki boyutlu değişimlerin saptanması konusu ele alınmıştır. Bunun için S-Transformasyonu ve bağıl güven elipsleri ile deformasyon yöntemleri kullanılarak ağdaki anlamlı nokta hareketleri tespit edilmiştir.

SUMMARY

Determination of Crustal Deformation by Using GPS Observation

As it is known, the earth has a dynamic structure in which has a permanent activation. The determination of displacements and deformations occurring at the end of these movements, and taking precautions against possible disasters by calculating the critical values are strongly important. Crustal deformations are influenced by many factors. The determination of the deformations have problems, because physical and mathematical modelling of these factors is not possible exactly. Despite the problems, the deformations occurred in an active region at definite time intervals are determined by deformation analysis which is main subject of geodesy. The deformation occurred in space domain is investigated in horizontal and vertical directions in deformation analysis. Determination of this deformation is important for definition earth and monitoring earthquakes. Therefore, reliability of the models used in deformation analysis is to be revealed.

- ◆ Screening of reference points and eliminations of unstable points.
- ◆ Screening of the object points for single point movements, omission of the respective points or modelling of their displacements.
- ◆ Design of a deformation model comprising rigid body movements and object deformations.
- ◆ Verifications of the model by statistical tests.

The different models can be used for the processing of deformations. If it is needed to express the geodetic control nets, that are in different datums, in the same single datum, S-Transformation is used. If S-Transformation is applied more than once to a control net, the unstable points can be exposed. In this study, it is mentioned that determining 2-D deformation and analysis in control nets which are established in deformation area.

TEŞEKKÜR

Başta bu çalışmada bana danışmanlık yapan ve yol gösteren hocam sayın Yrd.Doç.Dr. M.Halis SAKA'ya, araştırma görevlileri İ.Rağıp KARAŞ, Abdurrahman GEYMEN'e, ve Cabir SARI'ya desteklerinden dolayı aileme ayrıca Mustafa TEMEL ve ailesine, ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Bu çalışmada kullanılan veriler, İ.T.Ü, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden Doç.Dr.Yunus KALKAN yürütücülüğünde gerçekleştirilen "Altaş Ambarlı Liman Tesisleri Sahasında Jeodezik ve Geoteknik Yöntemlerle Heyelan İzleme Çalışması" na aittir. Bu sebeple bu verilerin kullanılmasına müsaadelerinden dolayı, Sayın Dç.Dr.Yunus KALKAN ve diğer proje çalışanlarına ayrıca teşekkür ederim.

GEBZE-2003

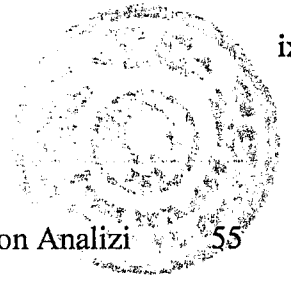
Ömer ANDIK

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. DEFORMASYON ANALİZİ KAVRAMI	4
2.1. Jeodezik Deformasyon Ölçmelerin Gelişimi	7
3. DEFORMASYON ANALİZİNDE KULLANILAN DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ	9
3.1. Bazı Uygulama Modelleri	9
3.1.1. Analitik Yöntemle Deformasyon Analizi	9
3.1.2. Bağlı Güven Elipsleri İle Deformasyon Analizi	11
3.1.2.1. GPS Sonuçlarının Lokal Toposentrik Sisteme Dönüşümü	13
3.1.2.2. Bağlı Güven Elipsoidi Elemanları	16
3.2. S-Transformasyonu ve Yerkabuğu Hareketlerinin Araştırılmasındaki Yeri	18
3.2.1. S- Transformasyonu İle Deformasyon Analizi	20
3.2.2. S-Transformasyonu İle Global Test	22
3.2.3. S-Transformasyonu Yardımıyla Anlamlı Nokta Hareketlerinin	24

Araştırılması.

4. DEFORMASYON AMAÇLI JEODEZİK AĞLARDA OPTİMİZASYON	27
4.1. O.Derece Optimizasyon	28
4.2. 1. Derece Optimizasyon	29
4.3. 2. Derece Optimizasyon	29
4.4. 3. Derece Optimizasyon	29
5. JEODEZİK DEFORMASYON AĞI ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	30
5.1. Jeodezik Deformasyon Ağ Tasarımı ve Ölçümü	30
5.2. Jeodezik Deformasyon Ağı Ölçülerinin Değerlendirilmesi	32
5.3. Matematiksel Model ve Dengeleme Sonuçları	32
5.4. En Küçük Kareler Yöntemi	33
5.5. Kontrol Ağının Serbest Olarak Dengelenmesi	35
5.6. Jeodezik Ağlarda Güvenirlik Ölçütü	37
5.7. Model Hipotezinin Testi	38
5.8. Uyuşumsuz Ölçülerin Araştırılması	39
5.9. Doğrusal Hipotez Testi (Global Model Testi)	40
5.9.1. Deformasyon Analizinde Doğrusal Hipotez Testi (Global Test)	43
5.10. Deformasyon Amaçlı GPS Ölçüleri ve Dengelenmesi	45
5.10.1. GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi	46
6. UYGULAMA	52
6.1. Çalışma Bölgesi ve Kontrol Ağının Tanıtılması	52
6.2. Uygulama Amacı	52
6.3. Kontrol Ağının Değerlendirilmesi ve Dengelenmesi	54
6.4. Deformasyon Analizi Çalışması	55



6.4.1. Peryotlar Arasında S-Transformasyonu İle Deformasyon Analizi	55
6.4.1.2. Anlamlı Nokta Hareketlerinin Araştırılması	55
6.4.2. Bağlı Güven Elipsleri ile Deformasyon Analizi	60
7. Sonuç	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	71



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ



$\underline{A}$	: düzeltme denklemleri katsayılar matrisi
$\underline{x}$	: koordinat bilinmeyenleri vektörü
$\underline{l}$	: ölçüler vektörü
$\underline{v}$	: düzeltmeler vektörü
$\underline{Q}_{ll}$	: ölçülerin kofaktörler matrisi
$\underline{Q}_{xx}$	: bilinmeyenlerin kofaktörler matrisi
σ_0^2	: birim ağırlıklı ölçünün teorik varyansı
$\hat{\sigma}_0^2$	: birim ağırlıklı ölçünün varyansının kestirim değeri
n	: ölçü sayısı
u	: bilinmeyen sayısı
$\hat{x}$	: koordinat bilinmeyenlerinin dengelenmiş değeri
$\underline{P}$	: ağırlık katsayılar matrisi
$\underline{N}$	: normal denklem katsayılar matrisi
$\underline{N}^+$	: normal denklem katsayılar matrisinin Moore – Penrose inversi
A	: hata elipsi büyük yarı eksen
B	: hata elipsi küçük yarı eksen
θ	: hata elipsi büyük yarı ekseninin açıklık açısı
$\underline{E}$	: datum seçici matris
$\underline{S}$	: S-Transformasyon matrisi
f	: serbestlik derecesi
α	: yanılma olasılığı
H_0	: sıfır hipotezi
Re	: düzeltmelerin karesel formundaki artım miktarı
$\underline{\Omega}$	: karesel form
Ω_H	: hipotezli modelden elde edilen düzeltmelerin karesel biçimi
$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	: üç boyutlu baz bileşenleri
T_{d_j}	: d_j deformasyon vektörü için hesaplanan test büyüklüğü
$\underline{I}$	: birim matris
$\underline{G}$	: $\underline{N}$ matrisinin sıfır özdeğerlerine karşılık özvektörler matrisi
F	: Fischer dağılımı operatörü
τ_i	: Tau dağılımı operatörü

t	: t dağılımı operatörü
m_0	: standart sapma
$\underline{d}$	: koordinat fark vektörü
d	: defekt sayısı(rank bozukluğu)
R_e	: deformasyon değer ölçütü
d_N	: anlamlı hareket olduğu belirlenen noktalara ait koordinat fark vektörü



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.1. Ambarlı Limanı Yerleşim Planı	52
6.2. Ambarlı Limanı Deformasyon Ağı	53
6.3. Deformasyon Vektörü (Deformasyon Var)	59
6.4. Deformasyon Vektörü (Deformasyon Yok)	59
6.5. Ambarlı Limanı 1.ve 2. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri	60
6.6. Ambarlı Limanı 2.ve 3. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri	61
6.7. Ambarlı Limanı 3.ve 4. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri	63
6.8. Ambarlı Limanı 4.ve 6. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri	64
6.9. Ambarlı Limanı 1. ve 7. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri	66



TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
6.1. Periyotlar Arasında Ardışık Olarak S-Transformasyonu İle Anlamlı Nokta Hareketlerinin Araştırılması	55
6.2. Periyotlar Arasında Anlamlı Hareket Tespit Edilen Noktalar	58
6.3. 1. ve 2. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri ve Elips Elemanlarını Hesaplamakta Kullanılan Değerler	60
6.4. 2. ve 3. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri ve Elips Elemanlarını Hesaplamakta Kullanılan Değerler	61
6.5. 3. ve 4. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri ve Elips Elemanlarını Hesaplamakta Kullanılan Değerler	62
6.6. 4. ve 6. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri ve Elips Elemanlarını Hesaplamakta Kullanılan Değerler	64
6.7. 1. ve 7. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri ve Elips Elemanlarını Hesaplamakta Kullanılan Değerler	65

1. GİRİŞ

Yerkabuğu hareketlerinin araştırılmasında anlamlı nokta hareketlerinin saptanması deformasyon analizi ile gerçekleştirilmektedir. Jeodezinin temel görevlerinden biri yeryuvarının biçimini belirlemektir. Deformasyon analizi ile yerkabuğu hareketlerinin önceden belirlenmesi ile insanoğlunun bazı tehlikelere karşı önceden önlem alması sağlanmış olacaktır; örneğin depremlerin önceden kestirimi ya da büyük mühendislik yapılarında meydana gelecek tehlikelerin önceden belirlenmesi gibi.

Yeryuvarı oldukça karmaşık ve dinamik bir yapıya sahiptir. Sürekli değişim halinde olan yeryuvarının, jeodezinin amaçları doğrultusunda belirlenmesi de süreklilik gerektiren bir olgudur. Yeryuvarının en üst katmanı olan yerkabuğuna yansıyan dinamik etki nedeniyle oluşan tepki sonucu, yerkabuğu deformasyonu olarak adlandırılır. Fiziksel yeryüzünde gözlenebilen yerkabuğu deformasyonları; plaka tektonik hareketleri, iç plaka deformasyonları, buzul çağ sonrası izostatik erime, gelgit olayı, yeryuvarının dönmesi ve kutup hareketi gibi etmenlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. İklim koşullarındaki beklenmeyen değişimler ve yapay etkiler de bu etmenlere katıldığında yer kabuğu hareketlerinin oldukça karmaşık bir yapıda olduğu söylenebilir. Jeodezi biliminde deformasyon analizinde genellikle amaç, olası deformasyonların yer, büyüklük ve zaman parametrelerine bağlı olarak elde edilmesinden ibarettir. Elde edilen deformasyonların yorumu veya deformasyona karşı önlemler diğer bilim dallarının görevleri içinde yer almaktadır.

Yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi için jeodezik gözlemler değişik periyotlarda tekrarlanır. Her bir periyot ölçüleri bağımsız olarak dengelenir. Periyotlar arasındaki koordinat farklarından deformasyon modelinin parametreleri tahmin edilir ve yerkabuğundaki deformasyonlar hakkında bir yargıya varılır.

Deformasyon analizi, beklenen deformasyonun türüne ve kullanılan jeodezik ağın tipine göre ardışık adımlar izlenerek yapılır.

Eğer jeodezik ağ referans ve deformasyon noktalarından oluşuyorsa temel adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir-[Caspary, 1987].

- ◆ Referans (sabit) noktaların incelenmesi ve hareketli olanların elemine edilmesi,

◆ Deformasyon noktalarının noktasal hareketlerinin incelenmesi ve bu noktaların ihmal edilmesi veya varsa yer deşiştirmelerin modellenmesi,

◆ Katı kitle hareketlerini ve cisim deformasyonlarını içeren deformasyon modelinin tasarımı,

◆ Bu modelin istatistik testlerle gerçekenmesi.

Yerkabuğu deformasyonları uzayda üç boyutlu olarak oluşur. Ancak, jeodezik ölçme yöntemleri yatay ve düşey yönde farklı olduğundan deformasyonlar bu doğrultularda ayrı ayrı incelenir. Konumlama tekniklerinden elde edilen bilgilere ve istatistiksel yaklaşımlara dayanan deformasyon analizinde en uygun sonuçlar alınabilmesinin temeli olan bu ayırım, yatay ve düşey yönlerdeki konumlama doğruluklarının farklı olmasından kaynaklanır. Bu nedenle, yerkabuğu deformasyonu konumlama bakımından yatay ve düşey deformasyon olarak ikiye ayrılabilir. Bu deformasyonların incelemelerinin yapılabilmesi için amaca uygun şekilde tesis edilmiş bir kontrol ağına gereksinim vardır. Bu aşamada kurulacak ağıın dizaynı birinci derecede önemlidir. Ağıın yapılacak çalışma için optimal bir deformasyon izleme ağıının amacı kısaca;

- ◆ Önceden tahmin edilen bir doğruluğa ulaşmak,
- ◆ Kendi kendini kontrol eden güvenilir bir matematik model kurmak
- ◆ Parametrelerin bilinen belli a-priori fonksiyonlarına karşı yeterli duyarlığı sağlamak,
- ◆ Pratik ve ekonomik kısıtlara göre uygulanabilir gözlemlerin belirlenmesi olarak özetlenebilir [Caspary, 1987].

İlk söylenilen maddedeki amaca ulaşmak, doğrudan doğruya ağıın datumu ile alakalıdır. Çünkü ağıın datumundaki hatalar daha ilk başta ölçümlere deformasyon ile başlamak anlamına gelir. Bunun için deformasyon ağıları, hiçbir koordinat sistemine bağlı olmayan lokal ağılar olarak kurulurlar. Ağıın yöneltilmesi gelişi güzel yapılabileceği gibi yaklaşık olarak da yapılabilir. Optimal bir ağı kurma çalışmalarında değişkenler ağıın geometrisi ve ölçülerin ağırlıklarıdır. Yatay yöndeki deformasyon analizi için kullanılan jeodezik verilerin elde edildiği ölçme yöntemleri; klasik jeodezik ölçmeler (açı ve uzunluk ölçmeleri), VLBI (Very Long Baseline Interferometry / Çok Uzun Baz İnterferometrisi), SLR (Satellite Laser Ranging / Uydu Lazer Ölçümü) ve GPS (Global Positioning System / Küresel Konumlama

Sistemi) [Altınar, 1999]. Düşey yöndeki hareketlerin belirlenmesi için uygun olan ölçme yöntemleri; Klasik yükseklik ölçmeleri, gel git ölçmeleri, gravite ölçmeleri ve GPS'dir. GPS'in düşey konumlama doğruluğunun klasik yükseklik ölçme yöntemlerine göre düşük olması, kullanımındaki artı özelliklerine karşın öteki yöntemlerin yerini almasını güçleştirmektedir.

GPS ile deformasyon analizinde standart yaklaşım, periyodik olarak tekrarlanan GPS ölçümlerinin doğrudan doğruya karşılaştırılmasıdır. Klasik deformasyon analizinde, bir GPS ağı her periyot için ayrı ayrı dengelenir ve deplasman vektörleri bu ardışık periyotların dengeleme sonuçlarından hesaplanır. Fakat her bir dengeleme, datum parametrelerinin de birlikte belirlendiği serbest ağ ya da minimum şartlı dengeleme şekliyle yapılır. Hareketsiz olan noktalar her bir dengeleme sonuçlarının ortak bir koordinat sistemine dönüştürülmesinde kullanılır. Bu özellikte klasik jeodezik ölçülerin (doğrultu, kenar, nivelman) de deformasyon izleme sistemine katıldığı zaman önemlidir.

Bu çalışmada,İ.T.Ü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü elemanlarınca Ambarlı limanında heyelan araştırması amacıyla belli periyodik GPS ölçmeleri neticesinde elde edilen verilerin kullanılması ile deformasyon analizi yapılmış ve anlamlı nokta hareketleri tespit çalışması iki farklı analiz yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

S-Transformasyonu ile yapılan deformasyon analizinde her bir periyot ardışık ve en son ilk ve son periyot analiz edilmiş ve anlamlı nokta hareketleri tespit edilmiştir. Grafik yorumlama için bağıl güven elipsleri kullanılmış ve anlamlı hareket olduğu tespit edilen noktaların deformasyon yönleri vektör olarak iki boyutlu olarak gösterilmiştir. Kısa kenarlı ağların, yerkabuğu hareketlerinin ve deformasyonların belirlenmesi için GPS ölçmeleri kullanılarak kısa süreli ölçmelerle araştırılabilirliği açısından yapılan bu uygulama önem taşımıştır. Yatay konum belirleme açısından bu şekil ölçme ve değerlendirme yapılabileceği anlaşılmaktadır.

2. DEFORMASYON ANALİZİ KAVRAMI

Yeryüzü kabuk hareketlerinin saptanması, büyük yapıların planlanması aşamasında, yapının bitiminden sonra çevrenin yapıya etkisiyle veya yükleme nedeniyle yapıda meydana gelebilecek geometrik şekil değişimlerinin saptanması, çökme ve heyelanların belirlenmesi gibi yapılan jeodezik ölçmelere “deformasyon ölçmeleri”, bu ölçülerin değerlendirilerek deformasyonların saptanması ve yorumlanmasına ise “deformasyon analizi” denilmektedir.

Deformasyon analizi için Jeodezi bilimi, olası deformasyonların yer, büyüklük ve zaman parametrelerine bağlı olarak belirlenmesi amacını gütmektedir. Bu analizler sonucu elde edilen deformasyonların yorumu veya deformasyona karşı önlemler diğer bilim dallarının görevleri içine girmektedir.

Deformasyonların izlenmesi yöntemleri, jeodezik uygulamalarda, jeodezik kontrol ağlarında yapılan ölçülerin değerlendirilmesine dayanır. Yirmi birinci yüzyılı yaşadığımız şu günlerde insan ihtiyaçlarının artması ve çeşitlenmesi teknolojik ve bilimsel alandaki gelişmelere neden olmuştur. Teknolojik ve bilimsel alandaki bu gelişmeler, sanat yapılarının artışının yanı sıra, jeodezik deformasyon ölçüm ve değerlendirme yöntemlerinin de gelişmesine neden olmuştur. Geçtiğimiz senelerde ülkemizde meydana gelen büyük depremler önemli derecede can ve mal kaybına neden olmuş, bütün bunlar yerkabuğu hareketlerinin yakından izlenmesini ve gerekli önlemlerin alınmasını da zorunlu hale getirmiştir.

Son zamanlarda “Global Konum Belirleme (GPS)” yöntemi ve diğer uydu teknikleri de, kurulan uydu jeodezik ağları yardımıyla, deformasyonların izlenmesi amacıyla gerek dünyada, gerekse ülkemizde yaygın olarak kullanılmakta olup her geçen gün bu uygulamalarda yerini daha da fazla almaktadır.

Deformasyonların saptanmasına yarayan jeodezik ağlar genellikle lokal ağlar olarak kurulurlar ve yöneltilmeleri yaklaşık olabildiği gibi gelişigüzel de alınabilir. Diğer bir deyişle bu ağların herhangi bir koordinat sistemine bağlı olması gerekmez. Jeodezik ağlar kullanılarak yapılan deformasyon analizi çalışmalarında ilgili obje veya alan genellikle sağlam şekilde tesis edilmiş veya işaretlenmiş noktalarla temsil edilir. Jeodezik gözlemlerle bu nokta kümeleri bir jeodezik ağına bağlanır. Bu noktaların seçimini çoğu durumda arazi topografyası ve incelenecek objenin yapısı

belirler. Nokta sayısı ne olmalıdır sorusunun yanıtı ise objeye ve de beklenen deformasyona sıkı sıkıya bağlıdır. Buna karşın genel bir kural koymak imkansızdır. Disiplinler arası bir yaklaşım her zaman amaçlanmalıdır. Bu şekilde kurulan deformasyonların belirlenmesine yönelik ağlar “kontrol ağları” olarak alınır ve genellikle üç ayrı özellikte noktalardan oluşur. Bunlar “deformasyon noktaları”, “sabit (referans) noktaları” ve “yöneltme noktaları” dır. [Ayan, 1981]

Deformasyon noktaları, deformasyon incelemesine konu olan yapı veya bölgeyi temsil edebilme özelliklerine sahip ekstrem deformasyonların beklendiği yerlerde seçilir. Üzerinde ölçme yapılabilecek olanların işareti pilye, diğerlerinin işareti ise uzun yıllar kaybolmayacak kalıcı ölçme noktaları olur. Deformasyon noktalarının pilye olarak seçilmesindeki amaç ise, merkezleştirme hatasını ortadan kaldırmak ve ölçüler arasında bu hatadan kaynaklanacak fiziksel bir korelasyonun önüne geçmektir.

Kontrol noktaları veya referans noktaları olarak da adlandırılan sabit noktalar, deformasyon beklenmeyen yerlerde seçilen, üzerinde ölçme yapılabilecek noktalardır. Zorunlu merkezleştirme donanımlı pilyeler ile arazide işaretlenir. Sabit noktalar olarak düşünülen bu noktaların muhtemel küçük hareketlerini saptamak üzere, çevrelerine ağ noktaları olarak sayılmayan sigorta noktaları yerleştirilmesi uygun olacaktır.

Kontrol ağının çerçeve noktaları olan yöneltme noktaları, deformasyon noktaları ve sabit noktalardan oluşan ağ parçasının tümünden hareketlerini saptamaya ve ağın bu çekirdek kısmının prezisyonununa katkıda bulunmak üzere yöneltmeye yarayan ve genellikle çekirdek kısmın dışında, yerlerinin sabit kalma olasılığı daha yüksek olan noktalardır. Yöneltme noktaları, sadece diğer noktalardan gözlenen, ağın tümünün yöneltmesi amacıyla tesis edilirler.

Deformasyonlar, problemin şekline, kapsamına ve uygulanan veya uygulanabilecek ölçme yöntemlerinin türüne göre değişik modeller içinde incelenirler; bunlar statik, dinamik ve kinematik modellerdir.

Statik modelde; deformasyon vektörlerinin zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olarak ele alınır. Tüm sistem bir kez ölçülmesi sırasında noktaların sabit

kaldığı varsayımı vardır. Bu varsayımın doğru olup olmadığı ancak deformasyonlar belirlendikten sonra kontrol edilebilir.

Dinamik modelde, yalnızca geometrik şekil değişimleri değil, deformasyona neden olan kuvvetlerin zamana ve dış etkenlere bağlı olarak değişimi ve birbirleriyle korelasyonu yanında, bu kuvvetlerin deformasyon sonucunu doğuran dönüşüm fonksiyonu araştırılır. Deformasyonlar klasik jeodezik ölçmeler ve GPS ölçmeleri ile saptanabildiği gibi, arazide belli yerlere kurulan ve sürekli ölçme olanağına sahip ölçme düzenleri ile doğrudan doğruya da saptanabilir. Dinamik deformasyon modeli bir baraj örneğinde açıklanmak istenirse, barajın topladığı suyun hem yapıya hem de çevre topografyaya uyguladığı basınç ve bu basıncın su seviyesine bağlı olarak değişimi, günlük ve mevsimlik ısı değişimi ve yapının iç gerilimleri ile yapı çevresindeki yer kabuğu hareketleri deformasyonların nedenlerini oluşturmaktadır. Dolaysız ve dolaylı ölçme yöntemleri ile belirlenen deformasyonların ortaya çıkması, etkiyen kuvvetler ile yapı karakteristiklerinin bileşiminden oluşan bir dönüşüm fonksiyonu ile olur. Dinamik deformasyon modelinde amaç bu dönüşüm fonksiyonunun saptanması ve nedenler ile deformasyonların yer, zaman ve frekans ilişkilerinin ortaya konmasıdır [Ayan, 1982]

Kinematik modelde; araştırma konusu bölge veya yapının karakteristik noktalarının hareketidir. Nokta koordinatları zamanın fonksiyonu olarak tanımlanır. Deformasyon incelemesinin yapılacağı bölge veya yapının karakteristik noktalarının hareketleri ve bu hareketlerin hızları bu yöntemin konusunu teşkil eder. Deformasyon incelemesine konu olan alanın büyük olması halinde, tüm sistemin bir kez ölçülmesi için uzun bir zamana gereksinim olabilir. Bu durumda gerekli uzun zaman içinde tüm sistemin sabit kaldığı varsayımı geçerli olmaz. Kinematik hareketlerin tanımlanması için kurulan modeller bir jeodezik ağdaki konum değişimlerini zamanın fonksiyonu olarak verirler. Basit modellerle konum değişimleri yalnızca zamanın fonksiyonu olarak yazılır. Genişletilmiş kinematik modellerdeki konum değişimlikleri zamanın ve nokta konumlarının fonksiyonu olarak ele alınır.

Yerkabuğu hareketlerinin araştırılmasında nokta yüksekliklerinin zamanın fonksiyonu olarak yazılmak istenirse;

H_0^k : P_k noktasının t_0 zamanındaki yüksekliği,

c_k : P_k noktası için hız parametresi,

b_k : P_k noktası için ivme parametresi,

r_i^d : düzeltme olmak üzere,

$$H_i^k = H_0^k + c_k(t_i - t_0) + b_k(t_i - t_0)^2 + \dots + r_i^d \quad (2.1)$$

fonksiyonu olarak tanımlanır [Ayan, 1982].

2.1. Jeodezik Deformasyon Ölçmelerinin Gelişimi

Modern anlamda deformasyon ve deplasman ölçmelerinin gelişimi şöyle özetlenebilir.

1860 yılında ABD Kaliforniya'da San Andreas fay kuşağında ilk ölçmeler yapılmış ve 1876 ve 1906 yıllarında yatay açı ölçmeleri tekrarlanmıştır. 1908 yılında Almanya'da Thuringen'deki Gothaer Barajı'nın kretindeki iki noktanın yatay hareketleri alinyman yöntemi ile izlenmiştir. 1921 yılında İsviçre'de Montelvars Barajı'nda gövdeye yerleştirilen noktaların konumları önden kestirme yöntemi ile belirlenmiş, daha sonraları 1928 yılında yine aynı ülke olan İsviçre'de bir kemer baraj olan Pfafenabrung'da deformasyon belirleme çalışmaları yapılmıştır. İsviçre'de yapılan çalışmalarda dengelenmiş sonuçlara göre karşılaştırma ve yorumlama yapılması gereği ortaya konmuştur. 1923 yılında Glenasu, 1924'te Rampen ve 1928'de 50m yüksekliğindeki San Francisco Barajı'nın çökmesinin ve 450 ye yakın insanın ölmesi ile sonuçlanmasından sonra jeodezik kontrol ağlarının kullanımı büyük önem kazanmıştır. Bu gelişmelere takiben 1929 yılında deformasyon ölçme yöntemlerinin ve sonuçlarının açıklandığı bir kitap yayınlanmıştır. Aynı yıllarda Avrupa ülkelerinde çeşitli araştırmalar yapılmış deformasyon ölçmeleri için normlar belirlenmiş ve İtalya'da Socita Edison'da yayımlanmıştır.

Geçtiğimiz yüzyılın altmışlı yıllarına kadar jeodezik deformasyon ölçmeleri alanında ana gaye; hesapların kolaylaştırılması olmuş, gelişen ölçme aletleri ile jeodezik kontrol ağları yöntemi gündeme gelmiştir. Matematik, istatistik bilimi ve bilgisayarların gelişimine paralel olarak modern analiz ve hesaplama teknikleri gelişmiştir. Buna bağlı olarak dengeleme hesapları ve deformasyon analizi sistematığı büyük ölçüde değişmiş, sonuçların duyarlılığı ve güvenilirliği için istatistik olarak güvenilir bilgilerin elde edilmesi sağlanmıştır.

Almanya'nın Bonn şehrinde 1978 yılında yapılan II. FIG sempozyumunda aynı gözlem verilerinin farklı analiz yöntemleri ile karşılaştırılması için üç araştırma grubu oluşturulmuştur. 1982 yılında yapılan III. FIG sempozyumunda ise oluşturulan gruplarca yapılan çalışmaların sonuçları karşılaştırılmış, yeni görüş ve öneriler ortaya konmuştur.

Ülkemizde ise deformasyon ölçmeleri konusu 1960'lı yıllarda gündeme gelmiş ve ilk olarak Kemer Bozdoğan Barajı'nda ölçme tesisleri yapılmasına karşın yıllarca ölçü yapılamamıştır. Sarıyar Barajı'nda ise ilk ölçmelerden sonra değerlendirmenin nasıl yapılacağı bilinemediğinden dolayı yineleme ölçüleri yapılamamıştır.

Ülkemizde akademik olarak ise bir çok çalışma yapılagelmektedir. Bu uygulamalara örnek olarak ülkemizde yapılmış olan "Depremlerin önceden bilinmesi ve hasarların azaltılması araştırmaları projesi" [Aksoy ve diğ., 1995] ve GPS ölçmeleri ile Marmara bölgesinde Yerkabuğu Hareketlerinin Belirlenmesi" [Aksoy ve Kılıçoğlu, 1999] çalışmaları gösterilebilir. Bu ve benzeri çalışmaların özellikle deprem riski oldukça fazla olan ülkemizde ne kadar gerekli hale geldiği ise aşikardır.

3. DEFORMASYON ANALİZİNDE KULLANILAN DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

3.1.Bazı Uygulama Modelleri

Jeodezik ağlarda yapılan deformasyon analizinde çok sayıda yöntemler kullanılmaktadır. Ancak uygulamalarda en çok karşılaşılan ve bu tezde de yapılan uygulama açısından sadece bazıları incelenecektir.

3.1.1. Analitik Yöntemle Deformasyon Analizi

Bu yöntemle, öncelikle ağın ölçü periyotları arasındaki zaman aralığı için konumu değişmeyen noktalar aranır. Sonra bu noktalara dayalı olarak, bu noktaların dışında kalan her nokta için tek tek irdeleme yapılır. Söz konusu noktaların konum değiştirip değiştirmediği istatistiksel yoldan araştırılır [Akdoğan, 1998]

Değerlendirme yöntemi olarak jeodezik deformasyon ölçülerinin değerlendirilmesinde serbest ağ dengelenmesi kullanılmaktadır. İki farklı periyot ölçüsünden elde edilen koordinatlar doğrudan doğruya birbiri ile karşılaştırılmaz. Çünkü, her periyot ölçüsünde ağın datum parametreleri dengeleme hesabı içinde belirlenmektedir. Helmert transformasyonu kullanılarak bu iki periyot ölçülerinden elde edilen iki koordinat takımı stabil noktalar eşlenik nokta alınarak birbiri ile ilişkilendirilir. Ancak bu arada, üç boyutlu bir deformasyon analizi yapılıyorsa yapılacak olan dönüşüm benzerlik dönüşümüdür. Bu dönüşüm işleminden sonra iki sistem birbiri ile çakıştırılmış olur. Bu çakıştırma sonucunda oluşan koordinat çakışma artıkları kendi karesel ortalama hatalarına bölünür ve elde edilen bu değerler t-student dağılımı tablosundan alınacak karşılaştırma değeri ile karşılaştırılır.

Karşılaştırma sonucu konum değiştirmediğine karar verilen sabit noktalar belirlenir. Ardından iki epok ölçülerinin birlikte dengelenmesine geçilir. Bu dengeleme işlemi için sabit, hareketsiz olduğu belirlenen noktalar dışındaki obje noktaları için ikişer çift, sabit noktalar için birer çift koordinat bilinmeyeni seçilir ve normal denklemlerin çözümü sonrasında her bir obje noktası için iki ayrı koordinat değeri elde edilir. Toplu dengeleme işleminin tamamlanmasından sonra, sabit noktalar dışındaki her noktanın test işlemine geçilir.

Bu dengelemenin ölçü, bilinmeyen ve bilinmeyenlerin kofaktörler matrisi gösterimini ile;

$$\underline{l} = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix}; \underline{X} = \begin{bmatrix} \underline{X}_F \\ \underline{X}_1 \\ \underline{X}_2 \end{bmatrix}; \underline{Q}_{xx} = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{FF} & \underline{Q}_{F1} & \underline{Q}_{F2} \\ \underline{Q}_{11} & \underline{Q}_{11} & \underline{Q}_{12} \\ \underline{Q}_{2F} & \underline{Q}_{21} & \underline{Q}_{22} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

verilmektedir.

Burada;

$\underline{l}_1$: Birinci periyot ölçüler vektörü,

$\underline{l}_2$: ikinci periyot ölçüler vektörü,

$\underline{X}_F$: Hareketsiz noktaların koordinat bilinmeyenleri vektörü,

$\underline{X}_1$: Obje noktaları için seçilen birinci çift koordinat bilinmeyenleri vektörü,

$\underline{X}_2$: Obje noktaları için seçilen ikinci çift koordinat bilinmeyen vektörü,

$\underline{Q}_{xx}$: Bilinmeyenlerin kofaktörler matrisini göstermektedir.

Toplu dengeleme işleminin tamamlanmasından sonra, sabit noktalar dışındaki her noktanın test işlemine geçilir.

Test edilecek P_j noktasına ait $\underline{d}_j$ fark vektörü, hesaplanan iki ayrı koordinat değerlerinden şu şekilde hesaplanır.

$$\underline{d}_j = [\underline{x}_2 - \underline{x}_1] \quad (3.2)$$

bu fark vektörünün kofaktörler matrisi $\underline{Q}_{dd}$, toplu dengeleme sırasında elde edilen bilinmeyenlerin kofaktörler matrisi $\underline{Q}_{xx}$ ten türetilir. Testin sıfır hipotezi olarak $\underline{d}_j$ fark vektörünün ümit değerinin sıfıra eşit olduğu varsayılır ve T_{d_j} test büyüklüğü elde edilir.

$$T_{d_j} = \frac{\underline{d}_j^T \underline{Q}_{d_j d_j}^{-1} \underline{d}_j}{2m_o^2} \quad (3.3)$$

Testin karşılaştırma kriteri, $1-\alpha$ istatistik güven, $2, f = n-u+r$ serbestlik dereceleri ile Fischer dağılım tablosundan alınır. Hesaplanan T_{d_j} değeri, tablodan alınan

değerden küçük olması durumunda sıfır hipotezi geçerlidir. Bunun anlamı ise iki periyot ölçüsü zaman aralığında konum değişikliği yoktur anlamına gelmektedir. Elde edilen farkın ise ölçü hatalarından kaynaklanmış olduğu ifade edilir.

Td_j değerinin tablo değerinden büyük olması durumunda test yapılan noktada bir deformasyonun varlığından söz edilir. Aynı test işlemi diğer bütün obje noktaları için uygulanır. Bu testten elde edilen sonuçlara göre anlamlı nokta hareketlerinin olup olmadığına istatistiksel olarak karar verilir [Akdoğan, 1998].

3.1.2. Bağlı Güven Elipsleri İle Deformasyon Analizi

Deformasyon analizinde grafik yorumlamanın şekli bağlı güven elipsleri ile yapılmaktadır.

Kontrol ağı t_1 ve t_2 grubu ölçüleri ile ayrı ayrı serbest dengelendiğinde, iki dengelemede aynı yaklaşık koordinatlar kullanılsa bile sonuçta iki ağ datumu birbiri ile aynı değildir [Ayan, 1981]. Bu iki ağın datum birliği stabil kalan noktalar ile yapılacak kısmi iz minimum çözümü ile sağlanır.

Analitik yöntemde ağın iki ayrı periyot ölçülerinin birlikte dengelenmesinden sonra, obje noktalarına ait ters ağırlık alt matrisi (koordinat bilinmeyenlerine ait kofaktörler matrisi) şu şekilde olmaktadır.

$$\underline{Q}_{XX} = \begin{bmatrix} Q_{x_1x_1} & Q_{x_1y_1} & \dots & \dots & Q_{x_1x_p} & Q_{x_1y_p} \\ Q_{y_1x_1} & Q_{y_1y_1} & \dots & \dots & Q_{y_1x_p} & Q_{y_1y_p} \\ \dots & \dots & & & & \\ \dots & & & & & \\ Q_{x_px_1} & Q_{x_py_1} & & & Q_{x_px_p} & Q_{x_py_p} \\ Q_{y_px_1} & Q_{y_py_1} & & & Q_{y_px_p} & Q_{y_py_p} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Aynı obje noktasının iki ölçme periyodu ile elde edilen koordinat farkları alınarak o noktanın $\underline{d}$ deformasyon vektörü şu şekilde elde edilir;

$$\underline{d} = [\underline{x}_k - \underline{x}_i] = \begin{bmatrix} x_k - x_i \\ y_k - y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ x_k \\ y_k \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$\underline{d} = \underline{F} \underline{X} \quad (3.6)$$

koordinat farkları vektörünün ters ağırlık (kofaktörler) matrisi hesaplandığında;

$$\underline{Q}_{dd} = \underline{F} \underline{Q}_{xx} \underline{F}^T \text{ olur,} \quad (3.7)$$

burada $\underline{Q}_{xx}$ matrisi;

$$\underline{Q}_{xx} = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{ii} & \underline{Q}_{ik} \\ \underline{Q}_{ki} & \underline{Q}_{kk} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

elde edilir ve alt matrislere ayrılırsa;

$$\underline{Q}_{ii} = \begin{bmatrix} q_{x_i x_i} & q_{x_i y_i} \\ q_{y_i x_i} & q_{y_i y_i} \end{bmatrix}, \underline{Q}_{kk} = \begin{bmatrix} q_{x_k x_k} & q_{x_k y_k} \\ q_{y_k x_k} & q_{y_k y_k} \end{bmatrix}, \underline{Q}_{ik} = \begin{bmatrix} q_{x_i x_k} & q_{x_i y_k} \\ q_{y_i x_k} & q_{y_i y_k} \end{bmatrix}, \underline{Q}_{ki} = \begin{bmatrix} q_{x_k x_i} & q_{x_k y_i} \\ q_{y_k x_i} & q_{y_k y_i} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

şekline gelir. $\underline{d}$ deformasyon vektörünün ters ağırlık matrisi;

$$\underline{Q}_{dd} = \underline{Q}_{ii} + \underline{Q}_{kk} - \underline{Q}_{ik} - \underline{Q}_{ki} = \underline{Q}_{ii} + \underline{Q}_{kk} - 2 \underline{Q}_{ik} = \begin{bmatrix} q_{d_x d_x} & q_{d_x d_y} \\ q_{d_y d_x} & q_{d_y d_y} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

şekliyle hesaplanır.

Bağıl güven elipsi elemanları;

A: elipsin büyük yarı eksen,

B: elipsin küçük yarı eksen,

θ : büyük yarı eksenin dönüklüğü olmak üzere, λ_A ve λ_B sırasıyla $\underline{Q}_{dd}$ matrisinin büyük ve küçük özdeğerleri olmak üzere;

$$A = m_o \sqrt{2 \lambda_A F_{2,f,1-\alpha}} = m_o \sqrt{(q_{d_x d_x} + q_{d_y d_y} + W) / 2} \quad (3.11)$$

$$B = m_o \sqrt{2\lambda_B F_{2,f,1-\alpha}} = m_o \sqrt{(q_{d_x d_x} + q_{d_y d_y} - W) / 2} \quad (3.12)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{2q_{d_x d_y}}{q_{d_x d_x} - q_{d_y d_y}} \quad (3.13)$$

$$W = \sqrt{(q_{d_x d_x} - q_{d_y d_y})^2 + 4q_{d_x d_y}^2} \quad (3.14)$$

Bağıl güven elips elemanları bu formüllerle hesaplanıp, bağıl güven elipsi bir altlığa ölçekli olarak çizildikten sonra, o noktadaki deformasyon vektörü bir ucu elipsin merkezinde olacak şekilde aynı ölçekte çizilir. Bu fark vektörünün diğer ucunun elipsin içinde kalıp kalmadığının kontrolü yapılır. İçinde kalıyorsa deformasyondan söz edilmez ve bu vektörün rastlantısal hatalar sonucunda oluşan anlamlı olmayan bir fark olduğu söylenir. Aksi durumda yani fark vektörü elipsin dışına çıkıyorsa anlamlı bir deformasyonun varlığından söz edilir ve bu noktada anlamlı bir deformasyon vardır denilir.

Deformasyonun yönü ve büyüklüğü ise koordinat farklarından hesaplanır. Bu işlemdeki yanılma olasılığı, bağıl güven elipslerinin yarı eksen uzunluklarının hesabında kullanılan t – dağılım değerinin yanılma olasılığına eşittir ve genellikle 0.05 olarak alınır [Akdoğan, 1998].

3.1.2.1 GPS Sonuçlarının Lokal Toposentrik Sisteme Dönüşümü

3.1.2. deki işlemlerin yerine getirilebilmesi için, GPS ölçmeleri ile elde edilen X, Y, Z koordinat değerlerinin ve bunların varyans kovaryans matrislerinin, periyotlar arası, eşlenik noktaların yatay konumdaki hareketlerinin belirlenebilmesi için lokal toposentrik koordinat sistemine dönüşümünün yapılması gerekir.

- M : Meridyen yönündeki ana eğrilik yarıçapı,
- N : Meridyene dik yöndeki ana eğrilik yarıçapı,
- φ : Elipsoidal enlem,
- λ : Elipsoidal boylam,
- n : Lokal toposentrik koordinat sistemin kuzey (dik) eksen,
- e : Lokal toposentrik koordinat sistemin doğu (yatay) eksen,

- h : Elipsoidal normal,
 $d\varphi$: $d\varphi_j - d\varphi_i$ (j. ve i. periyotlar arasında bir noktaya ait elipsoidal enlem koordinat farkı),
 $d\lambda$: $d\lambda_j - d\lambda_i$ (j. ve i. periyotlar arasında bir noktaya ait elipsoidal boylam koordinat farkı),
 dn : $dn_j - dn_i$ (lokal toposentrik koordinat sisteminde periyotlar arası n ekseni yönündeki değişim) ve
 de : $de_j - de_i$ (lokal toposentrik koordinat sisteminde periyotlar arası e ekseni yönündeki değişim)

olmak üzere;

Eşlenik noktaların φ , λ , h koordinat değerleri kullanılarak, karşılaştırılan periyotlar için eşlenik noktalara ait koordinat farkları (dX, dY, dZ), lokal toposentrik koordinat sistemdeki koordinat farklarına (dn, de, dh) dönüştürülür. Bu dönüşüm işleminin gerçekleşmesi için J ve H transformasyon matrisleri hesaplanmalıdır.

$$J^{-1}(\varphi, \lambda, h) = \begin{bmatrix} \frac{-\sin \varphi \cos \lambda}{M+h} & \frac{-\sin \varphi \sin \lambda}{M+h} & \frac{\cos \varphi}{M+h} \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \frac{(N+h) \cos \varphi}{\cos \varphi \cos \lambda} & \frac{(N+h) \cos \varphi}{\cos \varphi \sin \lambda} & \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

eşitliği J matrisinin tersini,

$$H(\varphi, \lambda) = \begin{bmatrix} M+h & 0 & 0 \\ 0 & (N+h) \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

eşitliği ise H matrisinin kendisini verir.

Bu eşitliklerde geçen M, N değerleri her bir eşlenik nokta için hesaplanır. Hesaplama kullanılan koordinatlar periyotlardan birisine aittir.

$H(\varphi, h)$ ve $J^{-1}(\varphi, \lambda, h)$ transformasyon matrisleri hesaplandıktan sonra, (3.17) eşitliğinde verilen dönüşüm işlemleri gerçekleştirilerek, karşılaştırılan periyotlar arasında lokal toposentrik sistemdeki eşlenik noktaların yatay konum değişimlerini veren dn ve de değerleri hesaplanır [Leick A.1994].

$$\begin{bmatrix} dn \\ de \\ dh \end{bmatrix} = H(\varphi, h) J^{-1}(\varphi, \lambda, h) \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

$$\begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} = J(\varphi, \lambda, h) H^{-1}(\varphi, h) \begin{bmatrix} dn \\ de \\ dh \end{bmatrix}$$

eşitliklerde geçen dX, dY, dZ karşılaştırılan periyotlar arasında kartezyen koordinat farklarıdır.

(3.11), (3.12) ve (3.13) eşitliklerinin gerçekleşebilmesi için X, Y, Z koordinatlarına ait varyans kovaryans matrisinin lokal toposentrik sistemdeki dönüşümü yapılır. H ve J transformasyon matrisleri kullanılarak,

$$\sum_{n,e,h} = (HJ^{-1}) \sum_{X,Y,Z} (HJ^{-1})^T \quad (3.18)$$

eşitliğinden lokal toposentrik sistem için varyans kovaryans matrisi elde edilir. Elde edilen bu varyans kovaryans matrisi de kullanılarak bağıl güven elips elemanları karşılaştırılan periyotlardaki her bir eşlenik nokta için hesaplanır.

3.1.2.2. Bağlı Güven Elipsoidi Elemanları

Aynı obje noktasının iki ölçme peryodu ile elde edilen koordinat farkları o noktanın $\underline{d}$ deformasyon vektörü (3.5) eşitliğinde verildiği gibi,

i ve k aynı noktanın iki ayrı peryotunu göstermek üzere;

$$\underline{d} = [\underline{x}_k - \underline{x}_i] = \underbrace{\begin{bmatrix} x_k - x_i \\ y_k - y_i \\ z_k - z_i \end{bmatrix}}_{\mathbf{F}} = \underbrace{\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\mathbf{X}} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ x_k \\ y_k \\ z_k \end{bmatrix}}_{\mathbf{X}} \quad (3.19)$$

$$\underline{d} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{X} \quad (3.20)$$

olur.

Buradan koordinat farkları vektörünün ters ağırlık matrisi,

$$\underline{Q}_{dd} = \mathbf{F} \underline{Q}_{xx} \mathbf{F}^T \quad (3.21)$$

şeklinde hesaplanır.

Burada $\underline{Q}_{xx}$;

$$\underline{Q}_{xx} = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{ii} & \underline{Q}_{ik} \\ \underline{Q}_{ki} & \underline{Q}_{kk} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$\underline{Q}_{xx}$ matrisinin alt matrisleri sırasıyla;

$$\underline{Q}_{ii} = \begin{bmatrix} q_{x_i x_i} & q_{x_i y_i} & q_{x_i z_i} \\ q_{y_i x_i} & q_{y_i y_i} & q_{y_i z_i} \\ q_{z_i x_i} & q_{z_i y_i} & q_{z_i z_i} \end{bmatrix}, \underline{Q}_{ik} = \begin{bmatrix} q_{x_i x_k} & q_{x_i y_k} & q_{x_i z_k} \\ q_{y_i x_k} & q_{y_i y_k} & q_{y_i z_k} \\ q_{z_i x_k} & q_{z_i y_k} & q_{z_i z_k} \end{bmatrix}, \underline{Q}_{kk} = \begin{bmatrix} q_{x_k x_k} & q_{x_k y_k} & q_{x_k z_k} \\ q_{y_k x_k} & q_{y_k y_k} & q_{y_k z_k} \\ q_{z_k x_k} & q_{z_k y_k} & q_{z_k z_k} \end{bmatrix}, \underline{Q}_{ki} = \underline{Q}_{ik}^T \quad (3.23)$$

kısa gösterimi ile;

$$Q_{dd} = Q_{ii} + Q_{kk} - Q_{ik} - Q_{ik}^T = \begin{bmatrix} q_{d_x d_x} & q_{d_x d_y} & q_{d_x d_z} \\ q_{d_y d_x} & q_{d_y d_y} & q_{d_y d_z} \\ q_{d_z d_x} & q_{d_z d_y} & q_{d_z d_z} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

ifade edilmektedir.

Bir noktaya ilişkin güven elipsoidinin elemanları;

$$A = m_o \sqrt{\lambda_1} \quad \text{X yönündeki yarı eksen uzunluğu} \quad (3.25)$$

$$B = m_o \sqrt{\lambda_2} \quad \text{Y yönündeki yarı eksen uzunluğu} \quad (3.26)$$

$$C = m_o \sqrt{\lambda_3} \quad \text{Z yönündeki yarı eksen uzunluğu} \quad (3.27)$$

olmak ve $j = A, B, C$ indis grubunu temsil etmek üzere;

$$\cos \alpha_j = \frac{M_j}{W_j} \quad \text{X eksen yönündeki dönüklük} \quad (3.28)$$

$$\cos \beta_j = \frac{N_j}{W_j} \quad \text{Y eksen yönündeki dönüklük} \quad (3.29)$$

$$\cos \gamma_j = \frac{T_j}{W_j} \quad \text{Z eksen yönündeki dönüklükleri verir,} \quad (3.30)$$

M, N, T, W ifadelerini hesaplamak için aşağıdaki formüller kullanılır;

$$\lambda_1 = 2\sqrt{-(p/3)} \cos \varphi - (a/3) \quad (3.31)$$

$$\lambda_1 = 2\sqrt{-(p/3)} \cos(\varphi + 2\pi/3) - (a/3) \quad (3.32)$$

$$\lambda_1 = 2\sqrt{-(p/3)} \cos(\varphi + 4\pi/3) - (a/3) \quad (3.33)$$

$$p = b - (a^2/3) \quad (3.34)$$

$$q = c - (ab/3) + 2a^3/27 \quad (3.35)$$

$$a = -(Q_{xx} + Q_{yy} + Q_{zz}) \quad (3.36)$$

$$b = Q_{xx}Q_{yy} + Q_{zz}Q_{xx} + Q_{yy}Q_{zz} - Q_{xy}^2 - Q_{xz}^2 - Q_{yz}^2 \quad (3.37)$$

$$c = Q_{xx}Q_{yz}^2 + Q_{yy}Q_{xz}^2 + Q_{zz}Q_{xy}^2 - Q_{xx}Q_{yy}Q_{zz} - 2Q_{xy}Q_{xz}Q_{yz} \quad (3.38)$$

$$M_j = Q_{xz}(Q_{yy} - \lambda_j) - Q_{xy}Q_{yz} \quad (3.39)$$

$$N_j = (Q_{xx} - \lambda_j)Q_{yz} - Q_{xy}Q_{xz} \quad (3.40)$$

$$T_j = Q_{xy}^2(Q_{xx} - \lambda_j) - (Q_{yy} - \lambda_j) \quad (3.41)$$

$$W_j^2 = M_j^2 + N_j^2 + T_j^2 \quad (3.42)$$

Böylece deneysel güven elipsoidinin elemanları,

$$A_G = m_o \sqrt{\lambda_1 3F_{3,f,1-\alpha}} \quad (3.43)$$

$$B_G = m_o \sqrt{\lambda_2 3F_{3,f,1-\alpha}} \quad (3.44)$$

$$C_G = m_o \sqrt{\lambda_3 3F_{3,f,1-\alpha}} \quad (3.45)$$

olarak hesaplanır. Bu eşitliklerden görüleceği üzere, bir noktanın güven elipsoidi içine düşme olasılığı S istatistik güvene bağlı olup, her durumda %95-%99 olarak alınabilmektedir [Konak, 1994].

3.2. S – Transformasyonu ve Yerkabuğu Hareketlerinin Araştırılmasındaki Yeri

Yerkabuğu hareketlerinin araştırılmasında S-Transformasyonunun yeri ve önemi, anlamlı nokta hareketlerinin araştırılmasında global test (doğrusal hipotez testi) yapılırken S-Transformasyonundan yararlanılmasıdır. Ayrıca yerkabuğu hareketlerinde anlamlı nokta hareketlerinin araştırılmasında datum birliğinin olması gerektiğinden, S-Transformasyonu datum birliğini sağlamak amacıyla bir datumdan diğer bir datuma geçilmesinde büyük kolaylık sağlar. Böylece tekrar tekrar yeni bir

dengeleme yapılmasına gerek kalmaz. Yerkabuğu hareketlerinin araştırılmasında S-Transformasyonu'nun kullanımı aşağıdaki gibidir.

1- Dengeleme modeli:

- Fonksiyonel Model,
- Stokastik Model

kurulur.

- 2- S – Transformasyonu yardımıyla global test yapılır ve bu test sonucunda anlamlı nokta hareketi olup olmadığına karar verilir,
- 3- S – Transformasyonu yardımıyla anlamlı nokta hareketlerinin araştırılması yapılır, başka bir deyişle anlamlı nokta hareketlerinin hangi noktalarda olduğu belirlenir [Caspary, 1987].

Yerkabuğu hareketlerinin araştırılması amacıyla jeodezik kontrol ağı oluşturulur. Belli aralıklarla ($t_1, t_2, \dots, t_n$) ağda gözlem yapılarak hareketli ve sabit noktalar ve buna göre obje değişimleri belirlenir. Anlamlı nokta hareketlerinin araştırılmasına geçmeden önce eşlenik ağ bölümleri tüm olarak karşılaştırılır ve aralarında anlamlı aykırılıklar olup olmadığı global test ile ortaya konur. Anlamlı nokta hareketlerinin araştırılması global test sonucunda ağın tümünün ya da eşlenik noktalar bölümünün herhangi bir yerinde anlamlı hareket karar verilmiş ise hareketli noktaların araştırılmasına geçilir.

Kabuk hareketlerinin araştırılmasına yönelik olarak geliştirilen statik yöntemler, genellikle farklı zamanlarda gözlenen bir jeodezik ağda eşlenik nokta koordinatlarının karşılaştırılması ve doğrusal hipotez testleriyle sapmaların anlamlı olup olmadığının araştırılmasına dayanır. Bir periyotta ağ geometrisinin kimi noktaların zarar görmesi, ağı genişletme amacıyla yeni noktalar eklenmesi ya da ölçme programının sınırlı tutulması gibi nedenlerle öncekinden farklı olması durumunda anlamlı nokta hareketlerinin araştırılması yalnızca her iki periyotta eşlenik noktalar içeren ağ bölümleri için yapılır. Karşılaştırılacak eşlenik nokta koordinatları aynı bir datumda olmalıdır. Anlamlı nokta hareketlerinin araştırılmasında sürekli datum değişikliği zorunlu olduğundan karşılaştırılacak ağları önce herhangi bir datumda, örneğin defekt sayısı kadar parametreyi sabit alarak ayrı ayrı klasik dengeleme ile dengelenir ve sonuçlar istenilen datumlara S – Transformasyonu kullanılarak dönüştürülebilir.

3.2.1. S-Transformasyonu İle Deformasyon Analizi

t_n zamanında ölçülen bir ağda “e” ile tanımlanan eşlenik (datum) noktalarının koordinatları ilk sırada, “b” ile tanımlanan diğer noktaların koordinatları ve diğer bilinmeyenler ikinci sırada olmak üzere herhangi bir i datumunda serbest dengeleme ile belirlenmiş olsun. Buna göre, i datumuna ilişkin x_i parametreler vektörü,

$$\underline{x}_i = \begin{bmatrix} \underline{x}_e^i \\ \dots \\ \underline{x}_b^i \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

biçiminde iki alt vektöre ayrılır. Bu ayrıma karşılık gelen kofaktörler matrisi,

$$\underline{Q}_{xx}^i = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{ee}^i & \underline{Q}_{eb}^i \\ \underline{Q}_{be}^i & \underline{Q}_{bb}^i \end{bmatrix} \quad (3.47)$$

olur. Burada dönüşüm hesabında kullanılacak $\underline{G}$ matrisi aç-kenar ağlarında;

$$\underline{G}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 & 1 \\ -y_1 & x_1 & -y_2 & x_2 & \dots & -y_u & x_u \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

şeklinde, yalnız aç-kenar ağlarında ise;

$$\underline{G}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 & 1 \\ -y_1 & x_1 & -y_2 & x_2 & \dots & -y_u & x_u \\ x_1 & y_1 & x_2 & y_2 & \dots & x_u & y_u \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

şeklindedir.

GPS ağları için $\underline{G}$ matrisi,

$$G = \begin{bmatrix} . & . & 1 & 0 & 0 & . & . & 1 & 0 & 0 & . & . \\ . & . & 0 & 1 & 0 & . & . & 0 & 1 & 0 & . & . \\ . & . & 0 & 0 & 1 & . & . & 0 & 0 & 1 & . & . \end{bmatrix}_{3 \times n} \quad (3.50)$$

şeklinde. Çünkü ağı diğer yönlendirme Parametreleri bellidir.

$$R = EG \quad (3.51)$$

$$E = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.52)$$

Buradaki E matrisi, datuma katılacak noktaları gösteren elemanları "1" diğerleri "0" olan köşegen bir matristir. G matrisi de, N matrisinin öz değerlerine karşılık gelen vektörlerden oluşan bir matristir. S- Transformasyonu ile herhangi bir datuma geçmek için yalnızca yeni datumu bilmek yeterli olmaktadır.

Datum seçici $\underline{E}$ matrisi köşegeni üzerinde ilk sırada datum noktalarına karşılık "1", öteki bilinmeyen elemanların "0" değerlerini içermesi gerektiğinden ,

$$\underline{G} = \begin{bmatrix} \underline{G}_e \\ \dots \\ \underline{G}_b \end{bmatrix} \underline{B}_j = \underline{E}_j \underline{G} = \begin{bmatrix} \underline{G}_e \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.53)$$

dir.

Böylece;

$$\underline{S}_j = \underline{I} - \underline{G} (\underline{B}_j^T \underline{G})^{-1} \underline{B}_j^T \quad (3.54)$$

transformasyon matrisi ile i datumundan ağı eşlenik noktalara göre konumlandırılmasını sağlayan j datumuna,

$$\underline{x}_j = \underline{S}_j \underline{x}_i \quad (3.55)$$

$$\underline{Q}_{xx} = \underline{S}_j \underline{Q}_{xx}^i \underline{S}_j^T \quad (3.56)$$

eşitlikleri ile geçilir.

Dönüşüm işlemleri 1. ve 2. periyotlar için ayrı ayrı yapılarak her iki periyot sonuçları için bir j datumunda eşlenik noktaların $(x_e^j)_1$ ve $(x_e^j)_2$ koordinat bilinmeyenleri ile bunların $(Q_{ee}^j)_1$ ve $(Q_{ee}^j)_2$ kofaktörler matrisi bulunur.

3.2.2. S-Transformasyonu ile Global Test

t_1 ve t_2 zamanlarında gözlenen ağ geometrileri farklı ise, global test yalnızca eşlenik noktalardan oluşan ağ bölümlerini kapsar. Her iki ağda eşlenik noktalar datum noktaları olarak alınır ve t_1 ve t_2 zamanlarındaki ağlar herhangi bir datuma (j datumuna) dönüştürülür.

Eşlenik noktaların global testi için H_0 sıfır hipotezi,

$$H_0 : E(x_e^j)_1 = E(x_e^j)_2 \quad (3.57)$$

biçiminde kurulur.

$$d_e = (x_e^j)_2 - (x_e^j)_1 \quad (3.58)$$

$$(Q_{dd})_e = (Q_{ee}^j)_1 + (Q_{ee}^j)_2 \quad (3.59)$$

eşitlikleri ile karesel formdaki artım miktarı,

$$R_e = d_e^T (Q_{dd})_e^{-1} d_e \quad (3.60)$$

bağıntısından hesaplanır.

Burada $(Q_{dd})^+$, (Q_{dd}) matrisinin Pseudo İnversidir.

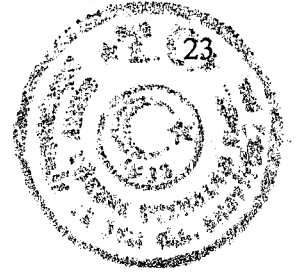
$(Q_{dd})^+$ matrisinin rangı,

$$h_e = rang(Q_{x_1, x_1} + Q_{x_2, x_2}) \quad (3.61)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Ağın geometrik şekli ve datum parametreleri her iki ölçme periyotunda da aynı ise

$$h_e = r(Q_{x_1, x_1}) = r(Q_{x_2, x_2}) = u_e - d_e \quad (3.62)$$



Burada;

h_e : $(Q_{dd})_e^+$ nin rangı

u_e : koordinat bilinmeyenleri sayısı

d_e : datum parametrelerinin sayısı

göstermektedir.

Böylece;

R_e ' nin serbestlik derecesi

$$h_e = u_e - d_e \quad (3.63)$$

olmaktadır.

Buradan;

$$T = \frac{R_e}{\sigma_0^2 h_e} \quad (3.64)$$

test büyüklüğü elde edilir.

$$T > F_{h_e, f, 1-\alpha} \quad (3.65)$$

sonucu ortaya çıkarsa ağın eşlenik noktalarından oluşan bölümünde bir deformasyon olduğuna karar verilir [Demirel H,1987 ve Akdoğan N,1998].

Yapılan uygulamalar arasında, çeşitli yöntemlerden biri olan S-Transformasyonunun, yer kabuğunun anlamlı nokta hareketlerinin araştırılmasında, özellikle yeni bir dengelemeye gerek kalmaksızın bir datumdan başka bir datuma geçişteki önemini ortaya çıkarmıştır.

3.2.3. S –Transformasyonu Yardımıyla Anlamalı Nokta Hareketlerinin Araştırılması



Global test sonucunda ağın tümünün ya da eşlenik noktalar bölümünün herhangi bir yerinde deformasyon olduğuna karar verilmiş ise hareketli noktaların araştırılmasına geçilir. Eşlenik noktalardan her birinin yer değiştirmiş olabileceği düşünülerek i datumunda serbest dengeleme ile belirlenmiş bir periyoda ilişkin (3.34) parametreler vektörünün eşlenik nokta koordinatlarını içeren x_e^i alt vektörü, hareket ettiği varsayılan bir noktanın koordinatlarını içeren x_h^i ve sabit olduğu kabul edilen eşlenik nokta koordinatlarını içeren x_s^i alt vektörlerine ayrılır. Eşlenik olmayan noktalara ilişkin parametreler ve diğer bilinmeyenler x_b^i vektörü içinde toplandığına göre (3.34) vektörü ve ağırlık katsayılar matrisi,

$$\underline{x}_e^i = \begin{bmatrix} \underline{x}_s^i \\ \underline{x}_h^i \\ \underline{x}_b^i \end{bmatrix} \quad (3.66)$$

$$\underline{Q}_{xx}^i = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{ss}^i & \underline{Q}_{sh}^i & \underline{Q}_{sb}^i \\ \underline{Q}_{hs}^i & \underline{Q}_{hh}^i & \underline{Q}_{hb}^i \\ \underline{Q}_{bs}^i & \underline{Q}_{bh}^i & \underline{Q}_{bb}^i \end{bmatrix} \quad (3.67)$$

olur. t_n zamanında ölçülen ağ şimdi koordinatları x_s içinde toplanan ve sabit kabul edilen noktalara göre konumlandırılmalıdır. Bu datum k ile gösterilirse (3.34) ayırımına uygun olarak (3.41) yerine,

$$\underline{G} = \begin{bmatrix} \underline{G}_s \\ \underline{G}_h \\ \underline{G}_b \end{bmatrix} \underline{B}_k = \underline{E}_k \cdot \underline{G} = \begin{bmatrix} \underline{G}_s \\ \underline{0} \\ \underline{0} \end{bmatrix} \quad (3.68)$$

ile (3.42) den S_k transformasyon matrisi bulunmalı ve her periyot için,

$$\underline{x}_h^k = \underline{S}_k \cdot \underline{x}_h^i \cdot \underline{Q}_{xx}^k = \underline{S}_k \cdot \underline{Q}_{xx}^i \cdot \underline{S}_k^T \quad (3.69)$$

$$\underline{x}_h^k = \underline{S}_k \begin{bmatrix} \underline{Q}_{ss}^i & \underline{Q}_{sh}^i & \underline{Q}_{sb}^i \\ \underline{Q}_{hs}^i & \underline{Q}_{hh}^i & \underline{Q}_{hb}^i \\ \underline{Q}_{bs}^i & \underline{Q}_{bh}^i & \underline{Q}_{bb}^i \end{bmatrix} \underline{S}_k^T \quad (3.70)$$

transformasyonları yapılmalıdır. Sabit kabul edilen noktaların ya da,

$$H_0 = E(x_s^k)_1 = E(x_s^k)_2 \quad (3.71)$$

sıfır hipotezi testi için (3.66) ve (3.67) eşitliklerine uygun olarak iki periyoda ilişkin x_s alt vektörlerinin d_s koordinat farkları,

$$\underline{d}_s = \underline{x}_{s_2}^k - \underline{x}_{s_1}^k \quad (3.72)$$

bunların ağırlık katsayılar matrisi,

$$(\underline{Q}_{ddl})_s = (\underline{Q}_{ss}^k)_1 + (\underline{Q}_{ss}^k)_2 \quad (3.73)$$

ve düzeltmelerin kareler toplamı için artım miktarı,

$$\underline{R}_s = \underline{d}_s^T (\underline{Q}_{ddl})_s^+ \underline{d}_s \quad (3.74)$$

elde edilir. x_e alt vektöründeki noktalardan her biri için yinelenerek her defasında x_s ve x_h ayırımına karşılık bir R_s değeri bulunur. Global test sonucu ağı herhangi bir yerinde deformasyon olduğuna karar verilmiş ise,

$$(R_s)_{\min} = \min(R_s)_i; \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (3.75)$$

(p eşlenik nokta sayısı) değerli noktadaki hareket anlamlı görülür.(3.50) ye göre;

$$F = \frac{(R_s)_{\min}}{\sigma_0^2 h_s} \quad (3.76)$$

test büyüklüğü,

$$F > F_{h_s, f, 1-\alpha}$$

sınır değerinden büyük çıkıyorsa $(R_s)_{\min}$ değerli nokta x_b vektörü içine alınır ve geri kalan eşlenik nokta kümesi için işlemler yinelenerek öteki hareketli noktaların araştırılması sürdürülür [Demirel H.,1987],[Akdoğan N.,1998].



4. DEFORMASYON AMAÇLI JEODEZİK AĞLARDA OPTİMİZASYON

Deformasyonların izlenmesine yönelik jeodezik ağların oluşturulması, oluşturulan ağların geliştirilmesi ve iyileştirilmesi konusu, özellikle teknolojinin sunduğu yeni olanaklar ile jeodezinin gündeminde belirleyici bir nitelik kazanmıştır. Bunun bir sonucu olarak; jeodezik ağların tasarımı, geliştirilmesi ve iyileştirilmesi aşamasında seçilen bir amaç fonksiyonuna göre, jeodezik ağın datumu, konumu, ölçme planı ve ölçü duyarlıkları en uygun duruma getirilmektedir. Son adımda ise her bir ölçü kümesi için gerekecek zaman, ekipman ve harcama gibi kısıtlayıcılar da göz önüne alınarak en uygun sonuçlara ulaşmak amaçlanmaktadır.

Bir optimizasyon işlemi genelde duyarlık, doğruluk ve güvenilirlik yönünden en uygunlaştırma temeline dayanır. Uygun bir optimizasyon algoritması seçilerek simülasyon yöntemleri ya da analitik yöntemler kullanılarak amaç fonksiyonuna ulaşılmaya çalışılır.

Jeodezik ağların günümüzdeki işlerliği harita üretimine altlık oluşturma amacından ziyade özellikle deformasyon analizi amacına yönelik çalışmalarda sık sık jeodezik ağlar kurulmaktadır. Bu tür ağların bir özelliği de çok sayıda amacı en iyi gerçekleştiren ölçü elemanlarının seçimini zorunlu kılmakta yani, ölçü planının optimize edilmesi gereğini ortaya çıkarmaktadır. Bu tür amaca yönelik ağlarda amacın gerçekleştirilmesi, tasarım aşamasında ağın koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrisinin taşınması gereken özelliklerin tasarıma yansıtılabilmesine bağlıdır. Bu nedenle ağın amaç fonksiyonu olarak ideal bir matrisin alınabilmesi, uygulamada önemli bir gereksinimi sağlar. Tasarım sırasında ağın verileri arasında yer alan bu matrise “ölçüt matrisi” adı verilmektedir [Ayan, 1981]. Tasarlanacak ağın varyans-kovaryans matrisinin alınan ölçüt matrisine uyum gösterebilmesi için ağın şekli, ölçü doğrulukları ne olmalıdır? vb. sorularının yanıtları tam olarak ancak “Jeodezik Ağların Optimizasyonu” ile verilebilir.

Bu aşamada kurulacak ağın dizaynı birinci derecede önemlidir. Ağın yapılacak çalışma için optimal bir deformasyon izleme ağının amacı kısaca;

- ◆ Önceden tahmin edilen bir doğruluğa ulaşmak,

- ◆ Kendi kendini kontrol eden güvenilir bir matematik model kurmak
- ◆ Parametrelerin bilinen belli a-priori fonksiyonlarına karşı yeterli duyarlılığı sağlamak,
- ◆ Pratik ve ekonomik kısıtlara göre uygulanabilir gözlemlerin belirlenmesi olarak özetlenebilir [Caspary, 1987].

İlk söylenilen maddedeki amaca ulaşmak, doğrudan doğruya ağın datumu ile alakalıdır. Çünkü ağın datumundaki hatalar daha ilk başta ölçümlere deformasyon ile başlamak anlamına gelir. Bunun için deformasyon ağları, hiçbir koordinat sistemine bağlı olmayan lokal ağlar olarak kurulurlar. Ağın yöneltilmesi gelişmiş güzel yapılabileceği gibi yaklaşık olarak da yapılabilir. Optimal bir ağ kurma çalışmalarında değişkenler ağın geometrisi ve ölçülerin ağırlıklarıdır. Yatay yöndeki deformasyon analizi için kullanılan jeodezik verilerin elde edildiği ölçme yöntemleri; klasik jeodezik ölçmeler (açı ve uzunluk ölçmeleri), VLBI (Very Long Baseline Interferometry / Çok Uzun Baz İnterferometrisi), SLR (Satellite Laser Ranging / Uydu Lazer Ölçümü) ve GPS (Global Positioning System / Küresel Konumlama Sistemi) [Altınar, 1999].

Jeodezik ağların tasarımı, geliştirilmesi ya da iyileştirilmesi sırasında, bir amaç fonksiyonu seçilerek ağın datumunun, geometrik şeklinin ya da noktaların konumlarının en uygun biçimde belirlenmesi işlemine “Jeodezik Ağların Optimizasyonu” denilmektedir. Sözgelimi bir nirengi ağındaki doğrultu, kenar, düşey açı, yükseklik farkları, GPS ve azimut gözlemleri gibi ölçülerin sayılarının ve bunların ağ içindeki dağılımlarının belirlenmesi, ölçü elemanlarının duyarlıklarının saptanması bir optimizasyon işlemidir [Öztürk, 1992]

Jeodezik ağların optimizasyonunda çok değişik sınıflamalar olası olmakla birlikte Graferand tarafından, optimum hale getirilmek üzere seçilen parametrelere göre yapılan sınıflandırma en uygundur. Buna göre:

4.1. O.Derece Optimizasyon

Bir datum problemidir. Problem ağ noktalarının koordinatları ya da bunların bir fonksiyonu ile tanımlanacak bir amaç fonksiyonunun gerçekleştirilebilmesi için

datumun nasıl seçilmesi gerektiği şeklinde ortaya konur. Ağın şekli ve ölçü ağırlıkları değişmez. Problem serbest ağ dengelemesi ile çözülür.

4.2.1. Derece Optimizasyon

Datum ve ölçü ağırlıkları sabit tutularak, ağın şekli değiştirilerek amaç fonksiyonunun gerçekleştirilmesi problemidir. Ağın serbest parametreleri A şekil matrisidir. Bu matris ağ noktalarının yaklaşık koordinatları diğer bir deyişle ağ noktalarının yerleri ve ölçü planı olmak üzere iki parametreye bağlı olarak değişir. O halde 1. derece optimizasyon bu iki parametreye bağlıdır.

Bir jeodezik ağın şekli A Dizayn (şekil) matrisi ile ifade edilebilir. Dizayn matrisi, hem nokta konumlarına hem de noktaların birbirleri ile olan bağlantılarına ilişkin bilgiler içerdiğinden; 1. derece optimizasyon bir diğer deyişle şekil optimizasyonu, ağ noktalarının optimal konumlarının belirlenmesi ve optimal ölçü planının belirlenmesi gibi iki problemi içerir.

4.2. 2. Derece Optimizasyon

Ölçü ağırlıklarının optimal dağılımı bir başka deyişle optimal doğrulukları belirleme problemidir. Ağın datumu ve şekli sabit tutularak amaç fonksiyonu sadece ağırlıklarının değiştirilmesi ile gerçekleştirilir. Problem bu haliyle hem duyarlık, hem de ekonomik olma optimizasyonuna dönüşür.

4.3. 3.Derece Optimizasyon

Belli amaçlara uygun olmayan ağların söz konusu amaç fonksiyonunu sağlayacak şekilde geliştirilmesi problemidir. Optimizasyon probleminin bu şeklinde kısmen serbest ağ parametrelerinden söz edilebilir. Ağda datum değişmez, şekil matrisi ve ölçü ağırlıkları kısmen değişir. Burada farklı üç problem ortaya çıkmaktadır. İlki, ağa katılan yeni noktalar için optimal nokta konumlarını belirlemek, diğeri hangi ilave ölçülerin yapılacağını tespit etmek, üçüncüsü ise, ağa katılan ilave ölçülerin uygun ağırlık dağılımı belirlemektir.

5. JEODEZİK DEFORMASYON AĞI ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Jeodezik Deformasyon Ağı Tasarımı ve Ölçümü

Tasarım aşamasında, deformasyon alanı, hareketlerin zamana bağlı gelişimi, ilgilenilen doğrultusu ve büyüklüğüne ilişkin önsel bilgilere gereksinim vardır. Ağ noktaları obje deformasyonlarını yansıtacak konum ve sıklıkta oluşturulmalıdır. Deformasyonlar genellikle küçük değişimlerdir [Ayan,1983]. Bu nedenle bir jeodezik kontrol ağında yüksek koordinat doğruluğu ve ölçü güvenilirliği sağlanmalı, tasarlanan ağ ile hangi büyüklükteki deformasyonların belli bir güven düzeyi ile kanıtlanabileceği saptanmalıdır[Demirel, 1992].

Jeodezik kontrol ağını nokta koordinat doğruluğu bakımından en uygunlaştırma, ölçülmesi tasarlanan elemanlara göre tüm iz minimum çözümü ile belirlenen koordinat bilinmeyenlerine ilişkin Σ_{xx} kovaryans matrisinin ideal bir ölçüt matrisini (C_{xx}) sağlaması biçiminde gerçekleştirilir. Öngörülen ölçüt matrisi C_{xx} amaç fonksiyonudur [Ayan, 1981]. x_1 ve x_2 , I. ve II. periyotlara ilişkin koordinat bilinmeyenleri olmak üzere bunların farkı $d=x_2-x_1$ ve bu fark vektörünün ağırlık katsayıları matrisi $Q_{dd} = Q_{x_1x_1} + Q_{x_2x_2}$, gerçeğe uygun olarak kestirilmiş varyans faktörü σ_o^2 ile kovaryans matrisi,

$$\Sigma_{xx} = \sigma_o^2 Q_{dd} \quad (5.1)$$

olur. Benzer biçimde koordinat farklarına ölçüt matrisleri uygulanırsa d için

$$C_{dd} = C_{x_1x_1} + C_{x_2x_2} \quad (5.2)$$

kovaryans matrisi elde edilir. Her iki periyot için aynı ölçüt matrisi öngörülürse (5.2)' den bir periyot için

$$C_{xx} = \frac{1}{2} C_{dd} \quad (5.3)$$

kovaryans matrisi çıkar. Buna göre C_{xx} ölçüt matrisi, deformasyon araştırmasına temel olan d koordinat farkları (beklenen değişimler) için düşünülen C_{dd} kovaryans matrisinin yarısına eşit olmalıdır. Tasarlanan ölçme planı ve ölçü doğrulukları

değiştirilerek koordinat bilinmeyenlerine ilişkin kovaryans matrisin ölçüt matrisini sağladığı çözüme ulaşılır. Her iki matrisi karşılaştırma işleminde, S-transformasyonu uygulanarak datum birliği sağlanmalıdır [Niemeier, 1985].

Hangi büyüklükteki deformasyonların istatistiksel olarak kanıtlanabileceğine duyarlılık analiziyle karar verilir. d fark vektörünün umut değerinin sıfıra eşit olduğu hipotezi öngörülür. Ancak, bu umut değerinin sıfırdan farklı olduğu başka bir hipotez de öne sürülebilir. Seçenek hipotez olarak adlandırılan bu hipoteze göre d fark vektörünün bir d_A vektörüne olduğu düşünülürse analizde kullanılan testin dış merkezlik parametresi,

$$\lambda_A = \frac{d_A^T Q_{dd}^+ d_A}{\sigma_o^2} \quad (5.4)$$

olur. Bu parametre, α_o yanlışma olasılığına, f serbestlik derecesine ve β_o test gücüne bağlı olarak tanımlanan λ_o sınır değerinden büyük olmalıdır. Beklenen deformasyon vektörü g ve ölçek faktörü a olmak üzere (5.4) eşitliğinde geçen d_A vektörü için,

$$d_A = a \cdot g \quad (5.5)$$

yazılır ve $\lambda_A > \lambda_o$ olduğu düşünülürse (5.4) den a ölçek faktörünün en küçük değeri,

$$a_{\min} = \sigma_o \sqrt{\frac{\lambda_o}{g^T Q_{dd}^+ g}} \quad (5.6)$$

olarak elde edilir. Buna göre,

$$(d_A)_{\min} = a_{\min} g \quad (5.7)$$

olur. $(d_A)_{\min}$ vektörü, tasarlanan jeodezik kontrol ağı ile kanıtlanabilecek en küçük deformasyonları göstermektedir [Niemeier, 1985].

Bir bölgede deformasyon amacıyla kurulan bir ağda hangi zaman aralıklarıyla gözlem yapmak gerektiğine deformasyonların zamana bağlı gelişimi ya da objeye etkileyen kuvvetlerdeki değişim zamanı göz önüne alınarak karar verilir. Ancak yerkabuğunda meydana gelen deformasyonların gözle görülemeyecek büyüklüklerde olması nedeniyle ölçme zamanının kestirimi genellikle zordur. Bu problemin en ideal

çözümü ağın sürekli izlenmesi şeklindedir. Gelişen uzay teknikleri (GPS, SLR, VLBI vb.) yardımıyla yerel veya global ağların sürekli izlenmesi mümkün olmakta ve geniş çapta uygulanmaktadır. Ancak, bu tekniklerden üç boyutlu konum bilgisi sağlayan GPS' de, düşey bileşen belirleme doğruluğu geometrik nivelmana göre düşük olduğundan düşey yöndeki deformasyonların araştırılmasındaki yüksek doğruluk gereksinimi karşılanmamaktadır.

5.2. Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Hareketli bir bölgede tasarım ilkelerine göre oluşturulmuş bir jeodezik ağ t_i ($i=1,2,3,...,n$) zamanlarında ölçülmüş olsun (n periyot sayısı). Periyotlar arasında genellikle fonksiyonel ve stokastik bağımlılık olmadığı varsayılarak her periyoda ilişkin ölçüler en küçük kareler yöntemine göre ayrı ayrı serbest dengelenir. Dengeleme modeli ve uyumsuz ölçü testleri yapılır. Ölçülerin güvenilirlikleri belirlenir [Öztürk ve Şerbetçi, 1995],[Demirel, 2001].

5.3. Matematiksel Model ve Dengeleme Sonuçları

A katsayılar matrisi, x küçültülmüş bilinmeyenler vektörü ve l küçültülmüş ölçüler vektörü olmak üzere dengelemenin doğrusallaştırılmış fonksiyonel modeli,

$$V = A x - l \quad (5.8)$$

ve stokastik modeli olarak ölçülerin kovaryans matrisi $\Sigma_{ll} = \sigma_0^2 Q_{ll} = \sigma_0^2 P^{-1}$ verilmiş olsun burada (P ölçülerin ağırlık matrisi, Q_{ll} ağırlık katsayılar matrisi) olmak üzere. $N=A^T P A$, $n = A^T P l$ ve $N x - n = 0$ normal denklemlerinden $\det \neq 0$ olduğu varsayılırsa bilinmeyenler vektörü,

$$x = N^{-1} n \quad (5.9)$$

çıkar. Bilinmeyenlerin ağırlık katsayıları matrisi, normal denklem katsayılar matrisinin tersine eşittir;

$$Q_{xx} = N^{-1} \quad (5.10)$$

$$\hat{l} = l + v = A x \quad (5.11)$$

dengelenmiş ölçülerin ağırlık katsayılar matrisi,

$$\bar{Q} = A Q_{xx} A^T$$

düzeltilmelerin ağırlık katsayılar matrisi,

$$Q_{vv} = P^{-1} - \bar{Q} \quad (5.13)$$

ve birim ağırlıklı ölçünün standart sapması,

$$m_0 = \sqrt{\frac{v^T P v}{f}} \quad (5.14)$$

olur. Bu eşitlikte $v^T P v$ düzeltilmelerin karesel biçimi, f serbestlik derecesidir.

5.4. En küçük Kareler Yöntemi

Ağın datumu olarak bilinen, ağın konumlandırılması, yöneltilmesi ve açı ağlarında ölçeklendirilmesi, bazı ön kabullere dayanmaksızın, yeni ağın tüm nokta koordinatlarının bilinmeyen olarak alınması ile dengelenen ağlar “bağılantısız ağ”, ya da “serbest ağ” adını alırlar.

Dengeleme modeli (Gauss-Markov modeli), lineer hale getirilmiş fonksiyonel model, matris gösterimi ile,

$$l + v = A x \quad (5.15)$$

ve stokastik model

$$\Sigma_{ll} = \sigma_o^2 Q_{ll} \quad (5.16)$$

ile verilmektedir. Burada n ölçü sayısı, u bilinmeyenlerin sayısı olmak üzere,

A : düzeltme denklemi katsayılar matrisi, $o(A) = n \times u$

x : koordinat bilinmeyenleri vektörü, $o(x) = u$

l : ölçüler vektörü, $o(l) = n$

v : ölçülerin düzeltilmeler vektörü, $o(v) = n$

Σ_{ll} : ölçülerin varyans-kovaryans matrisi, $o(\Sigma_{ll}) = n \times n$

Q_{ll} : ölçülerin kovaryans matrisi, $o(Q_{ll}) = n \times n$



σ_o^2 : birim ağırlıklı ölçünün varyansı, olarak ifade edilmektedir.

$P = Q_{ll}^{-1}$ ifadesi ölçülerin ağırlık matrisi için geçerlidir ve ölçüler arasında korelasyon yoksa P bir köşegen matrisidir.

Gauss-Markov modelinden bilinmeyenler için “en olasılıklı değer” veya “kesin değer”ler, $\hat{x}$ (alt çizgi)

$$A^T = Q_{ll}^{-1} Ax = A^T Q_{ll}^{-1} l \quad (5.17)$$

bağıntısı ile verilen, dengelemenin normal denklemlerinin çözümü ile ve düzeltmeler (5.15) de $\underline{x}$ yerine $\hat{x}$ konarak

$$v = A \cdot \hat{x} - l \quad (5.18)$$

ile ve σ_o^2 teorik varyansı için, bir hesap değeri

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{v^T Q_{ll}^{-1} v}{n - u} \quad (5.19)$$

bağıntısı ile bulunur.

$\frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2}$ büyüklüğü F-testi uygulanarak test edilebilir. Bu test kabul edilen fonksiyonel

veya stokastik modelin verilen istatistiksel olasılık ile red edilip edilmeyeceğini belirler. Testte çok sayıda ölçünün yer almasından dolayı, tek bir ölçü için yeterli duyarlılıkta olmayabilir, yani, testin modeli red etmemesine karşın ölçüler arasında hatalar bulunabilir [Grundig, 1986],[Yılmaz, 2001].

5.5. Kontrol Ağının Serbest Olarak Dengelenmesi

Yerkabuğu hareketlerinin araştırılması için oluşturulan jeodezik kontrol ağların, anlamlı nokta hareketlerinin belirlenmesi analizinde varsayımlardan mümkün olduğu kadar sakınmak ilkesine uygun olarak, ağın konumlandırılması, yönlendirilmesi ve ölçeklendirilmesi yani ağın datumu üzerinde varsayımlara meydan vermeyen ve ağın iç presizyonunu gerçekçi bir biçimde yansıtan serbest ağ dengelemesi uygulanır.

Deformasyon analizine kontrol ağının dengelemesi ile başlanır, uygulanacak dengeleme yöntemi ise hem hata hesaplarına, hem de programlama tekniğine en uygun olan dolaylı ölçüler dengelemesidir[Ayan, 1981].

Dengelemenin normal denklem katsayılar matrisi,

$$\underline{N} = \underline{A}^T \underline{P} \underline{A} \quad \text{ve} \quad \underline{n} = \underline{A}^T \underline{P} \underline{l} \quad \text{ile,} \quad \underline{N} \underline{x} = \underline{n} \quad (5.20)$$

olmak üzere, ağ serbest dengelenmek üzere tüm nokta koordinatları bilinmeyen olarak alındığında, katsayılar matrisinin rangı $r(\underline{N})$, bilinmeyen sayısı u 'dan küçüktür ve $\underline{N}$ matrisinin,

$$\underline{N} \underline{N}^+ = \underline{N}^+ \underline{N} = \underline{I} \quad (5.21)$$

bağıntısını sağlayan Cayley inversi $\underline{N}^+$ yoktur. Bu yüzden dengelemeye $\underline{v}^T \underline{P} \underline{v} = \min$ ilkesine ek olarak,

$$\underline{x}^T \underline{x} = \min \quad (5.22)$$

koşulu ileri sürülür. Bu koşulun sağlanması ve (5.19) eşitliğinin çözümü Moore-Penrose invers $\underline{N}^+$ ile olur [Ayan, 1981].

$$\underline{x} = \underline{N}^+ \underline{n} \quad (5.23)$$

Moore-Penrose invers,

$$\underline{N} \underline{N}^+ \underline{N} = \underline{N} \quad (5.24)$$

$$\underline{N}^+ \underline{N} \underline{N}^+ = \underline{N}^+ \quad (5.25)$$

$$(\underline{N}^+ \underline{N})^T = \underline{N}^+ \underline{N} \quad (5.26)$$

$$(\underline{N} \underline{N}^+)^T = \underline{N} \underline{N}^+ \quad (5.27)$$

koşullarını sağlayan bir genelleştirilmiş inversdir [Ayan, 1978].

Moore-Penrose inversin hesabı değişik yollarla mümkündür. Moore-Penrose inversin hesabı için bir yol olarak, $\underline{N}$ matrisinin özdeğerlerine karşılık gelen özvektörlerden oluşan G matrisi kullanılır. Buradan (5.23) eşitliğin çözümü;

$$\hat{x} = (A^T P A + G G^T)^{-1} A^T P l \quad (5.28)$$

$$Q_{\hat{x}} = (A^T P A + G G^T)^{-1} - G G^T \quad (5.29)$$

$$v = -(P^{-1} - A Q_{\hat{x}} A^T) P l \quad (5.30)$$

$$Q_v = P^{-1} - A Q_{\hat{x}} A^T \quad (5.31)$$

$$S_0^2 = \frac{v^T P v}{f} \quad (5.32)$$

olarak bulunur. Burada $Q_{\hat{x}}$ bilinmeyenlerin kofaktör matrisi, Q_v düzeltmelerin kofaktörler matrisi, S_0^2 a-posteriori varyans, f serbestlik derecesini ($f=n-u+d$) gösterir. Bilinmeyenlere ilişkin standart sapma değerleri de,

$$\hat{\sigma}_i = \hat{\sigma}_0 \sqrt{q_{x_i, x_i}} \quad (5.33)$$

eşitliği elde edilir. Burada, q_{x_i, x_i} “i” bilinmeyenine ait kofaktörler matrisindeki köşegen elemanıdır [Demirel H., 1987], [Şerbetçi M., 1992-1995].

Deformasyon ilkesinin birinci ilkesi varsayımlardan mümkün olduğu kadar sakınmak ise, ikinci ilkesi de kaçınılmaz varsayımların test edilmesi gereğidir. Bu nedenle dengelemenin içindeki varsayımlar da test edilmelidir [Ayan, 1982].

Bu test dengelemenin fonksiyonel ve stokastik modellerinin testidir. Fonksiyonel modelin testinde bilinmeyenlerin doğru olarak seçilip seçilmediği test edilir.

Stokastik modelin testi ise, varsayıldığı şekilde ölçüler normal dağılımdalar mı?, aralarında kaba hatalı ölçüler var mı?, dengeleme öncesi birim ağırlıklı ölçünün

varyansı ile a-posteriori varyansın birbiri ile uyumu iyi mi? gibi kriterler teste tabi tutulur.

Bu testlerde, kriter olarak ilgili serbestlik derecelerine ve istenilen güven değerine karşılık Fischer, χ^2 , t ve standartlaştırılmış normal dağılım tablolarından alınan değerler kullanılır.

5.6. Jeodezik Ağlarda Güvenirlik Ölçütü

Bir jeodezik ağda yapılan ölçülerdeki kaba hataların hangi oranda denetlenebildiği güvenilirlik ölçütü ile belirlenir.

x bilinmeyenlerinin (5.9) daki eşiti (5.8) düzeltme denklemlerinde göz önüne alınırsa düzeltmeler için,

$$v = (\bar{Q}P - E)I \quad (5.34)$$

elde edilir. Bu eşitlikte (5.12) ile verilen düzeltmelerin ağırlık katsayıları matrisi göz önüne alınırsa düzeltme vektörü,

$$v = -Q_{vv}PI \quad (5.35)$$

bulunur [Aydın, 2001]. Bu eşitlikte geçen $R = Q_{vv}P$ matris çarpımı fazla ölçü (redündans) matrisi olarak adlandırılır ve bu matrisin i. köşegen elemanı,

$$(Q_{vv}P)_{ii} = Q_{v_i v_i} P_i = 1 - \bar{Q}_{ii} P_i = r_i \quad (5.36)$$

ilgili ölçünün fazla ölçü payını verir. Fazla ölçü matrisinin izi (fazla ölçü paylarının toplamı) serbestlik derecesine eşit olur.

(5.35) den ölçüler vektöründeki dl değişiminin düzeltmelere etkisi,

$$dv = -Rdl \quad (5.37)$$

olmak üzere bir ölçüdeki dl_i hatasının bu ölçünün düzeltilmesi içindeki payı yaklaşık olarak,

$$dv_i = -r_i dl_i \quad (5.38)$$

çıkar. Buna göre r_i fazla ölçü payı, bir ölçüdeki hatanın o ölçünün düzeltilmesine hangi oranda yansıdığını gösteren bir büyüklüktür. r_i ne denli büyükse, bir ölçüdeki kaba hata bu ölçünün düzeltilmesine o ölçüde iyi yansır [Demirel, 2001]. Fazla ölçü payı çok küçükse, ilgili ölçüdeki hata düzeltilmesine aktarılmaz ve bu yüzden hatalı ölçü belirlenemez. Kaba hatası bakımından bir ölçünün denetlenebilirlik ölçütü olan r_i fazla ölçü payı, aynı zamanda o ölçünün ne denli güvenilir olduğunu gösterir. Bir jeodezik ağda fazla ölçü paylarının büyük (≥ 0.30) ve eşit olması amaçlanır [Demirel, 2001],[Aydın, 2001].

5.7. Model Hipotezinin Testi

Fonksiyonel modelin ve stokastik modelin, ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ilişkilerle ve fiziksel gerçeklere uygun olup olmadıkları, gözlemler arasındaki duyarlık ilişkilerini doğru yansıtıp yansıtmadıkları model hipotezinin testi ile denetlenir [Öztürk ve Şerbetçi, 1995]

Bir jeodezik ağda ölçülerin doğruluklarını belirlemek ve matematiksel model hakkında bilgi edinebilmek amacıyla yapılan bir ön dengeleme ile elde edilecek $\hat{\sigma}_0^2$ önsel varyansı ve toplu dengeleme sonucunda elde edilen birim ağırlıklı ölçünün varyansı olan σ_0^2 sonsal varyansı karşılaştırılır. Bu standart sapmalar aynı kuramsal standart sapmanın farklı yollardan elde edilen deneysel değerleri oldukları için bunların beklenen değerlerinin birbirine eşit olması gerekir;

$$H_0 = E(\hat{\sigma}_0^2) = E(\sigma_0^2) \quad (5.39)$$

bu hipotezin doğru olup olmadığı araştırılır. Sıfır hipotezinin geçerli olması durumunda $\frac{\sigma_0^2}{\hat{\sigma}_0^2}$ oranı merkezsiz F-dağılımına uyar ve test büyüklüğü,

$$T_M = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \sim F_{f,\infty} \quad (5.40)$$

olur. Burada f , sonsal varyansın serbestlik derecesi, ∞ , önsel varyansın serbestlik derecesidir. (5.39) test büyüklüğü güven sınırı olan $F_{f,\infty,1-\alpha}$ değerinden küçük ise

model hatası olmadığına karar verilir. Aksi durumda (5.38) hipotezi reddedilir ve model hatası olduğuna karar verilir [Demirel, 2001].

5.8. Uyuşumsuz Ölçülerin Araştırılması

Bu amaçla geliştirilmiş çeşitli test yöntemleri vardır. Bu yöntemler arasındaki fark, düzeltmelerin normlandırılması için değişik varyans faktörleri kullanılmasındandır. Baarda test yönteminde önsel varyans $\hat{\sigma}_0^2$, Pope test yönteminde sonsal varyans σ_{0i}^2 ve t testinde ilgili ölçünün dışında kalan ölçülerin dengelenmesi ile elde edilen sonsal varyansın σ_{0i}^2 kullanılır.

Buna göre test büyüklükleri (normlandırılmış düzeltmeler) ve dağılımları; Baarda'ya göre;

$$\bar{v}_{i,B} = \frac{|v_i|}{(\hat{\sigma}_0^2 \sqrt{q_{v_i v_i}})} \quad || \quad N(0,1) \text{ standart normal dağılımlı} \quad (5.41)$$

pope'ye göre;

$$\bar{v}_{i,P} = \frac{|v_i|}{(\sigma_0^2 \sqrt{q_{v_i v_i}})} \quad || \quad \tau_f \text{ Tau dağılımlı} \quad (5.42)$$

t testine göre;

$$\bar{v}_{i,t} = \frac{|v_i|}{(\sigma_{0i}^2 \sqrt{q_{v_i v_i}})} \quad || \quad t_{f-1} \text{ t dağılımlı} \quad (5.43)$$

olur. Burada,

$$\sigma_{0i}^2 = (v^T P v - \frac{v_i^2}{q_{v_i v_i}}) / (f-1) \quad (5.44)$$

dir. Tüm ölçüler kuşkulu görülür ve $\bar{v}_{\max} = \max(\bar{v}_i, i=1,2,\dots,n)$ ilgili dağılımın sınır değerinden büyükse;

$$\bar{v}_{\max,B} > u_{1-\alpha_n/2} \quad (5.45)$$

$$\bar{v}_{\max, f} > \tau_{f, 1-\alpha_0/2} \quad (5.46)$$

$$\bar{v}_{\max, f} > t_{f-1, 1-\alpha_0/2} \quad (5.47)$$

normlandırılmış düzeltmesi en büyük olan ölçünün uyuşumsuz olduğuna karar verilir. $u_{1-\alpha_0/2}$, $\tau_{f, 1-\alpha_0/2}$ ve $t_{f-1, 1-\alpha_0/2}$ normal, tau ve t- dağılımına ilişkin güven sınırlarıdır. Hata kaynakları belirlenebilirse ölçü düzeltilir. Aksi durumda ölçü kümesinden çıkartılır. (5.44) eşitliğinde, α (genellikle 0.05 veya 0.01) toplam yanılma olasılığı olmak üzere, α_0 bir ölçünün yanılma olasılığıdır ve yaklaşık α/n ' ye eşittir [Demirel, 2001], [Aydın, 2001].

5.9. Doğrusal Hipotez Testi (Global Model Testi)

Ölçülerin normal dağılımlı olduğu varsayımına dayanan EKK ilkesine göre dengeleme hesabı sonucunda bilinmeyen parametreler, dengeli ölçüler ve bunların fonksiyonları ile bu büyüklüklerin varyans-kovaryansları kestirilir. Doğru kestirim için dengeleme hesabının dayandığı fonksiyonel ve stokastik modeller gerçeğe uygun olmalı; bilinmeyen parametreler ölçülerin geometrik ve fiziksel özelliklerine uygun seçilmelidir. Deformasyon araştırması amacıyla oluşturulan fonksiyonel modellerde bir noktaya ilişkin koordinat bilinmeyenleri tüm periyotlar için aynı olabileceği gibi her bir periyot için de farklı olabilir. Dengelemenin fonksiyonel modelinin bilinmeyen ek parametrelerle genişletilmesinin gerekli görüldüğü böylesi durumlarda hangi dengeleme modelinin doğru olduğu sorusu ile karşılaşılır. Bu soruya doğrusal hipotez testleriyle cevap verilir.

Bir doğrusal hipotez bilinmeyen parametreler arasında yazılan, genel olarak çok sayıda koşul denklemlerinden oluşur:

$$H_0: Bx = w \quad (5.48)$$

B hipotez katsayılar matrisi, x bilinmeyenler vektörü ve w sabit büyüklükler vektörüdür. Doğrusal hipotez testi yapabilmek için Bx belirlenebilen fonksiyonlar olmalıdır.

Kurulan doğrusal hipotezler ölçülerin dengelenmesi sırasında koşul denklemleri gibi ele alınır. Bu durumda dengeleme hesabının matematiksel modeli,

$$v = A x - l \quad \text{Fonksiyonel model} \quad (5.49)$$

$$Bx = w \quad \text{Doğrusal Hipotez} \quad (5.50)$$

$$P = Q_H^{-1} \quad \text{Ağırlık matrisi} \quad (5.51)$$

olur. Bilinmeyenler arasında koşul denklemleri bulunan dolaylı ölçüler dengelemesi (Gauss-Markoff modeli) yapısındaki bu modelin çözülmesi ile elde edilecek bilinmeyenler vektörü x_H ve düzeltmelerin karesel biçimi $\Omega_H = v_H^T P v_H$, koşul denklemleri olmaksızın yapılacak dengeleme sonuçları x ve $\Omega = v^T P v$ den farklı olacaktır. (5.50) modelinin çözülebilmesi için Lagrange fonksiyonu,

$$\Omega_H = v_H^T P v_H + 2k^T (Bx_H - w) = \min \quad (5.52)$$

$$\Omega_H = (x_H^T A^T - l^T) P (Ax_H - l) + 2k^T (Bx_H - w) = \min \quad (5.53)$$

oluşturulur. Buradan, x_H bilinmeyenleri ve k korelatlarına göre türevler sıfıra eşitlenirse,

$$A^T P A x_H + B^T k - A^T P l = 0 \quad (5.54)$$

$$Bx_H - w = 0$$

normal denklemleri elde edilir. katsayılar matrisi ($A^T P A$) tekil olduğundan, (5.54) denkleminin ilk satırından bilinmeyenler vektörü,

$$x_H = (A^T P A)^+ (A^T P l) - (A^T P A)^+ B^T k = x - (A^T P A)^+ B^T k \quad (5.55)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu eşitlik (5.54) normal denklemlerinin ikinci satırında yerine yazılırsa, korelat bilinmeyenleri,

$$k = (B(A^T P A)^+ B^T)^+ (Bx - w) \quad (5.56)$$

olur. Buna göre doğrusal hipotezli fonksiyonel model için bilinmeyenler,

$$x_H = x - (A^T P A)^+ B^T (B(A^T P A)^+ B^T)^+ (Bx - w) \quad (5.57)$$

çıkar. Doğrusal hipotezin bilinmeyenlere etkisi bu eşitliğin ikinci yanında görülmektedir. Doğrusal hipotezi içeren matematiksel modele ilişkin düzeltmelerin karesel biçimi $\Omega_H = v_H^T P v_H$, hipotezsiz modele karşılık karesel biçim $\Omega = v^T P v$ olmak üzere,

$$\Omega_H = \Omega + (x - x_H)^T A^T P A (x - x_H) \quad (5.58)$$

ve buradan, $x - x_H$ yerine (5.57) eşiti yazılarak,

$$\Omega_H = \Omega + (Bx - w)^T (B(A^T P A)^+ B^T)^+ (Bx - w) \quad (5.59)$$

elde edilir [Koch, 1999].

Bu eşitlikteki ikinci terim,

$$R = (Bx - w)^T (B(A^T P A)^+ B^T)^+ (Bx - w) \quad (5.60)$$

hipotezin etkisini gösteren büyüklüktür. Buna göre,

$$Q_H = \Omega + R \quad (5.61)$$

olur.

R ve Ω büyüklükleri birbirinden bağımsızdır ve χ^2 dağılımlıdır [Koch, 1999].

R ve Ω karesel biçimlerinin oranından oluşan T test büyüklüğü F dağılımlıdır:

$$T = \frac{R/h}{\Omega/(n-u)} \sim F_{h,f} \quad (5.62)$$

doğrusal hipotez geçerli ise λ_H dış merkezlik parametresi sıfıra eşittir ve T test büyüklüğü merkezsiz F dağılımlıdır. Bir uygulamada $T < F_{h,f,1-\alpha}$ çıkarsa ($1-\alpha$ güven düzeyi) hipotez kabul, aksi durumda reddedilir.

5.9.1. Deformasyon Analizinde Doğrusal Hipotez Testi (Global Test)

Deformasyon analizinde (5.48) sıfır hipotezi değişik periyotlar da gözlenen eşlenik ağ noktalarının koordinatları arasındaki farkların sıfıra eşit olduğunu başka bir deyişle ağın herhangi bir noktasında hareket olmadığını varsayan koşul denklemleri biçimindedir. Doğrusal hipotezi oluşturan dengeleme modeli ile uyumlu olup olmadığı sorusu oluşturulan dengeleme modeli ile F -testine göre yanıtlanır. Sıfır hipotezi geçerli ise dengeleme modeli bilinmeyenleri arasında koşul denklemleri konur [Aksoy A., ve diğ., 1994],[Demirel H.,1994]. Değişik periyotlarda geometrisi aynı kalan bir konum ağında t_1 ve t_2 zamanlarında yapılan ölçüler l_1 ve l_2 , düzeltmeler v_1 ve v_2 , fonksiyonel modelde katsayılar matrisi A_1 ve A_2 , koordinat bilinmeyenlerinin tahmin değerleri x_1 ve x_2 ile gösterilir ve periyotlara ilişkin bilinmeyenler arasında bir fonksiyonel ilişki olmadığı varsayılırsa dengeleme modeli,

$$\begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (5.63)$$

düzeltilme denklemleri ve değişik periyotların ölçüleri arasında korelasyon yoksa,

$$C_{11} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} Q_{11} & 0 \\ 0 & Q_{22} \end{bmatrix} \quad (5.64)$$

varyans-kovaryans matrisi ile tanımlanır.

Her iki periyot arasında anlamlı nokta hareketi olup olmadığını tespit edebilmek için, (5.48) doğrusal hipotezi her iki periyot arasında eşlenik nokta koordinatlarının değişmediğini öngören,

$$H_0 : \begin{bmatrix} -I & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E(x_1) \\ E(x_2) \end{bmatrix} = 0 \quad (5.65)$$

denklem sistemi biçimindedir. Modele göre dengeleme, periyotlar için birbirinden bağımsız iki dengelemeye ayrılır. Dengeleme sonucu olarak,

$$x_1 = Q_{x_1 x_1} A_1^T P_1 l_1, \quad Q_{x_1 x_1} = N_{11}^+ = (A_1^T P_1 A_1)^+$$

$$x_2 = Q_{x_2 x_2} A_2^T P_2 l_2, \quad Q_{x_2 x_2} = N_{22}^+ = (A_2^T P_2 A_2)^+$$

$$\Omega = v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2 \quad (\sigma_{01}^2 = \sigma_{02}^2 = \sigma_0^2) \text{ olması şartı ile}$$

(5.66)

$$x = N^+ A^T P l, \quad N = A^T P A$$

$$\Omega = (1 - Ax)^T P (1 - Ax) = v^T P v$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\Omega}{f}, f = n_1 + n_2 - 2u + 2d$$

elde edilir. (5.64), (5.65), modeli (5.66) doğrusal hipotezi ile birlikte değerlendirildiğinde iki periyot arasındaki koordinat farkları,

$$d = x_2 - x_1 \quad (5.67)$$

ve bunlara ilişkin ağırlık katsayıları matrisi,

$$Q_{dd} = Q_{x_1 x_1} + Q_{x_2 x_2}, \quad (5.68)$$

olmak üzere (5.57) eşitliğinden

$$R = d^T Q_{dd}^+ d \quad (5.69)$$

çıkar. Her iki periyotta ağ geometrisi ve serbest datum parametreleri aynı (sayısı d) ise R'nin serbestlik derecesi,

$$h = rg(Q_{x_1 x_1}) = rg(Q_{x_2 x_2}) = u - d \quad (5.70)$$

olur. (5.48) doğrusal hipotezini test etmek için test büyüklüğü,

$$T = \frac{R/h}{\Omega/f} = \frac{d^T Q_{dd}^+ d}{\hat{\sigma}_0^2 h} \quad (5.71)$$

$\lambda_h = 0$ ile α yanılma olasılığı olmak üzere H_0 hipotezi için

$$P(T > F_{h,f,1-\alpha}) = \alpha$$

(5.72)

olasılık eşitliği geçerlidir. Uygulamalarda T oranı, $1-\alpha$ istatistik güveni için F -dağılımının h ve f serbestlik derecelerine karşılık sınır değerinden daha büyük çıkarsa doğrusal hipotez reddedilir. $T > F_{h,f,1-\alpha}$ durumunda ağın herhangi bir yerinde deformasyon olduğu sonucuna varılır [Demirel H.,1994].

5.10. Deformasyon Amaçlı GPS Ölçüleri ve Dengelenmesi

Deformasyonların GPS ile izlenmesi, iki veya daha çok epok arasında tekrarlanan üç boyutlu baz vektörlerinin karşılaştırılmasından ibarettir. Bu baz vektörlerinin uzunlukları birkaç metre ya da birkaç bin kilometre olabilirki GPS yüzlerce kilometre uzunluktaki bazların ölçülmesi için en uygun ölçme tekniğidir. Herhangi bir periyot için bir kontrol ağında yapılan GPS ölçmeleri uydu sisteminin tüm karakterlerini temsil etmelidir. Deformasyon analizi gibi hassas sonuç beklenen çalışmalarda, değerlendirme sonuçları atmosferden, yörüngeden ve diğer tüm dış etkilere kaynaklanabilecek düzenli hatalardan arındırılmış olmalıdır ki aksi takdirde küçük boyuttaki kontrol ağlarında bile farklı periyot ölçüleri arasında sistematik farklılıklar oluşabilir. Bu farklılıklar ise deformasyon olarak yorumlanabilir. GPS ölçülerinin klasik ağlarda olduğu gibi bağımsız bazlar şeklinde kapalı ağ yapısında ölçülmesi, matematik istatistik kontrol düzeneğinin temelini teşkil eder. Farklı zamanlarda aynı bazın tekrarlı olarak ölçülmesi matematiksel kontrol için gereklidir. Çok güçlü bir ölçme düzeneği ile fiziksel ortamda kontrol şartları yerine getirilirse kapalı şekil oluşturmada da çözüm yapılabilir.

5.10.1. GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Faz farkı ölçülerinin uygun yöntemlerle değerlendirilmesi ile $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ koordinat farklarının (baz vektörleri) uzun ölçme süreleri ile ve tekrarlarla birkaç mm düzeyine inebilmektedir. Ölçmelerle çok sayıda alıcının bulunmadığı, verilerin kampanya şeklinde değerlendirilmediği ve ölçülerin çok farklı zamanlarda yapılmış olması durumunda, GPS ölçmeleri kapalı poligonlar oluşturacak şekilde yapılmalıdır.

GPS sonuçlarının çok sayıda verinin bir dengelemesi sonucu elde edildiği düşünülse bile, kapalı bir şekil oluşturan baz vektörlerinin ölçü alınarak dengelemesi gerekir [Saka M.H., 1997].

Bu işlem, özellikle antenin merkezleştirme hatası, anten yüksekliğinin yanlış ölçülmesi gibi kaba hataların ayıklanması için gereklidir.

GPS sinyal kayıtlarından kod veya faz farkı ölçülerek, üretilen uydu-yer durak noktası arasındaki Pseudo-Range uzaklık ve daha sonra bunlardan iki durak noktası arasındaki uzaklık (baz vektörü) $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ koordinat farkları ile ifade edilmektedir. GPS ölçüleri bağımsız bazlar şeklinde değerlendirildiğinde, elde edilen sonuçlar iki nokta arasındaki baz vektörünün bileşenleri ve bu bileşenlerin varyans-kovaryans matrisidir. Bu vektörlerin kapalı bir şekil oluşturmaları halinde, vektör bileşenleri ölçü olarak alınarak nivelman ağlarına benzer şekilde dengelenir.

Basit bir şekilde, iki nokta arasında t_i ve t_j gibi iki ayrı epokta ölçülen üç boyutlu baz vektörleri;

$$B_{t_i} = (\Delta X_{t_i}, \Delta Y_{t_i}, \Delta Z_{t_i}); B_{t_j} = (\Delta X_{t_j}, \Delta Y_{t_j}, \Delta Z_{t_j}) \quad (5.73)$$

burada, baz bileşenleri basitçe global kartezyen koordinat sisteminde ifade edilmiştir. Tabi ki başka gösterimler de yapılabilir. B bazının herhangi bir epoktaki herhangi bir bileşeninin doğruluğu (varyans) yaklaşık olarak;

$$\sigma_B^2 = C_1^2 mm + C_2^2 mm / km |B|^2 \quad (5.74)$$

ile ifade edilebilir.

Burada,

C_1 uzunluktan bağımsız ve $C_2 |B|$ baz uzunluğuna bağlı hatayı göstermektedir.

t_i ve t_j epokları arasındaki deformasyon vektörü D ,

$$D_{ij} = (\Delta X_{t_j} - \Delta X_{t_i}, \Delta Y_{t_j} - \Delta Y_{t_i}, \Delta Z_{t_j} - \Delta Z_{t_i}) / (t_j - t_i) \quad (5.75)$$

ve deformasyon vektörünün herhangi bir bileşenin doğruluğu,

$$\sigma_D^2 = \left\{ 2 / (t_j - t_i)^2 \right\} \sigma_B^2 \quad (5.76)$$

ile verilmektedir [Bock, 1986].

Baz vektörleri dengelemeye esas olacak şekilde şu şekilde ifade edilebilir.

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

$$\Delta Y_{ij} = Y_j - Y_i \quad (5.77)$$

$$\Delta Z_{ij} = Z_j - Z_i$$

ve buradan düzeltme denklemleri, noktaların yaklaşık koordinatları da kullanılarak

$$X^o + x = X$$

$$Y^o + y = Y \quad (5.78)$$

$$Z^o + z = Z$$

ve buradan,

$$\Delta X_{ij}^o = X_j^o - X_i^o$$

$$\Delta Y_{ij}^o = Y_j^o - Y_i^o \quad (5.79)$$

$$\Delta Z_{ij}^o = Z_j^o - Z_i^o$$

$$\Delta X_{ij} + V_{\Delta X_{ij}} = X_j - X_i + \Delta X_{ij}^o$$

$$\Delta Y_{ij} + V_{\Delta Y_{ij}} = Y_j - Y_i + \Delta Y_{ij}^o$$

$$\Delta Z_{ij} + V_{\Delta Z_{ij}} = Z_j - Z_i + \Delta Z_{ij}^o$$

(5.80)

buradan, sıraya konulmuş bilinmeyen ve düzenlenmiş mutlak terimler ile düzeltme denklemleri;

$$V_{\Delta X_{ij}} = -X_i + X_j + \Delta X_{ij}^o - \Delta X_{ij}^o$$

$$V_{\Delta Y_{ij}} = -Y_i + Y_j + \Delta Y_{ij}^o - \Delta Y_{ij}^o \quad (5.81)$$

$$V_{\Delta Z_{ij}} = -Z_i + Z_j + \Delta Z_{ij}^o - \Delta Z_{ij}^o$$

olarak ifade edilir.

Ağın tüm noktalarında koordinat bilinmeyenleri olduğu düşünüldüğünde yukarıdaki gibi yazılacak düzeltme denklemlerinden elde edilecek normal denklemlerin katsayılar matrisi singular (tekil) olmaktadır. Yani $\det (N) = 0$ 'dır. Bununla koordinat bilinmeyenleri tek anlamlı olarak hesaplanamazlar. Bir datum problemi olan bu durum iki boyutlu (düzlem) dengeleme problemlerinde de vardır. Yalnız koordinat farkları ölçülerek ağın mutlak koordinatları (tanımlanmış bir koordinat sistemindeki koordinatları) belirlenemez. Böyle bir ağın 7 dış parametresi vardır. Bunlar X, Y, Z eksenleri doğrultusundaki 3 öteleme, üç eksen etrafındaki dönüklükler ve ölçek parametreleridir. Ancak WGS-84 koordinat sistemindeki uydu yörüngeleri nedeniyle eksenler etrafındaki dönüklükler ve ölçek belirlenmiş olduğundan, üç eksen etrafındaki kayma parametreleri de ağın bir noktasının koordinatları değişmez alınarak belirlenir.

Dengelemede stokastik modelin göz önüne alınması durumunda hesaplanan baz vektörlerinin ağırlık katsayıları matrisi yardımıyla

$$P = \sum_{Lb}^{-1}$$

(5.82)

stokastik model kurulur.

Ölçü olarak kabul edilen baz bileşenleri, faz farkı ölçüsünden türetilen büyüklükler olduğundan ve farklar almak sureti ile bir noktadaki kayıtlar başka noktalarındaki kayıtlarla ilişkilendirildiğinden, bir baz vektörünün bileşenleri arasında (Baz vektörlerinin münferit değerlendirilmesi) ve bir noktadan çıkan baz vektörünün bileşenleri arasında matematiksel bir korelasyon oluşur. Bu korelasyonlar dengeleme hesabında göz önünde bulundurulmalıdır.

Çok nokta çözümü adı verilen n alıcılı bir oturum ölçmesi sonucunda bir nokta referans alınarak n-1 bağımsız baz, aralarındaki korelasyon verileri ile birlikte çözülebilmektedir. Böyle bir çözüm ancak iyi bir GPS software'leri ile gerçekleştirilebilmektedir.

Bilinmeyenlerin sıralaması $x = [X, Y, Z, \dots, X, Y, Z, \dots]^T$ olmak üzere, her bir vektör için yazılacak düzeltme denklemlerine ait alt matris,

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & -1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & -1 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & -1 & \dots \end{bmatrix} \quad (5.83)$$

şeklinde ifade edilir. Kurulan matematiksel modellerin EKK yöntemine göre dengelenmesi ile;

$$\Delta x = -(A^T P A)^{-1} A^T P l \quad (5.84)$$

koordinat bilinmeyenlerinin yaklaşık değerlerine getirilecek düzeltmeler hesaplanır. Bu eşitlikten yararlanarak,

$$X = X^o + x, \quad Y = Y^o + y, \quad Z = Z^o + z \quad (5.85)$$

koordinat bilinmeyenlerinin kesin değerleri elde edilir.

$$V = A\Delta X + I$$

baz vektörlerine getirilen düzeltmeler olarak bulunur.

$$L_a = L_b + V$$

(5.87)

- L_b : Noktalar arasında hesaplanan baz vektörleri
 V : Baz vektörlerine getirilen düzeltmeler
 L_a : Baz vektörlerinin dengelenmiş kesin değerleri

eşitlikleri ile hesaplanır. Dengeleme sonunda birim ağırlıklı ölçünün varyansı (a-posteriori varyans);

$$\sigma_o^2 = \frac{V^T P V}{n - u} \quad (5.88)$$

eşitliği ile bulunur.

Her baz vektörü için verilen Σ_{ij} varyans-kovaryans matrisi ve $\hat{\sigma}_0^2$ apriori varyans ile ölçülerin ağırlık matrisi P;

$$P = \frac{1}{\hat{\sigma}_0^2} \text{diag}(\Sigma_{12}^{-1}, \Sigma_{13}^{-1}, \Sigma_{14}^{-1}, \dots, \Sigma_{ij}^{-1}, \dots) \quad (5.89)$$

ile tanımlanır. Baz vektör ağında; baz vektör ölçüleri noktaların birbirlerine göre uzaklıklarını göstermenin yanı sıra (X, Y, Z) koordinat sisteminin ölçeği ve dönüklüğü konusunda da bilgi içerir. Ancak (X, Y, Z) sisteminin başlangıç noktası hakkında herhangi bir bilgi içermediğinden baz vektör ağlarının serbestlik derecesi (d) 3' tür. Ağ noktalarından birinin koordinatı sabit alınarak ağ belirli duruma getirilebilir.

Uyuşumsuz ölçü testi için serbest dengeleme yapılmak istenirse; bu vektör bileşenleri toplamının sıfır olması şartı altında, nivelman ağı dengelemesine benzer bir şekilde olacağı açıkça görülebilir [Bayata,H.F.,2002].

EKK dengelemesinde $V^T P V = \min$ koşuluna ek $X^T X = \min$ koşulu tanımlanarak, baz vektör ağı dengelemesi matematik modelinin bir çözümü aranır. Bu amaçla

öncelikle $X^T X = \min$ koşulunu sağlayan d sayıda koşul seçilir ve bir G matrisi tanımlanır. u sayıda noktadan oluşan baz vektör ağında G matrisi;

$$G^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{3 \times 3u} \quad (5.90)$$

olmak üzere koşullar;

$$G^T X = 0 \quad (5.91)$$

ile tanımlanır. $V^T P V = \min$ koşulunu sağlayacak biçimde oluşturulan normal denklemlerin altına eklenerek;

$$A^T P A X = A^T P L$$

$$G^T X = 0$$

yazılır. Buradan

$$X = -(A^T P A + G G^T)^{-1} A^T P L \quad (5.92)$$

$$\Sigma_{xx} = \sigma_0^2 \{ (A^T P A + G G^T)^{-1} - G (G^T G)^{-1} (G^T G)^{-1} G^T \}$$

$$V = A X - L$$

$$L + V$$

ile düzeltilmiş ölçüler elde edilir. Deformasyon analizi için;

Uyuşumsuz ölçüler ayıklandıktan ve sistematik hatalar açısında da her bir periyot ölçüleri irdelendikten sonra deformasyon analizi için ön hesaplamalar tamamlanmış demektir. Uyuşumsuz ölçülerin, GPS ağlarında analizi ve sistematik hata kaynaklarının testi için bilinen istatistik yöntemler kullanılabilir [Saka M.H., 1997].

6. UYGULAMA



6.1 Çalışma Bölgesi ve Kontrol Ağının Tanıtılması

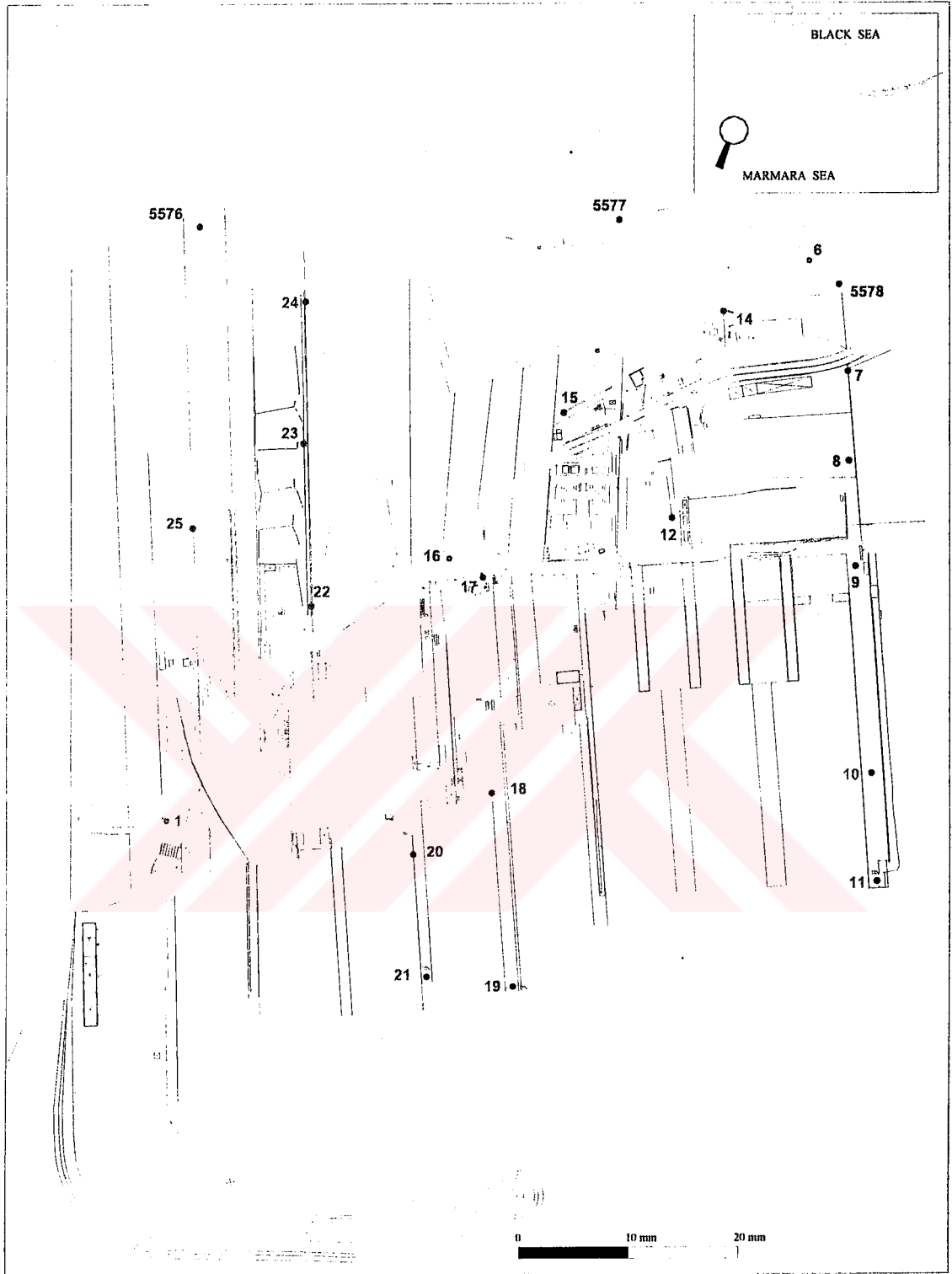
“Yerkabuğu Hareketlerinin GPS Ölçmeleri İle Belirlenmesi” başlıklı bu tezde uygulama amacıyla İstanbul, Altaş Ambarlı Liman sahasında şekil (6.1) İ.T.Ü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünce GPS ölçmeleri ile bu sahada gerçekleştirilen “Jeodezik ve Geoteknik Yöntemlerle Heyelan İzleme Çalışması”adlı çalışma için tasarlanan ağda elde edilen veriler kullanılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda ağda toplam 28 nokta tesis edilmiş şekil (6.2) Bunlardan 5 tanesi (101,102,103,104,105) hareket beklenmeyen sağlam zeminli bölgede pilye şeklinde, tesis edilmiş, diğer 23 nokta obje noktası olarak düşünülmüş ve zemin tesisleri beton blok içersine yerleştirilen vidalama sistemli kısa jalonetler ile ölçme yapılabilecek şekilde yapılmıştır.

6.2 Uygulama Amacı

Yukarıda kısaca tanıtılmaya çalışılan ağda belli zaman aralıklarında periyodik GPS ölçmeleri yapılmıştır. Bu uygulamada değerlendirilen toplam 6 periyot ölçmesi (1.periyot,2.periyot, 3.periyot, 4.periyot, 6.periyot, 7.periyot,) yaklaşık iki yıllık bir zaman zarfında yapılmıştır.

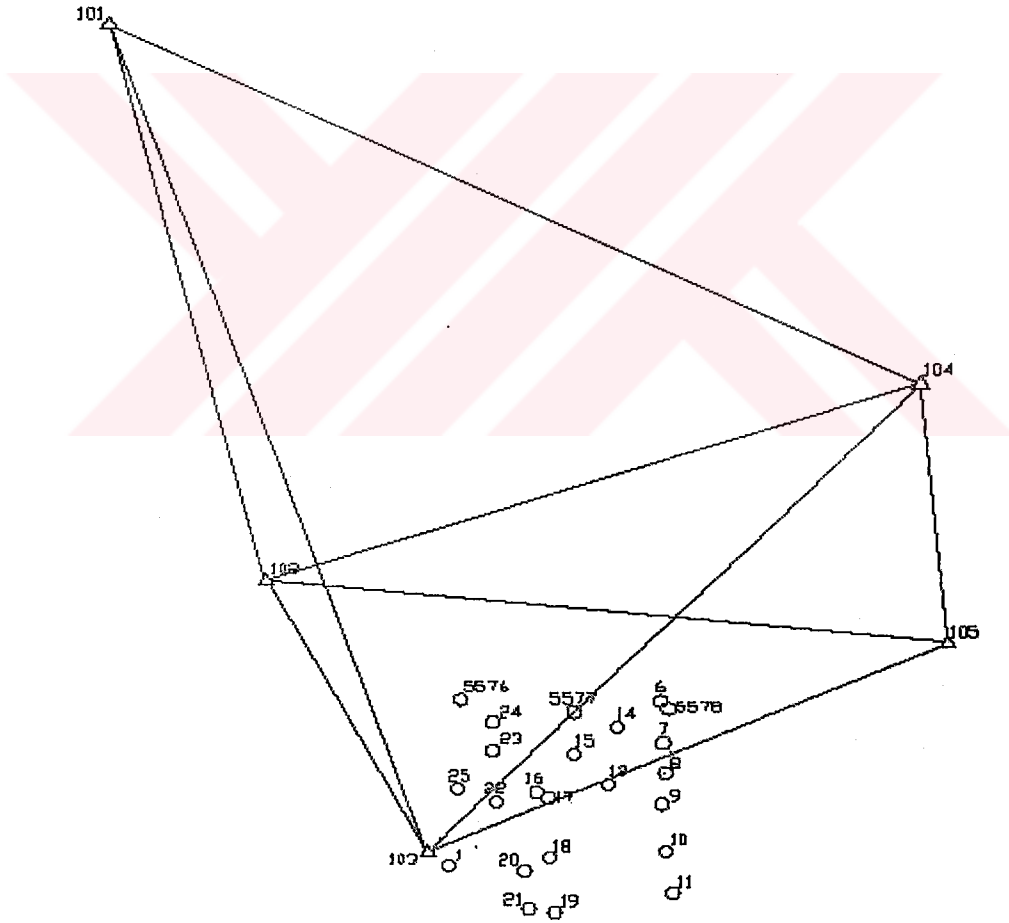
Bu çalışmada amaç; deformasyon amaçlı tasarlanan bu ağda nokta hareketlerini iki farklı yöntem ile analiz edip anlamlı nokta hareketlerinin bulunmasıdır. Peryotlar ilk periyottan başlamak üzere ardışık olarak (1-2,2-3,3-4,4-6,6-7,1,7) ve ilk ve son periyotlar, S-Transformasyonu ile deformasyon analizi ve deformasyon analizinin grafik yorumu olan bağıl güven elipsleri ile deformasyon yöntemleri uygulanarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6.1: Ambarlı limanı yerleşim planı

6.3 Kontrol Ağının Değerlendirilmesi ve Dengelenmesi

Her bir periyotun GPS faz ve kod ölçüleri ayrı ayrı projeler olarak, Leica firmasına ait SKI programına aktarılmış ve her bir proje kendi içinde diğerlerinden bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda noktalar arası ΔX , ΔY , ΔZ , baz vektörleri bileşenleri hesaplanmış hesaplanan bu baz vektörleri bileşenleri SKI programının dengeleme modelinde Gauss Markoff dengeleme modeline göre serbest olarak dengelenmiştir. Dengeleme hesabı sırasında bazı baz çözümlerinin uyumsuz olduğu tespit edilmiş ve bu baz çözümleri dengeleme hesabından çıkartılarak dengeleme hesabı tekrarlanmıştır. Dengeleme hesabı neticesinde her bir periyot için ağdaki tüm noktaların WGS 84 sisteminde kartezyen koordinatları ve varyans- kovaryans matrisleri elde edilmiştir.



Şekil 6.2. Ambarlı Limanı Deformasyon Ağı

6.4 Deformasyon Analizi

6.4.1 Peryotlar Arasında S-Transformasyonu ile Deformasyon Analizi

S-Transformasyonu ile her biri serbest olarak dengelemesi yapılmış periyotlar ardışık olarak (1-2,2-3,3-4,4-6,6-7,1,7) sırası ile aynı datuma dönüştürülmüştür. Ardışık olarak periyotlar arasında Global Model testi yapılarak eşlenik nokta koordinatları arasındaki farkları test edilmiştir. Hesaplanan T test büyüklükleri (3.64) ve buna karşılık gelen F Fischer dağılım tablo değerleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan her periyot için bu işlem tekrarlanmış ve ağda deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir. S-Transformasyonu ile Global Model Testi (3.54) dönüşüm matrisinde geçen datum seçici $\underline{E}$ matrisinin tüm köşegen elemanları "1" alınarak tüm iz minimum yapılmıştır. Bu amaçla MATLAB programı kullanılmış ve uygulama yönelik bir program hazırlanılmıştır.

6.4.1.2 Anlamlı Nokta Hareketlerinin Araştırılması

Test edilecek periyotlar S-Transformasyonu ile aynı datuma dönüştürülüp her periyot için S-Transformasyon matrisi (3.54) ile koordinat vektörleri ds (3.71) hesaplanmış ve bunlar kullanılarak araştırılacak noktaya ilişkin köşegen terimleri "0" yapılarak kısmi iz minimum yapıp R (3.73) değerleri hesaplanmış ve R değerine katkısı en büyük olan noktada deformasyon vardır denilmiştir. Geriye kalan noktalarda deformasyon olup olmadığını araştırmak için $T = R_{\min} / \sigma_0^2 h$ değeri F dağılım tablo değeri ile karşılaştırılmış $T > F$ kalması durumunda geriye kalan noktalarda da deformasyon olduğu anlaşılmıştır. Geriye kalan noktaların hanilerinde deformasyon olduğunu tespit etmek için datum seçici E matrisinde araştırılacak noktaya ve deformasyon olduğu tespit edilen noktaya karşılık gelen köşegen terimleri "0" yapılarak her bir nokta için R değerleri hesaplanmıştır. Bu işleme T test değeri F dağılımı tablo değerinden küçük kalıncaya kadar devam edilmiştir. Aşağıdaki tablolarda her nokta için hesaplanan R ve T değerleri gösterilmemiş sadece bazı noktaların değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Periyotlar Arasında Ardışık Olarak S-Transformasyonu İle Anlamlı Nokta Hareketlerinin Araştırılması

İNCELENEN PERİYOTLAR (1-2)		T	F	AÇIKLAMA
GLOBAL TEST		8.6863	1.3141	Ağda deformasyon var
N.NO	R			
1	0.0360			
*24	0.0054	1.3513	1.3188	24 numaralı nokta hareketli
23	0.0352			
10	0.0354			
24 numaralı nokta dışarıda				
10	0.0048			
*23	0.0042	1.1004	1.3237	23 numaralı nokta hareketli
Diğer noktalarda hareket yok				
İNCELENEN PERİYOTLAR (2-3)				
GLOBAL TEST		6.5899	1.3141	Ağda deformasyon var
101	0.0251			
*24	0.0122	3.0697	1.3188	24 numaralı nokta hareketli
23	0.0246			
104	0.0252			
12	0.0257			
24 numaralı nokta dışarıda,diğer noktalarda deformasyon var				
23	0.0153			
*101	0.0136	1.2065	1.3237	24 numaralı nokta hareketli
diğer noktalarda deformasyon yok				
İNCELENEN PERİYOTLAR (3-4)		T	F	
GLOBAL TEST		3.2888		
N.NO	R			
*8	0.0108	2.7209	1.3289	8 numaralı nokta hareketli
104	0.0119			
N.NO	R	T	F	AÇIKLAMA
103	0.0111			
102	0.0128			
101	0.0115			
24	0.0132			
8 numaralı nokta dışarıda,diğer noktalarda deformasyon var				
24	0.0104			
101	0.0088			

N.NO	R	T	F	AÇIKLAMA
*103	0.0084	2.2073	1.3345	103 numaralı nokta hareketli
104	0.0091			
105	0.0096			
103 numaralı nokta dışarıda,diğer noktalarda deformasyon var				
105	0.0073			
104	0.0069			
*101	0.0065	1.7785	1.3405	101 numaralı nokta hareketli
102	0.0078			
11	0.0076			
101 numaralı nokta dışarıda,diğer noktalarda deformasyon var				
11	0.0058			
*104	0.0048	1.3740	1.3447	104 numaralı nokta hareketli
105	0.0053			
104 numaralı nokta dışarıda,diğer noktalarda deformasyon var				
*105	0.0035	1.2736	1.3515	105 numaralı nokta hareketli
102	0.0040			
24	0.0044			
diğer noktalarda deformasyon yok				
İNCELENEN PERİYOTLAR (4-6)		T	F	
GLOBAL TEST		2.0332		Ağda deformasyon var
N.NO	R			
1	0.0083			
*8	0.0050	1.2537	1.3188	8 numaralı nokta hareketli
102	0.0078			
24	0.0071			
diğer noktalarda deformasyon yok				
İNCELENEN PERİYOTLAR (6-7)		T	F	
GLOBAL TEST		0.9929	1.3120	Ağda deformasyon yok
İNCELENEN PERİYOTLAR (1-7)		N.NO	R	
GLOBAL TEST		38.535 2	1.3141	Ağda deformasyon var
N.NO	R			
*24	0.0106	2.6647	1.3188	24 numaralı nokta hareketli
24 numaralı nokta dışarıda,diğer noktalarda deformasyon var				
1	0.0106			
16	0.0105			
23	0.0099			
21	0.0101			

N.NO	R	N.NO	R	N.NO
101	0.0102			
*12	0.0077	2.0120	1.3237	12 numaralı nokta hareketli
10	0.0100			
105	0.0099			
5577	0.0101			
12 numaralı nokta dışarıda,diğer noktalarda deformasyon var				
5577	0.0071			
10	0.0070			
105	0.0072			
11	0.0073			
7	0.0072			
*23	0.0069	1.8718	1.3271	23 numaralı nokta hareketli
21	0.0071			
8	0.0071			
102	0.0075			
23 numaralı nokta dışarıda,diğer noktalarda deformasyon var				
102	0.0067			
*10	0.0062	1.7634	1.3326	10 numaralı nokta hareketli
8	0.0063			
*21	0.0062	1.7587	1.3326	21 numaralı nokta hareketli
7	0.0064			
25	0.0065			
10 ve 23 numaralı nokta dışarıda,diğer noktalarda deformasyon var				
25	0.0051			
*8	0.0049	1.5230	1.3426	8 numaralı nokta hareketli
7	0.0051			
105	0.0051			
8 numaralı nokta dışarıda,diğer noktalarda deformasyon var				
N.NO	R	T	F	
105	0.0045			
7	0.0045			
101	0.0047			
*5577	0.0042	1.3466	1.3492	5577 numaralı nokta hareketli
25	0.0045			
102	0.0047			
5577 numaralı nokta dışarıda,diğer noktalarda deformasyon var				
102	0.0039			
*7	0.0037	1.2664	1.3639	7 numaralı nokta hareketli

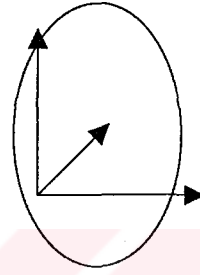
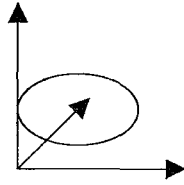
N.NO	R	T	F	
105	0.0038			
*25	0.0037	1.2558	1.3639	25 numaralı nokta hareketli
7 ve 25 numaralı nokta dışarıda,diğer noktalarda deformasyon yok				

Tablo 6.2: Periyotlar Arasında Anlamlı Hareket Tespit Edilen Noktalar

PERYOTLAR	ANLAMLI HAREKET TESPİT EDİLEN NOKTALAR
PERYOT (1- 2)	24-23
PERYOT (2- 3)	24-101
PERYOT (3- 4)	8-103-101-104
PERYOT (4- 6)	8
PERYOT (6- 7)	Ağda Deformasyon Yok
PERYOT (1- 7)	24-12-23-10-21-8-55-5577-7-25

6.4.2 Bağıl Güven Elipsleri ile Deformasyon Analizi

Her bir periyodun serbest olarak dengelenmesi sonucu, noktalara ait elde WGS84 sisteminde elde edilen X, Y, Z kartezyen dik koordinatları ve ϕ , λ , h elipsoidal koordinatları kullanılarak (3.15), (3.16), (3.17), (3.18) ve eşitlikleri hesaplandı. Hesaplanan; lokal toposentrik koordinat sistemindeki noktalara ait dn ve de değerleri, eşlenik tüm noktalara ait varyans kovaryans matrisi $\Sigma_{n,e}$ ve her bir noktaya ait A ve B elips büyük ve küçük yarı eksen değerleri ile, θ elipslerin açıklık açısı olmak üzere her bir nokta için hesaplandı. Hesaplanan bu değerler Tablo 6.3., Tablo 6.4., Tablo 6.5., Tablo 6.6., Tablo 6.7. de verilmiştir.



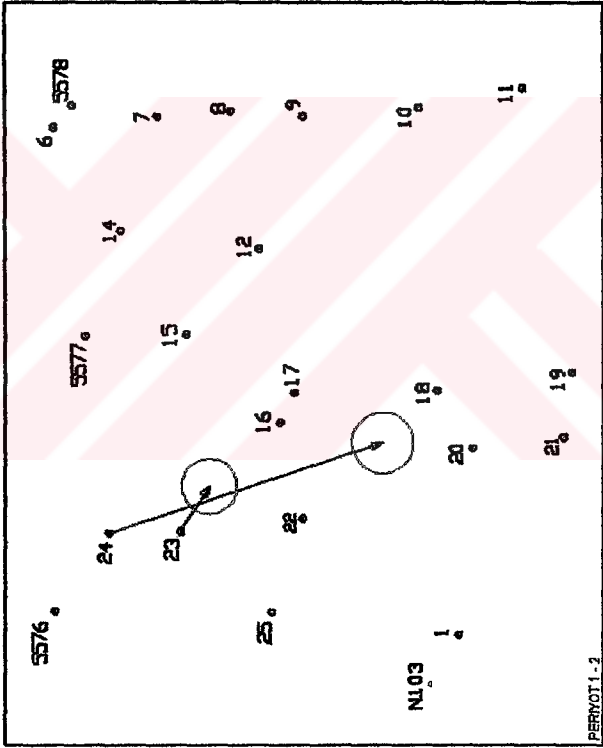
Şekil 6.3 (Deformasyon Var) Şekil 6.4 (Deformasyon Yok)

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4 de gösterilen işlemler karşılaştırılan her periyotlar ve her bir nokta için yapılmış ve deformasyon olduğu tespit edilen noktalar özet tablolar ve şekillerle (Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9) aşağıda gösterilmiştir.

Hesaplanan elipslerin büyük ve küçük yarı eksen değerleri yaklaşık aynı değerler gösterdiğinden elipsler genelde daireye yakın şekiller çıkmışlardır. Bu da ağın şeklinden ve noktaların homojen olarak dağılmasından kaynaklandığını göstermektedir.

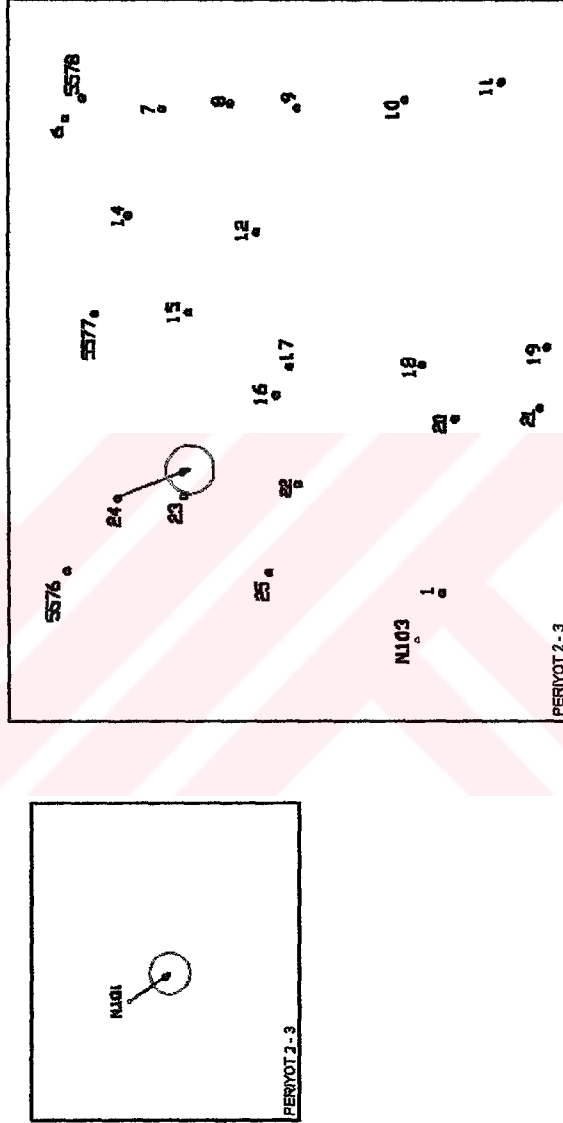
Tablo 6. 3 1. ve 2. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri ve Elips Elemanlarını Hesaplamakta Kullanılan Değerler

	NOKTA NO	dn	de	$ds = \sqrt{dn^2 + de^2}$	$\sum_{n,e}$		λ_A	λ_B	F	A	B	θ^0
PERİYOT (1-2)	24	-0.1780	0.0597	0.1877	1.2893	0.0097	1.2759	1.2752	3.0244	0.0195	0.0193	57.2958
					0.0097	1.2818						
	23	-0.0184	0.0296	0.0296	1.1696	0.0017	1.1699	1.1588	3.0244	0.0186	0.0184	9.2764
					0.0017	1.1591						



Şekil 6.5 Ambarlı Limanı, 1. ve 2. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri

Tablo 6.4 2. ve 3. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri ve Elips Elemanlarını Hesaplamakta Kullanılan Değerler

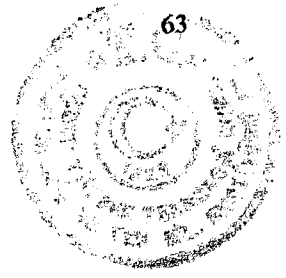
[illegible]

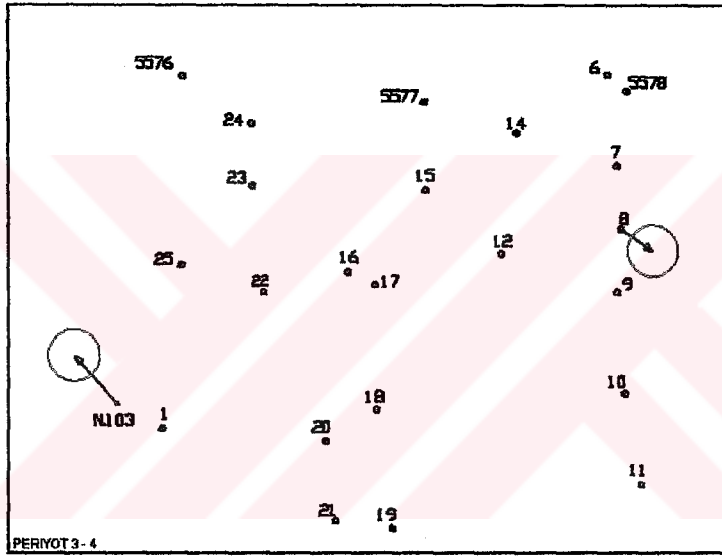
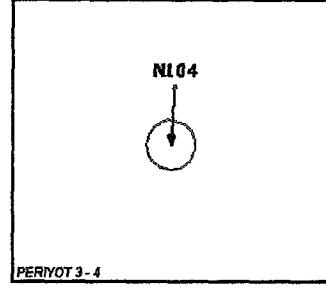
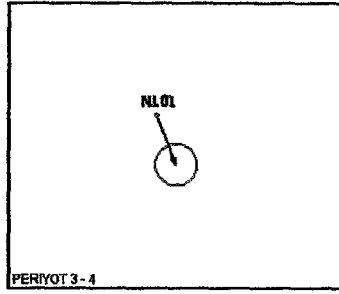
Şekil 6.6 Ambarlı Limanı, 2. ve 3. periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri

Tablo 6. 5 3. ve 4. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri ve Elips Elemanlarını Hesaplamakta Kullanılan Değerler

NOKTA NO	dn	de	$ds = \sqrt{dn^2 + de^2}$	$\sum_{n,e}$		λ_A	λ_B	F	A	B	θ°
8	-0.0158	0.0237	0.0285	1.2204	0.0130	1.2205	1.2008	3.0244	0.0189	0.188	3.8197
				0.0130	1.2009						
103	0.0366	-0.0323	0.0488	1.2356	0.0024	1.2366	1.2296	3.0244	0.0192	0.0189	27.5018
				0.0024	1.2306						
101	-0.0481	0.0187	0.0516	1.3466	0.0024	1.3469	1.3277	3.0244	0.0200	0.0198	6.7769
				0.0022	1.2306						
104	-0.0456	-0.0029	0.0457	1.2204	0.0130	1.2270	1.2135	3.0244	0.0189	0.0188	9.9252
				0.0130	1.2009						

PERİYOT
(3-4)

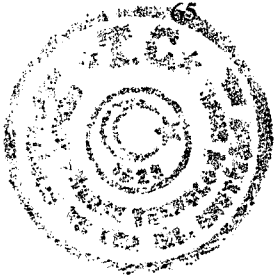
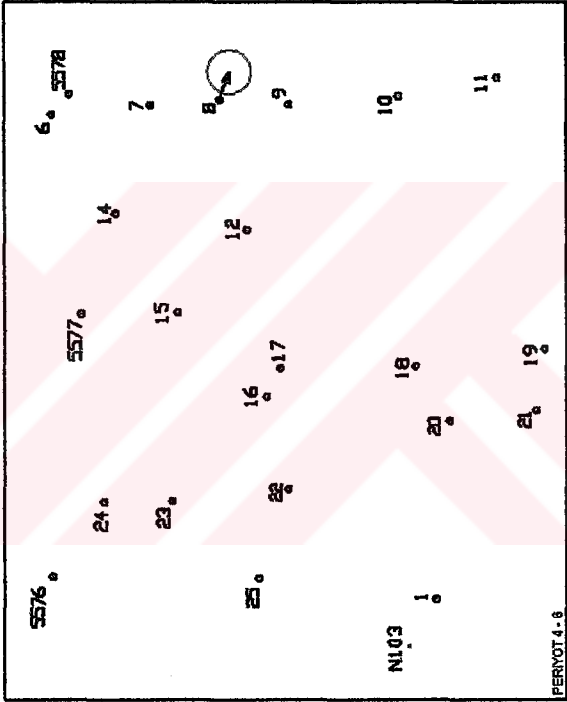




Şekil 6.7 Ambarlı Limanı, 3. ve 4. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri

Tablo 6. 6 4. ve 6. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri ve Elips Elemanlarını Hesaplamakta Kullanılan Değerler

	NOKT A NO	dn	de	$ds=\frac{dn^2+de^2}{\sqrt{dn^2+de^2}}$	$\sum n_{i,e}$	λ_A	λ_B	F	A	B	θ^0
Periy ot 4	8	-0.061	0.0187	0.0196	0.9702	0.9734	0.9602	3.0244	0.0170	0.0160	18.5368
					0.0057						

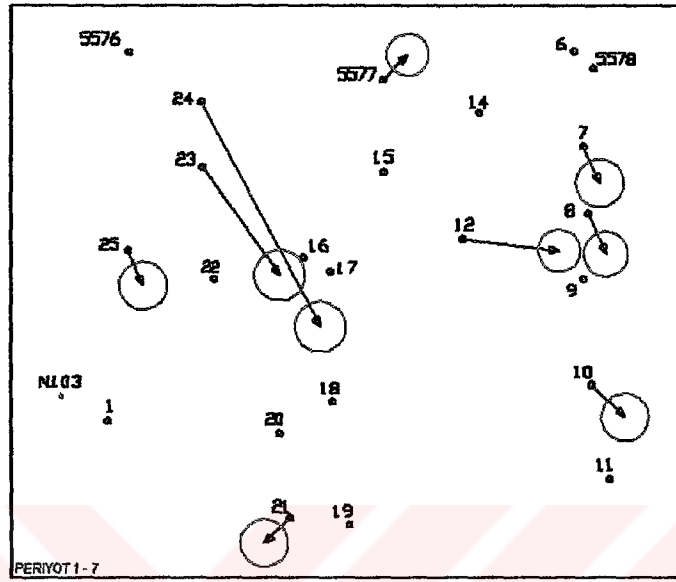
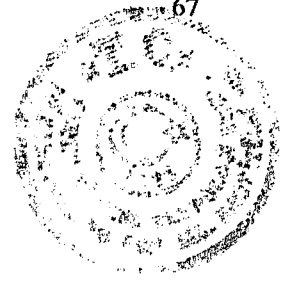


Şekil 6. 3 Ambarlı Limanı, 4. ve 6. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri

Tablo 6. 1. ve 7. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri ve Elips Elemanlarını Hesaplamakta Kullanılan Değerler

NOKTA NO	dn	de	$ds = \sqrt{dn^2 + de^2}$	$\sum_{n,e}$		λ_A	λ_B	F	A	B	θ^0
24	-0.3644	0.1176	0.3829	1.0924	0.0072	1.0969	1.0810	3.0244	0.0179	0.0179	59.7828
				0.0072	1.0855						
12	0.0078	-0.0690	0.069	0.7648	0.0058	0.7679	0.7538	3.0244	0.0150	0.0150	42.0634
				0.0058	0.7569						
23	-0.0772	0.0555	0.0950	1.0928	0.0016	1.0931	1.0846	3.0244	0.0179	0.0179	11.6042
				0.0016	1.0849						
10	-0.0233	0.0244	0.0337	1.2172	0.0035	1.2152	1.2233	3.0244	0.0170	0.0160	(-44.9983) 314.9983
				0.0035	1.2213						
21	-0.0271	0.0180	0.0325	1.0279	0.0086	1.0353	1.0179	3.0244	0.0176	0.0175	189.4981
				0.0086	1.0253						
8	-0.0282	0.0127	0.0310	0.9235	0.0014	0.9236	0.9090	3.0244	0.0165	0.0163	5.5704
				0.0014	0.9091						
5577	0.0171	0.0170	0.0240	0.7783	0.0026	0.7791	0.7696	3.0244	0.0152	0.0152	0.0151
				0.0026	0.7704						
7	-0.0259	0.0114	0.0196	0.9902	0.0032	0.9909	0.9745	3.0244	0.0172	0.0171	12.2229
				0.0097	1.2818						
25	-0.0254	-0.0109	0.0276	0.9947	0.0013	0.9949	0.9838	3.0244	0.0172	0.0170	(-16.5521) 286.5521
				0.0013	0.9840						

PERİYOT
(1-7)



Şekil 6.9 Ambarlı Limanı, 1. ve 7. Periyotlar Arası Deformasyon Vektörleri

7. SONUÇ

Gelişen teknoloji ile birlikte jeodezicilerin hizmetine sunulan yeni ölçme donanımları, deformasyon ölçme ve analizinde de yeni bir çağ açmıştır.

Yapılan bu çalışmadan da anlaşıldığı üzere; kısa süreli olsada yapılan GPS ölçme oturumlarında elde edilmiş ve kısa kenarlı olarak tasarlanmış bu deformasyon ağında gerçekleştirilen iki farklı yöntemle deformasyon analizinde, GPS ölçmelerinin lokal olarak dar alanlarda da olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Her bir periyodun ardışık olarak değerlendirmeye alındığı bu uygulamada, nokta deformasyonlarının zaman içinde değişimlerinin daha iyi takip edilip anlaşılabileceği görülmüştür.

Uygulanan her iki yöntemde de sonuç olarak aynı noktalarda deformasyon tespit edilmiştir. Bu yöntemlerden S-Transformasyonu ile deformasyon analizinde bu yöntemin klasik ölçmeler ile yapılan deformasyon çalışmaları kadar, GPS ölçmeleri için de nasıl bir kolaylık sağladığı ve uygulanabilirliği bir kez daha görülmüştür. Ayrıca bu yöntem programlama açısından da gayet uygun bir yöntemidir.

Yerkabuğu deformasyonlarının uzayda üç boyutlu oluşmasına rağmen şu anki haliyle GPS ölçmeleri ile yatay yöndeki hareketlerin izlenmesinde gayet uygun olduğu ancak düşey yöndeki hareketlerin izlenmesinde yetersiz kaldığı uygulanan her iki yöntemdede görülmüştür. Yatay ve düşey yöndeki konumlama doğruluklarının farklı olmasından deformasyonların bu doğrultularda ayrı ayrı incelenmesinde fayda olacağı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akdoğan, N.**, 1998. Deformasyon Analizinde Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri, HKMO Dergisi, Sayı 85, ISSN 1300-3534.
- Aksoy, A., Ayan, T., Deniz, R., Yalın D., Karasu C., Özşamlı C., Çelik R.N., Saka H., Özlüdemir T., Başkaya B., Seeger H., Frange P. Altiner Y.**, 1994. Kuzey Anadolu Fay Kuşağı Taşkesti Kesiminde Yerkabuğu Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi Çalışmaları, *İ.T.Ü Teknik Rapor, İstanbul*.
- Aksoy, A., Ayan, T., Deniz, R., Yalın D., Karasu C. H., Seeger, H., Franke, P., Altiner, Y., Hirsch, O., Bautsch, P.**, 1995. Türkiyede Yer Kabuğu Hareketlerinin Yersel Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi Çalışmaları, *Türk Haritacılığının Yüzüncü Yılı, Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği ve Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Kongreleri, Cilt 2, 1-5 Mayıs 1995, Ankara*.
- Aksoy, A ve Kılıçoğlu, A.**, 1999. Horizontal Crustal Motion in the Marmara Sea Region from Repeated Global Positioning System (GPS) Measurements, *3rd Turkish-German Joint Geodetic Days, Vol II*.
- Akyılmaz, O.**, 2001. Jeodezik Yöntemlerle Deformasyon Ölçmeleri ve Analizi, *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Altiner, Y.**, 1999. Analytical Surface Deformation Theory for Detection of the Earth's Crust Movements, *Springer-Verlag, Berlin*.
- Ayan, T.**, 1978. Bağlantısız Ağlarda Endirek Ölçüler Dengelemesinin Genelleştirilmesi ve Ağın Genel Presizyonu. TUUJB. IX. *Genel Kurul Toplantısı*.
- Ayan, T.**, 1981. Doçentlik Tezi, *Jeodezik Ağların Optimizasyonu, İstanbul*.
- Ayan, T.**, 1982. Jeodezik Ağlarda Deformasyon Analizine Genel Bakış, *İ.T.Ü Dergisi, Cilt 40, Sayı 1, İstanbul*.
- Ayan, T.**, 1983. Bağlı Güven Elipsleri İle Deformasyon Analizi, *Harita Dergisi, 91, 1-11*.
- Aydın, C.**, 2001. Yerkabuğundaki Düşey Deformasyonların Analizinde Statik Modelin Güvenilirliği Üzerine Bir İnceleme. *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, İstanbul*.
- Bayata, H.F.**, 2002. GPS İle Deformasyon Analizi. *Yüksek Lisans Tezi, G.Y.T.E, Gebze*.

- Bock, Y.,** 1986. Monitoring of Deformations with GPS at the Deformation Measurements Workshop, MIT, Cambridge, Mass. 31 October-1 November, 1986.
- Caspary, W.F.,** 1987. Concepts of Network and Deformation Analysis, *Monograph 11 School of Surveying, The University of New South Wales, Kensington, N.S.W., Australia, 1987.*
- Demirel, H.,** 1987. S- Transformasyonu ve Deformasyon Analizi, *Türkiye I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 23-27 Şubat, Ankara.*
- Demirel, H.,** 1992. Deformasyon Analizi, *Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Ders Notları, İstanbul.*
- Demirel, H.,** 1994. Deformasyon Ölçü Analizi Yüksek Lisans Ders Notları, *Y.T.Ü, İstanbul.*
- Demirel, H.,** 2001. Dengeleme Hesabı, *Y.T.Ü Lisans Ders Notları, İstanbul.*
- Grundig, L.,** 1986. Adjustment and Design Methodology, at the Deformation Measurements Workshop, MIT, Cambridge, Mass. 31 October-1 November, 1986.
- Koch, K.R.,** 1999, Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models, *Sprenger-Verlag, Berlin.*
- Konak, H.,** 1994. Yüzey Ağlarının Optimizasyonu. *Doktora Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.*
- Leick, A.,** GPS Satellite Surveying, Chapter 7, 2nd Edition, 1994 by John Wiley&Sons, Inc., U.S.A.
- Niemeier, W.,** 1985. Anlage von Überwachungsnetzen, Geodaetische Netze in Landes-und Ingenieurvermessung II, *H. Pelzer, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 527-558*
- Öztürk, E.,** 1991. Doğrusal Hipotez Testleri, *Harita Dergisi, 106:1-21.*
- Öztürk, E., ve Şerbetçi, M.,** 1995. Dengeleme Hesabı. *Cilt II, K.T.Ü, Trabzon.*
- Saka, M.H.,** 1997. GPS İle Nirengi Ağı Sıklaştırılmasında Uygun Yöntemin Araştırılması. *Doktora Tezi, İ.T.Ü, İstanbul.*
- Şerbetçi, M.,** 1992-1995. Dengeleme Hesabı. *Cilt III-II. K.T.Ü, Trabzon*

ÖZGEÇMİŞ



1975 yılında İnegöl'de doğdu. İlkokulu, Alibey Köy İlkokulun'da, orta ve lise tahsilini İnegöl'de tamamladı. Lisans eğitimini, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nde 1999 yılında tamamladı. 2000 yılında, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2000-2002 yılları arasında Darıca Belediyesi, Fen İşleri Müdürlüğü'nde Harita Mühendisi olarak görev yaptı. Daha sonra bu görevinden ayrılarak Cide Kadastro Müdürlüğü'nde mühendis olarak çalışmaya başladı ve halen bu görevini sürdürmektedir.