

**T.C.**  
**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ**  
**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

## **GPS İLE DEFORMASYON ANALİZİ**

**Halim Ferit BAYATA**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**GEBZE**

**2002**

T.C.  
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## GPS İLE DEFORMASYON ANALİZİ

Halim Ferit BAYATA  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI  
Yrd. Doç. Dr. Halis SAKA

GEBZE  
2002

## ÖZET

Yeryüzünde veya mühendislik yapılarında meydana gelen fiziksel değişiklikler deformasyon adı ile incelenir. Özellikle uydu ölçme yöntemlerinin kullanımı ile deformasyon ölçümleri kolaylaşmış ve hızlanmıştır. Bu sayede kıtalar arası hareketlerin ölçümü bile kolaylaşmıştır. Buna rağmen klasik ölçme yöntemleri lokal çalışmalarda hala etkin bir biçimde kullanılır.

Avcılar Ambarlı Liman bölgesinde tesis edilen 29 adet sabit jeodezik noktada belirli peryotlarda yapılmış olan GPS deformasyon ölçüleri alınarak, uyuşumsuz ölçü testi yapılmıştır. Farklı zamanlarda ölçülmüş verilerde farklı datum olduğundan ortak bir datum birliği sağlamak ve bu ortak datum birliğinde deformasyon analizi yapabilmek için S-Transformasyonu kullanılarak ağda hareketli nokta olup olmadığı Global Model Testi (Doğrusal Hipotez) uygulanarak tespit edilmiştir. Daha sonra S-Transformasyonu yardımıyla hareketli noktalar tespit edilerek analiz yapılmıştır.

## SUMMARY

The physical variation in the earth's surface or engineering builds called by deformation. The deformation measures, which being easy and rapid by using specially GPS methods. By using this, measure of continental movement has been easy. The classical measure methods has been use in the local studies still effective form.

" $\tau$ " Measure, which has been used periodically GPS deformation measures in the 29 fixed geodetic points in the Avcılar Ambarlı harbour area, has been analysed. Whether is moving point in the geodetic networks, so this has been obtain different times using by S-Transformation for obtain common datum and the deformation analysis in this common datum union, obtained by using global model testing. Then the moving points obtained and analysed by S-Transformation

## TEŞEKKÜR

“GPS İle Deformasyon Analizi” konusundaki bu çalışmada bana her türlü desteği veren çok kıymetli, danışman hocam Yrd. Doç Dr. Halis SAKA ’ya ve Arş. Gör. Hüseyin Pehlivan’a , Atatürk Üniversitesi Erzincan Meslek Yüksek Okulu Müdürü Saygıdeğer Hocam, Prof.Dr.Şakir BAYINDIR’a, babam Cemil BAYATA’ya ve aileme teşekkür ederim.

Ayrıca; bu çalışmada kullanılan veriler, İTÜ, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümünden Doç. Dr. Yunus KALKAN yürütücülüğünde gerçekleştirilen "Altaş Ambarlı Liman Tesislerin Sahasında Jeodezik ve Geoteknik Yöntemlerle Heyelan İzleme Çalışması" na aittir. Bu verilerin kullanılmasına müsaadelerinden dolayı, başta Sn. Doç. Dr. Yunus KALKAN ve diğer proje çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

GEBZE-2001

Halim Ferit BAYATA

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

|                                                                                                  | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET                                                                                             | iv    |
| SUMMARY                                                                                          | v     |
| TEŞEKKÜR                                                                                         | vi    |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ                                                                               | vii   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ                                                                   | ix    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                                                                  | x     |
| ÇİZELGELER DİZİNİ                                                                                | xi    |
| <br>                                                                                             |       |
| 1. GİRİŞ                                                                                         | 1     |
| 2. DEFORMASYON ANALİZİNDE GENEL DURUM                                                            | 3     |
| 2.1. Deformasyonların Tanımı                                                                     | 3     |
| 2.2. Deformasyonların Nedenleri                                                                  | 4     |
| 2.2.1. Jeolojik Nedenlerle Yerel Hareketler                                                      | 5     |
| 2.2.1.1. Yerel Kütle Hareketleri ve Heyelanlar                                                   | 5     |
| 2.2.1.1.1. Akma                                                                                  | 6     |
| 2.2.1.1.2. Heyelan                                                                               | 6     |
| 2.2.1.1.3. Çökme                                                                                 | 6     |
| 2.2.2. Büyük Mühendislik Yapılarındaki (Sanat Yapıları) Zamana Bağlı Hareketler (Deformasyonlar) | 7     |
| 2.3. Deformasyonların Sınıflandırılması                                                          | 8     |
| 2.3.1. Geometrik Değişimler                                                                      | 8     |
| 2.3.1.1. Dış Geometrik (Konum Bakımından) Değişimler                                             | 8     |
| 2.3.1.2. İç Geometrik Şekil Değişimleri                                                          | 9     |
| 2.4. Deformasyon Analizinde Kullanılan Jeodezik Ağların Genel Özellikleri                        | 11    |
| 3. DEFORMASYON ANALİZİ                                                                           | 14    |
| 3.1. Deformasyon Modelleri                                                                       | 14    |
| 3.1.1. Kinematik Model                                                                           | 14    |
| 3.1.2. Statik Model                                                                              | 14    |
| 3.2. Jeodezik Ağların Dengelenmesi                                                               | 15    |
| 3.2.1. Gauss-Markoff Modeli                                                                      | 15    |
| 3.2.2. Sebest Ağ Dengelemesi                                                                     | 16    |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.Seçilen Modele İlişkin Kontrol ve Testler                                   | 19 |
| 3.3.1.Uyuşumsuz Ölçü Testi (“t” Tau)                                            | 19 |
| 3.3.2.Global Model Testi (Doğrusal Hipotez Testi)                               | 21 |
| 3.4.S-Transformasyonu Ve Deformasyon Analizinde Uygulanması                     | 24 |
| 3.4.1.S-Transformasyonu Tanım Ve Esaslar                                        | 24 |
| 3.4.2.S-Transformasyonu Yardımıyla Global Test (Doğrusal Hipotez Testi)         | 26 |
| 3.4.3.S-Transformasyonu Yardımıyla Anlamlı Nokta Hareketlerinin Tespit Edilmesi | 28 |
| 4. GPS ÖLÇÜLERİ VE DEFORMASYON ANALİZİ                                          | 31 |
| 4.1. GPS Vektörlerinin Dengelenmesi                                             | 31 |
| 4.2. Periyotlar Arası Sistemik Farklılıkların Testi                             | 34 |
| 5. UYGULAMA                                                                     | 36 |
| 5.1. Çalışma Alanı ve Verilerin Toplanması                                      | 36 |
| 5.2. GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi                                          | 38 |
| 5.2.1. Baz Vektörlerinin Değerlendirilmesi ve Uyuşumsuz Bazların Analizi        | 38 |
| 5.3. İki Periyot arasındaki Ölçek Testi                                         | 41 |
| 5.4. Periyotlar Arasında Global Test                                            | 42 |
| 5.5. R Değerinin Cholesky Ayrışımı                                              | 42 |
| 5.6. S-Transformasyonu İle Hareketli Noktaların Analizi                         | 43 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER                                                            | 45 |
| KAYNAKLAR                                                                       | 46 |
| ÖZGEÇMİŞ                                                                        | 48 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\underline{x}_i = f_i$  ve  $t_i$  Kuvvetlerinin etkisindeki noktaların koordinat vektörü.

$\underline{x}_0 = f_0$  ve  $t_0$  Kuvvetlerinin etkisindeki noktaların koordinat vektörü.

$F$  = Kinematik model fonksiyonu

$\underline{A}$  = Katsayılar matrisi

$\underline{P}$  = Ağırlıklar matrisi

$\underline{X}$  = Bilinmeyenler vektörü

$\underline{N}$  = Normal denklem katsayılar matrisi

$\underline{n}$  = Normal denklemlerin sabit terimleri

$\underline{V}$  = Düzeltmeler matrisi

$\underline{G} = \underline{N}$  Matrisinin sıfır özdeğerlerine karşılık özvektörler matrisi

$\underline{t} = t$  Dağılımı operatörü

$\underline{Q}_{xx}$  = Varyans kovaryans matrisler

$f = f$  dağılım operatörü

$u$  = Bilinmeyenler

$n$  = Ölçü sayısı

$H_0$  = Sıfır hipotezi

$H_a$  = Alternatif hipotez

$\tau_i$  = Tau dağılımı operatörü

$\underline{Q}_{ii}$  = Ölçülere ilişkin kofaktör matris

$\underline{m}_0$  = Standart sapma

$\underline{\zeta}_0$  = A posteriori

$\underline{P}$  = Ölçülerin ağırlık matrisi

$\underline{d}$  = Koordinat fark vektörü

$\underline{R}$  = Düzeltmelerin karesel formundaki artım miktarı

$\underline{S}$  = Transformasyon matrisi

$\underline{Q}_{dd} = \underline{d}$  vektörünün kofaktörler matrisi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <b><u>Sekil</u></b> |                                                                                                                    | <b><u>Sayfa</u></b> |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 2.1.                | Jeolojik Sebeplerden Dolayı Bir Deformasyon Örneği<br>[HGK ( <a href="http://www.hgk.mil.tr">www.hgk.mil.tr</a> )] | 5                   |
| 2.2.                | Yerel Jeodezik Olaylar Sonucu Deformasyonlar                                                                       | 7                   |
| 2.3.                | Burkulma Sonucu Ortaya Çıkan Şekil Değişimleri                                                                     | 10                  |
| 2.4.                | Eğilme Ve Burkulmanın Yol Açtığı Deformasyon Örnekleri                                                             | 11                  |
| 2.5.                | Değişik Nitelikte Nirengi Ağları                                                                                   | 12                  |
| 5.1.                | Ambarlı Limanı Deformasyon Ağı                                                                                     | 36                  |
| 5.2.                | Birinci Periyot Ölçüleri İçin Uyuşumsuz Ölçü Testi                                                                 | 38                  |
| 5.3.                | Birinci Periyot Ölçüleri İçin Dengeleme Sonuçları (Düzeltilmeler)                                                  | 39                  |
| 5.4.                | İkinci Periyot Ölçüleri İçin Uyuşumsuz Ölçü Testi                                                                  | 39                  |
| 5.5.                | İkinci Periyot Ölçüleri İçin Dengeleme Sonuçları                                                                   | 40                  |
| 5.6.                | R Karesel Formunun Cholesky Ayrışımı                                                                               | 42                  |
| 5.7.                | Ambarlı Limanı Yerleşim Planı ve Deformasyon Vektörleri                                                            | 44                  |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

| <b><u>Çizelge</u></b>                                    | <b><u>Sayfa</u></b> |
|----------------------------------------------------------|---------------------|
| 2.1. Deformasyonların Geometrik Yönden Sınıflandırılması | 9                   |

## TABLolar DİZİNİ

| <b><u>Tablo</u></b>                                                | <b><u>Sayfa</u></b> |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 5.1. Leica System 300 GPS Alıcısının Teknik Özellikleri            | 37                  |
| 5.2. Fiziki Olarak Seçilen Dayanak Noktalarında Benzerlik Dönüşümü |                     |
| Sonuçları                                                          | 41                  |

# 1.GİRİŞ

Yeryüzü ve üzerindeki yapılar, dinamik etkiler altında uzun ve kısa periyotlu değişim içersindedirler. Bu değişimler, bütün dünyada ingilizce kökenli “*deformasyon*” kavramıyla adlandırılır. İlgili alanlarda deformasyonların sürekli olarak izlenmesi ve modellendirilmesi mühendislik açısından oldukça önemlidir. Bunlar; depremlerin önceden tahmin edilmesi, binalardaki yapısal değişimlerin izlenmesi, yavaş akma, heyelan ve şev sıtabilitelerinin belirlenmesi şeklinde sıralanabilir.

Çoğu çalışmalarda, deformasyonların izlenmesinin temelini jeodezik ölçme ve değerlendirme yöntemleri oluşturur. Jeodezik çalışmaların içersinde, deformasyon ölçme ve değerlendirme teknikleri ayrı bir dal olarak gelişmiştir. Özellikle de elektronik uzaklık ölçerlerin gelişimi deformasyon ölçmelerinde yatay hareketlerin izlenmesini kolaylaştırmış ve lokal alanların izlenmesinde ( $\approx 10$  km kenarlı ağlarda) yüksek doğruluklara ulaşılmıştır ( $\pm 5$  mm).

Jeodezik ölçme yöntemlerindeki gelişmelerle (1980’li yıllardan itibaren GPS uydu ölçme tekniğinin ortaya çıkışıyla) yüksek doğrulukla konum belirlemenin zorlukları büyük ölçüde ortadan kalkmıştır. Öyleki, GPS’in hızı ve çok uzun bazların yüksek doğrulukla ölçülebilmesi, kıtalar arası hareketleri bile izlenebilir hale getirmiştir. Uluslararası GPS servisi’nin (IGS) kurduğu ağ gibi, kıtalar arası jeodinamik hareketleri izlemek için sürekli kayıt yapılan jeodezik ağlar da kurulmuştur.

GPS ölçmelerinin sağladığı bu kolaylıklar sonucu, zor ve ekonomik açıdan pahalı olan klasik yöntemlerin terk edilmesine neden olmuştur. Buna rağmen; klasik jeodezik ölçme yöntemlerinden prezisyonlu nivalman, düşey konum belirlemede yüksek doğruluk açısından GPS yöntemine göre hala tercih edilmektedir.

Ülkemiz gibi tektonik aktivitenin yüksek olduğu yerlerde yer kabuğu hareketleriyle oluşan deformasyonların izlenmesi ve depremlerin tahmin edilme çalışmaları oldukça hayati önem taşır. Bu tür yerlerde periyotik olarak ölçülen ağların yanı sıra, sürekli izleme ağları kurularak hareketler kontrol altına alınmaya çalışılır.

Bu tür çalışmalar ülkemizde klasik jeodezik yöntemlerle başlamış ve ciddi çalışmalar yapılmıştır. Bunlara en iyi örnek, kuzey anadolu fayını incelemek amacıyla 1980' li yıllarda kurulan Taşkesti ve Gerede mikro jeodezik ağlarıdır (Aksoy ve diğ 1994a, 1994b, 1994c). GPS ölçme yöntemi ile 1990 dan itibaren marmara bölgesinde, tektonik hareketleri izlemek amacıyla kontrol ağları kurulmaya başlanmıştır(ETHA-İTÜ GPS marmara projesi). 17 ağustos 1999 depreminden sonra da bu çalışmalar hız kazanarak devam etmektedir.

GPS yöntemi bölgesel ve global izleme ağları dışında, lokal ölçekli deformasyon izleme çalışmalarında da kullanılmaktadır. Sanat yapılarında ve heyalan bölgelerinde özellikle yatay deformasyonların incelenmesi özellikle GPS yöntemiyle yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, düşey hareketler ise presizyonlu nivelman yöntemleri ile izlenmektedir.

GPS ile deformasyon analizi ile ilgili önceki yıllara ait bir çok çalışma yapılmış, özellikle İTÜ ve YTÜ'de yapılan yüksek lisans ve doktora çalışmalarında bu konu işlenmiştir. Uydu teknikleri ile daha hızlı ve daha hassas bir deformasyon ölçümü yapılabileceği anlaşılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda S-Transformasyonu ile deformasyon analizi yönteminin kullanılmasının sebebi ise, farklı peryodlar da yapılan ölçümlerde her bir peryod için ayrı ayrı dengelemeye gerek kalmadan datum birliği sağlayarak deformasyon analizi yapması ve hareketli noktaların tespit edilmesidir.

Bu tezde; deformasyon analiz yöntemleri lokal bir kontrol ağı verileri kullanılarak incelenmiştir. S-transformasyonu yöntemi ile iki periyot ölçülerinin analizi yapılmıştır. Deformasyonların izlenmesine ilişkin istatistik değerlendirme esasları incelenmiş ve uygulanmıştır. Analiz, yer merkezli 3 boyotlu kartezyen koordinatlarla (WGS 84) yapılmış ve yatay ve düşey konum birlikte ele alınmıştır. Sonuçlar en sonunda lokal toposentrik koordinatlara dönüştürülmüştür.

Çalışmada kullanılan veriler Ambarlı limanında heyalan şüphesini incelemek amacıyla İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü elamanlarınca 2000-2001 yıllarında kurulan 29 noktalı kontrol ağının ilk ve son periyot ölçüleridir.

Kısa süreli ölçme oturumları ile elde edilmiş olan ölçmeler, GPS yönteminin bu açıdan irdelenmesi bakımından da önemlidir. Sonuç olarak kısa kenarlı ağların, kısa süreli oturumlarla ölçülebilirliği, yatay konum açısından fazla bir sakınca teşkil etmediği anlaşılmaktadır.

## 2. DEFORMASYON ANALİZİNDE GENEL DURUM

### 2.1. Deformasyonların Tanımı

Yerel ve global yerkabuğu hareketleri sonucunda, yeryüzünde veya mühendislik yapılarında, meydana gelen fiziksel değişikliklere **“Deformasyon”** denir.

Yerkabuğundaki hareketlenmeler temelde plaka hareketlerine dayanır ve bunlar sismik hareketlerin temelini oluşturur. Büyük buzul parçalarının küresel ısınma sonucunda erimesi, gel-git olayları, atmosferdeki ve hidrosferdeki olaylar, yerin bu dinamik tavrının ikinci derecen bileşenleri olarak sıralanabilir. Bu olaylar deformasyonların ana kaynağını oluşturur. Bunların dışında, baraj, köprü, yol, demiryolu v.b. mühendislik yapılarında meydana gelen ve bunların yakın çevrelerinde oluşan geometrik ve fiziksel şekil değişimleri de deformasyon olarak tanımlanır. Deformasyonların tespiti için yapılan ölçmelere **“Deformasyon Ölçmeleri”** denir. Bu ölçmelerin değerlendirilmesi ve yorumlanmasına da **“Deformasyon Analizi”** denir.

Günümüzde deformasyon ölçme yöntemleri yeni teknolojilerle beraber oldukça gelişmiştir. Özellikle uydu ölçme yöntemlerinin kullanımı ile deformasyon ölçümleri kolaylaşmış ve hızlanmıştır. Bu sayede, kıtalar arası hareketler bile yüksek doğrulukta ölçülmeye başlanmıştır. Tüm bu gelişmelerle birlikte, klasik ölçme yöntemleri lokal çalışmalarda hala etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bunlar; hassas nivelman ölçmeleri, fotogrametrik yöntemler (yersel fotogrametri) ve diğer fiziksel ölçme yöntemleri olarak sıralanabilir.

Deformasyonları fiziksel değişimlere sebebiyet vermeleri bakımından iki gruba ayırmak mümkündür.

1. Nesneye etkiyen faktörün ortadan kalkması ile şekil değişiminin de ortadan kalktığı eğilme, burulma gibi esnek deformasyonlar diğer bir ifade ile cisme

etkiyen kuvvet kaldırıldığında cisim eski halini alıyorsa, bu şekilde oluşan deformasyona elastik deformasyon denir.

2. Etkiyen faktörün ortadan kalması sonucunda, nesnenin önceki konumuna dönmediği çökme, yükselme, öteleme, dönme, açılma, kapanma, genişleme, daralma gibi, oluşan deformasyonlar kalıcıdır. Bu tür deformasyonlar blok hareketi olarak adlandırılabilir, ve blok hareketleri analiz edilmeye çalışılır. [Demirkesen A.]

Deformasyon analizi izlenme sebepleri;

- Jeofizik, jeoloji, buz bilimi (büyük buz kütlelerinin kutuplarda küresel ısınma sonucu erimelerinin izlenmesi), mühendislik bilimlerinde araştırmaların yapılması tezlerin ve hipotezlerin kanıtlanması,
- Mühendislik yapılarının güvenlik ve performansının değerlendirilmesi, toprak kaymaları ve mühendislik yapılarından kaynaklanan kötü etkilerinden korunması,
- Madencilik, tünel açımı ve benzeri çalışmalar sonucu meydana gelen hasarın nedeninin belirlenmesi.
- Yer kabuğu hareketlerinin takip edilmesi, depremlerin önceden tespit çalışmaları, deprem sonrası meydana gelen çökme ve değişimlerin izlenmesi,
- Volkanik hareketlerde bölge değişimlerinin yanardağ etrafında izlenmesi, yanardağların merkezlerindeki hareketlerin izlenebilmesi, şeklinde örnekler sıralanabilir.

## 2.2. Deformasyonların Nedenleri

Zamana bağlı olarak, oluş şekillerine bağlı olarak ve yapmış oldukları fiziksel etkiler göz önüne alınarak, deformasyonları dört ana başlık altında toplamak mümkündür.

1. Yer kabuğu hareketleri (Sismik Aktivite)
2. Jeolojik nedenler (Heyelan, Akma, Çökme)
3. Yer altı zenginliklerinin alınması ile oluşan hareketler (Çökme)
4. Büyük mühendislik yapılarındaki zamana bağlı deformasyonlar.(Oturma, Zemin etkileri, Yapı niteliğinde bozulmalar)

### 2.2.1. Jeolojik Nedenlerle Yerel Hareketler

Jeolojik nedenlerle yerel hareketler arasında volkanik olaylar, fiziksel veya kimyasal etkiler sonucunda ortaya çıkan tabaka bozulmaları, heyelanlar çökme ve yavaş akma olayları olarak özetlenebilir.



Şekil 2.1.: Jeolojik sebeplerden dolayı bir deformasyon örneği,[HGK (www.hgk.mil.tr)]

#### 2.2.1.1. Yerel Kütle Hareketleri Ve Heyelanlar

Yerel kütle hareketleri ve heyelanlar, yerkabuğunun şeklini, görünüşünü ve yapısını değiştirir. Heyelan; ayrışan maddelerin yerçekimi ile yer ve şekil değiştirmesidir. Mühendislik ihtiyaçları, hareketin miktarını, hareket sonrası meydana gelen değişimi ve hareketin önceden tespit çalışmalarını kapsar.

Yerel kütle hareketleri; serbest yüzeyli ve serbest yüzeysiz olmak üzere ikiye ayrılır. Serbest yüzeyli hareketlerde akma ve heyelan olarak iki şekilde ele alınabilir. [Erguvanlı K., 1967]

### **2.2.1.1.1. Akma**

Bazı zeminler, içerisinde bulunan su miktarına göre, bazen sıvı gibi akar. Bazen de çok yavaş fakat sürekli olarak yer değiştirir ve böylece zeminde bir deformasyon meydana gelir. Bu olay genelde akma olarak adlandırılır.

**Yavaş Akma:** Bir kütlenin yüzeysel kısmının sürekli, fakat çok yavaş yer değiştirmesine denir. Burada hareket genellikle çok yavaş olduğundan uzun ve sürekli yapılan gözlemlerle anlaşılabilir. Hareket hızı genelde 2-3 cm civarındadır. Bu hareket bloktan, kile kadar her çeşit çaptaki malzemede görülebilir.

**Toprak Kripi:** Toprakla örtülü yamaçlarda, eğrilmiş ağaçlar, bükülmüş, çit sırıkları, telgraf direkleri, toprak üzerinde birikmiş taşlar, kırılmış veya yer değiştirmiş istinad duvarları ve temeller, yer değiştirmiş kara ve demiryolları viyadüklerdeki değişimler örnek olarak verilebilir. Hareketin esas bileşenleri, su alınca şişip yamaç eğimine dik hareket etmesi, kuruyunca hacimlerinin küçülmesi, dikey olarak aşağıya inmesi şeklinde hareket etmesidir. Krip olayı mühendislik açısından oldukça önemlidir. Bina ve sanat yapılarının temelleri, bunlar üzerine konmamalıdır.

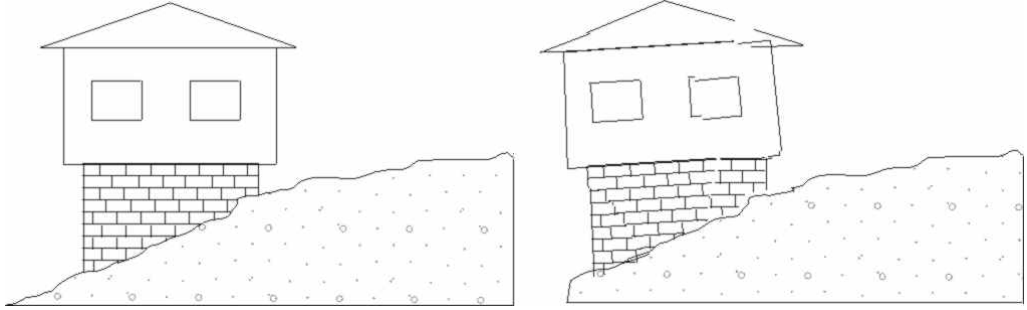
### **2.2.1.1.2. Heyelan**

Toprak, taş veya bunların karışmasından ibaret olan bir kütlenin bir düzlem üzerinde aşağıya doğru hissedilir bir şekilde hareket etmesine heyelan denir. Heyelanlar hareketin süratine ve malzemenin cinsine göre sınıflandırılırlar.

### **2.2.1.1.3. Çökme**

Serbest yüzeyi olmayan tabii zeminin, dikey veya dikeye yakın bir şekilde hareket etmesine çökme denir. Yük ve çeşitli kuvvetler tesiri ile zeminin ve dolayısıyla yapının, aşağıya doğru hareket etmesine de oturma adı verilir. Bu tip durumlarda yatay doğrultuda bir hareket ya çok az olur ya da hiç yoktur. Oturmalarda hareket yavaş yavaş olur.

Oturmalar ve çökmeler; büyük mühendislik yapılarında, yeraltı suları ve içme suyu şebekelerinde etkili olabileceğinden, bu yapılara ilişkin, yatay ve düşey yöndeki hareketlerin sürekli ölçülmesi gerekmektedir. Maden yataklarında, yer altı zenginliklerinin çıkarılması; etüdlere yapılmadan sulama ve içme amaçlı sondaj çalışmalarının yapılması, petrol arama ve çıkarma çalışmaları, metro inşaat çalışmaları, sonucunda yeryüzü üzerinde çöküntüler meydana getirmektedir. Bu çöküntülerin meydana geldiği alanlar üzerindeki yapılarda (mühendislik yapıları, yol köprü, binalar vb.) deformasyonlar oluşmaktadır. Bu çökme olaylarının incelenmesinde genelde jeodezik yöntemlerden yararlanılır.



Şekil 2.2. : Yerel Jeodezik Olaylar Sonucu Deformasyonlar

### 2.2.2. Büyük Mühendislik Yapılarındaki (Sanat Yapıları) Zamana Bağlı Hareketler (Deformasyonlar)

Büyük mühendislik yapılarında özellikle köprü ve barajlarda yerel jeolojik yapıdan, binanın özelliğinden ve yapı üzerindeki dinamik kuvvetlerden dolayı belli değişimler olacaktır. Bu değişimlerin beklenen değerler dışında olup olmadığı izlenmelidir. Bu izleme deformasyon ölçmeleri çerçevesinde düşünülür. Bu çalışmalarda; lokal fiziksel ölçme yöntemlerinin yanı sıra kurulacak uygun bir jeodezik kontrol ağıyla da desteklenmektedir. Bu hareketlerin yapının genel dinamik karakteri içerisinde kalıp kalmadığı deformasyon analizi yöntemleriyle belirlenir.

## 2.3.Deformasyonların Sınıflandırılması

### 2.3.1. Geometrik Değişimler

Geometrik şekil değişimleri iç ve dış geometrik değişimler olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir.

#### 2.3.1.1. Dış Geometrik (Konum Bakımından) Değişimler

Cismin tamamında meydana gelen değişimlerdir. Bu değişimler şu şekilde açıklanabilir.

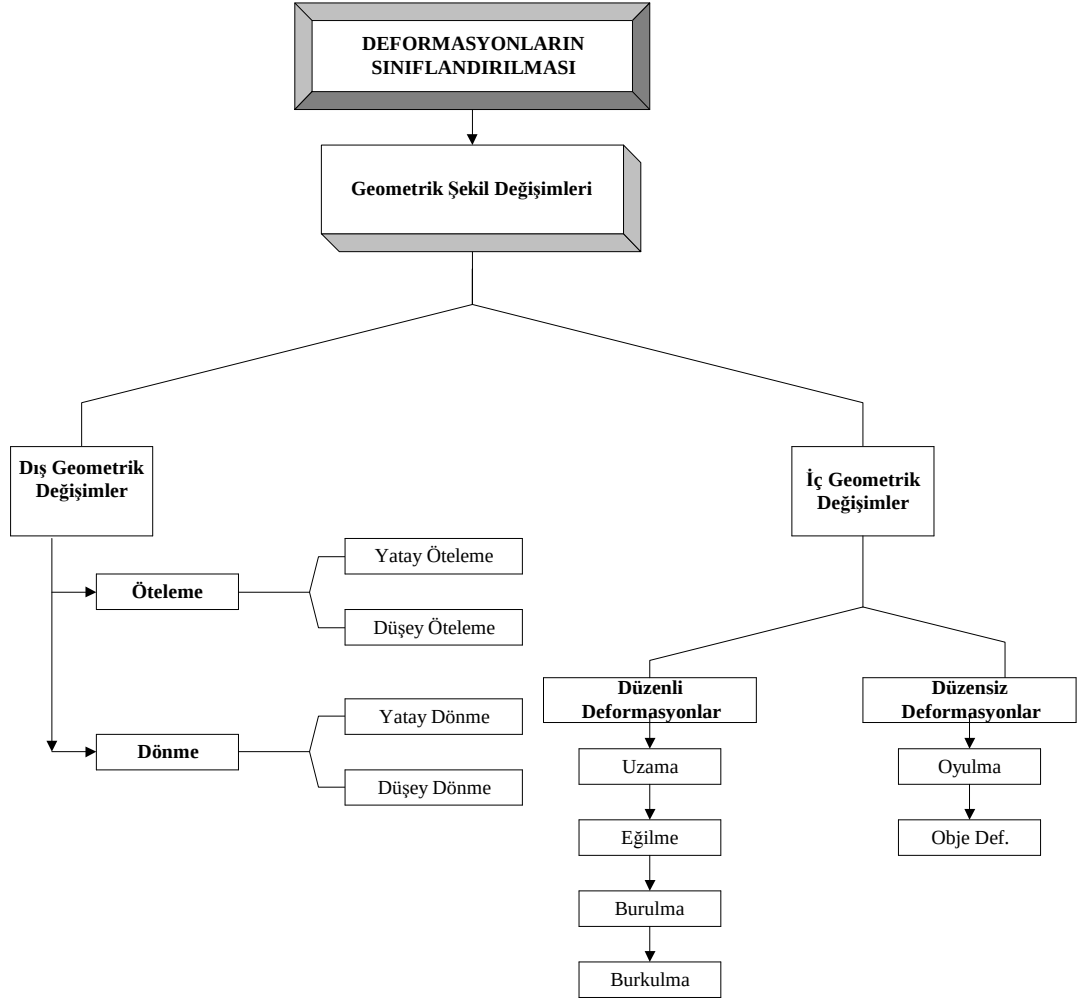
**Öteleme:** Bir cismin bir kuvvetin etkisiyle yer değiştirmesi durumunda, cismin yapmış olduğu harekete öteleme denir. Bu durum genelde yatay ve düşey öteleme olmak üzere iki kısma ayırarak incelenir.

**Yatay Öteleme:** Cisme etkiyen kuvvetin sürtünme kuvvetinden büyük olması durumunda, cismin ağırlık kuvvetine dik düzlemde hareket etmesidir.

**Düşey Öteleme:** Yapıya veya cisme etkiyen kuvvetin, düşey yönde (ağırlık kuvveti yönünde) yapmış olduğu etkiler sonucu ortaya çıkan yer değişimleridir. Örneğin yer altı zenginliklerinin alınması sonucu binalardaki çökmeler örnek olarak verilebilir.

**Dönme:** Döndürme momentinin yapmış olduğu etki ile yapıda, ağırlık merkezine göre simetrik oluşan değişimlerdir. Yatay ve düşey yönde olmak üzere iki kısımda incelemek mümkündür. Yerkabuğu hareketleri sonucunda yatay ve düşey yönde oluşan kuvvetler, yapılarda dönme şeklinde değişikliklere de neden olmaktadır.

Bu etkiler yapılarda iç bozulmalar olmadan gözlenebilir. Çok sağlam yapılar bile belli kuvvetler altında bu şekilde konumsal değişiklik içerebilir.



Çizelge 2.1:Deformasyonların Geometrik Yönden Sınıflandırılması (Demirkesen, A.)

### 2.3.1.2. İç Geometrik Şekil Değişimleri

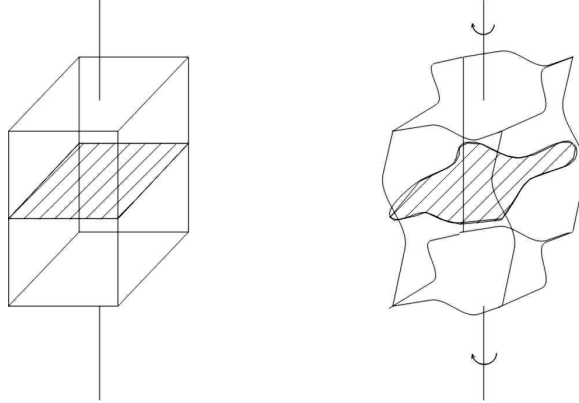
İç geometrik değişimler cismin veya yapının şekil değişimlerini tanımlar. Düzenli ve düzensiz şekil değişimleri olarak iki farklı şekilde incelenebilirler.

**Düzenli Değişimler:** Yapılarda veya cisimlerde aynı yönde oluşan deformasyonlardır. Dış kuvvetlerin veya yapının ağırlığının etkisiyle aynı yönde oluşan şekil değişimleridir. Bunlar; uzama, eğilme, burulma, burkulma olarak ifade edilebilir.

**Uzama** : Uzama ile oluşan deformasyonlar daha çok ısı farklarından kaynaklanmakta olup, ısınan hava ile genleşen cisim veya yapıda deformasyonların olduğu gözlenmektedir. Bunun yanında cisme uygulanan bir çekme kuvvetinin, cisme yapmış olduğu etki ve bunun sonucunda cismin şeklinde meydana gelen değişikliklere örnek verilebilir.

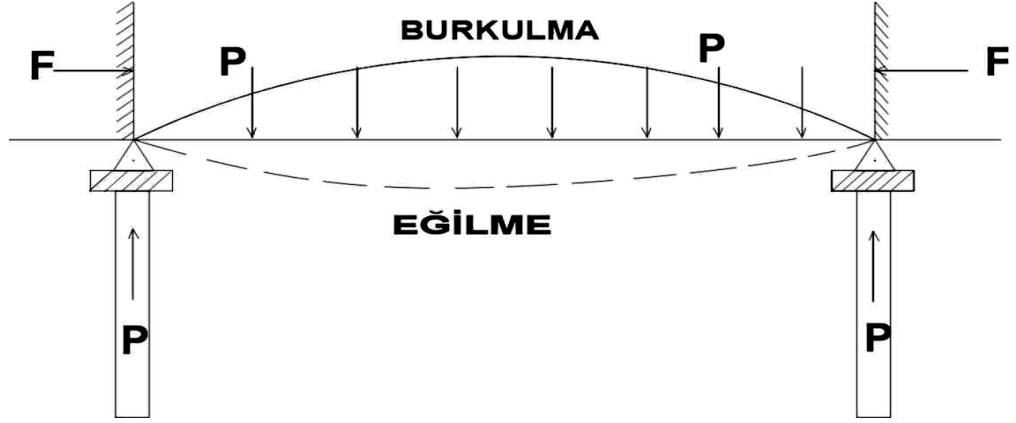
**Eğilme** : Cisme veya yapıya dik yönde bir eğilme momenti etkiyorsa cisimde bir eğilme söz konusu olur.

**Burkulma** : Cisme veya yapıya etkiyen kuvvet, herhangi bir yönden ve farklı şiddetlerde birden fazla kuvvetin uygulanması sonucunda, cisimde meydana gelen deformasyonlardır. Aşağıdaki örnekte düzgün bir yapıya sahip bir cisme uygulanan farklı şiddette ve birden fazla kuvvet sonucunda ortaya çıkan durum gözlenmektedir. (Şekil 2.3).



Şekil 2.3.: Burkulma Sonucu Ortaya Çıkan Şekil Değişimleri

**Burkulma** : Bir miktar kuvvetin etkisiyle cisim mukavemetini kaybeder ve kendi eksenini etrafında şekil değişimlerine sebebiyet verir. Özellikle köprülerde meydana gelen bu durumda ısı farkları ve sıcaklıklar etkili rol oynar. (Şekil2.3). F Kuvveti burkulmalara yol açarken P kuvveti eğilmelere yol açar. (Şekil2.4)



Şekil 2.4. Eğilme Ve Burkulmanın Yol Açtığı Deformasyon Örnekleri  
[Akdoğan,1999]

**Düzensiz Deformasyonlar:** Yapılarda düzensiz etkiler ve kuvvetler sonucunda meydana gelen deformasyonlardır. Bunları iki başlık altında toplayabiliriz.

**Oyulma :** Akarsu yataklarının ve denizlerde dalgaların toprak üzerinde yapmış oldukları zamana bağlı deformasyonlardır. Özellikle akarsuların kayaları ve yatağındaki toprak ve taşları zamanla aşındırarak oyulmalara sebebiyet vermeleri sonucu ortaya çıkan deformasyonlardır.

**Obje Deformasyonu :** Zemin veya yapı üzerinde zamanla akarsuların, rüzgarların, buzulların, erozyonun, meteorolojik olayların neden olduğu fiziksel yüzey bozulmalarıdır.

Düzensiz deformasyonlar için, izleme yöntemi fotogrametrik yöntemlerdir. İzlenen alanın obje noktaları kaybolabileceğinden jeodezik yöntemlerin kullanılması uzun süreçlerde yetersiz kalır.

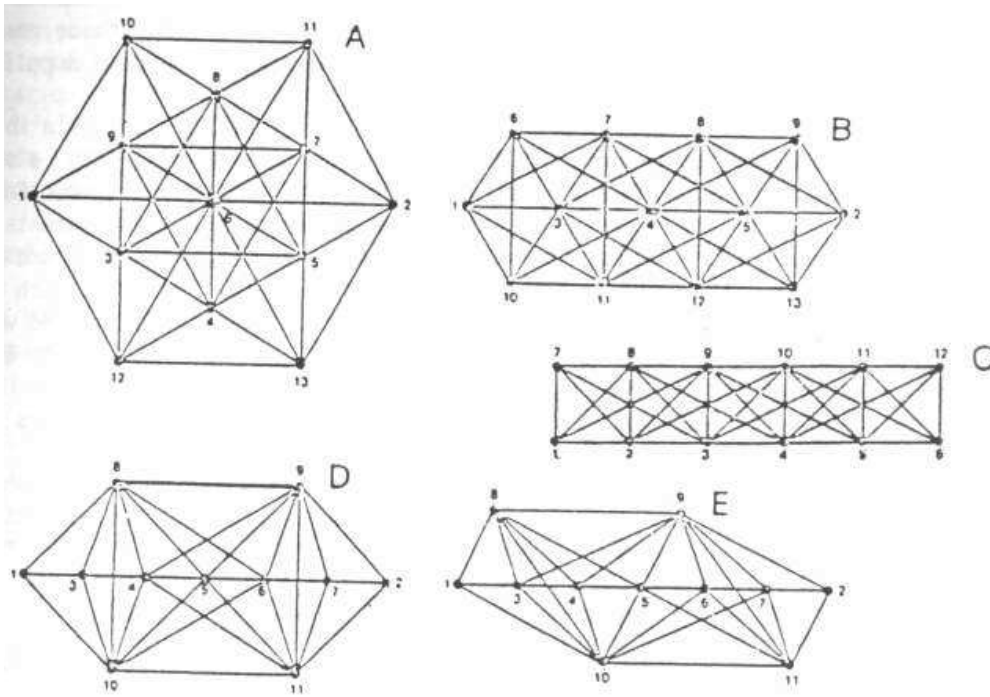
## 2.4. Deformasyon Analizinde Kullanılan Jeodezik

### Ağların Genel Özellikleri

Bir jeodezik ağın yapısı o ağdan beklenenlere göre değişkenlik gösterir. Ağın işlevinin ne olduğu belirli olmalı ve ağ bu işlevi yerine getirecek özellikte olmalıdır. Genel amaçlı bir ülke ağının her yerinde iyi bir duyarlılığa sahip olması önemli bir

ölçütdür. Buna karşın özel amaçlı jeodezik ağların herhangi bir noktası veya bölgesi veya özel bir doğrultusu için özel duyarlık aranabilir. Deformasyon ölçümleri için oluşturulacak olan jeodezik ağların kuruluş amaçları deformasyonların oluşup oluşmadığı konusunda karar vermeye yöneliktir. Referans noktalarının istenen konum duyarlığını sağlayacak şekilde yerleştirilmesi gerekir. Öyleki, geometrik şekil hataları karşımıza kalıcı hatalar olarak çıkabilir. [Hoşbaş G.1992], [Uzel T. 1991]

Teorik açıdan bakıldığında Şekil 2.5 ‘de deformasyon ağları için uygun ağ şekilleri verilmiştir. A ağı, bölgedeki hareketlerin yönü hakkında bir fikir oluşmamışsa, tüm yönlerdeki hareketleri analiz edebilecek bir yapıdadır. Diğerleri ise güzergah doğrultusunda oluşan hareketleri belirler. [Baldi P., Unguendoli M. 1987]



Şekil 2.5. Değişik Nitelikte Nirengi Ağları (Baldi, 1987)

Deformasyonların belirlenmesinde jeodezik ağlar genelliklede lokal ağlar olarak kurulur, ve yönlendirilmeleri yaklaşık olabildiği gibi rastgele alınabilir, yani bu ağların herhangi bir koordinat sisteminde olması gerekmez. Bu şekilde, deformasyonların belirlenmesi amacıyla yönelik ağlar “**kontrol ağları**” olarak adlandırılır ve genellikle iki farklı tip noktalardan oluşur. Bunlar “**deformasyon noktaları**” ve “**sabit noktalar**” olarak adlandırılır. [Başkaya B. 1995]

Deformasyon noktaları, hareketlerin incelenmesine konu olan yapı veya bölgeyi temsil edebilme özelliklerine sahip olmalıdır. Deformasyon noktaları hareket beklenen yerlerde ve genellikle yapı üzerinde seçilir. Sabit noktalar, deformasyon beklenmeyen yerlerde deformasyon noktalarındaki hareketleri belirlemek amacıyla tesis edilir. Sabit noktalara aynı zamanda referans noktaları da denir. [Başkaya B. 1995], [Aydın Ö. 1995]

Jeodezik ağların duyarlık, güvenilirlik, ekonomik olma ölçütlerinden seçilecek bir amaç fonksiyonunun gerçekleşmesini sağlayacak biçimde kurulması jeodezik ağın optimizasyonu (en iyi şekilde oluşumu) adını alır.(Şekil. 2.5) Aynı zamanda bu optimizasyona “ünivaryant” dizaynı ağlar ismi de verilir. [Hoşbaş G. 1992]

Kontrol ağının tasarımını şöyle sıralayabiliriz.

- Kontrol ağının kullanıcıları jeologlar, buz bilimciler, yapı mühendisleri olabilir. Bu uzmanlar, seçtikleri bir model çerçevesinde deformasyon beklerler. Bu nedenle yapının ya da bölgenin en önemli yerlerini kontrol ağı noktalarının tesisi için göstermelidirler.
- Mümkün olan tüm ölçüler belirlenir.
- Ölçülerin doğrulukları, kullanılan alet ve her bir gözlemdeki ölçü sayısı ele alınarak tahmin edilir.
- Dengeleme modeli kurulur ve proje ile ilgili doğruluk ölçütleri, güven duyarlılık ve maliyet hesapları yapılır.
- Her bir ölçünün üzerindeki etkileri yukarıda ki maddede verilen ölçütlere göre hesaplanır ve ölçüler etki büyüklüklerine göre sıralanır.
- Hesaplanan sonuçlar verilen bir ölçütle karşılaştırılır ve minimum maliyet, yeterli doğruluk, güven ve duyarlık araştırılır.
- Tatmin edici bir sonuç elde edildiğinde tüm bu işlemler alternatif nokta yerleri kullanılarak tekrar edilir. Bu optimizasyon işlemleri minimum maliyet ve yeterli doğruluğa ulaşana kadar tekrarlanır.
- Günümüzde bu optimizasyon çalışmaları özellikle maliyet açısından pek önem taşımamaktadır. Çünkü GPS ölçme tekniği ile veri toplamak oldukça hızlı ve ekonomiktir.

### 3. DEFORMASYON ANALİZİ

#### 3.1. Deformasyon Modelleri

Deformasyonlar, bir peyotluk ölçme süresince, hareketin zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olup olmadığına ve etkiyen kuvvetlerin değişken kabul edilip edilmemesine, amacına , kapsamına ve uygulanan ölçme yöntemlerinin türüne göre sınıflandırılırlar.

##### 3.1.1. Kinematik Model

Kinematik modelde noktaların hareketleriyle birlikte kuvvet hızları da inceleme konusudur. Yani nokta koordinatları zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanır. Bir  $t_i$  zamanındaki nokta koordinatı,

$$\underline{x}_i = \underline{x}(f_i) - \underline{x}_0 + F(\underline{x}, \Delta f_i) \quad (3.1.);$$

$$\Delta f_i = f_i - f_0 \quad (3.2.);$$

$\underline{x}_i : t_i$  kuvvetinin etkisindeki noktaların koordinatları,

$\underline{x}_0 : t_0$  kuvvetinin etkisindeki noktaların koordinatları

$F$  : Kinematik model fonksiyonudur.

Bu şekildeki deformasyonların izlenmesinde Kalman Filtreleri gibi istatistik analiz yöntemleri kullanılır. Özellikle sürekli izlenen ve gerçek zamanlı deformasyon sistemlerinde bu yöntem tercih edilir. [Başkaya B. 1995]

##### 3.1.2. Statik Model

Deformasyon analizinde analiz yapılan bölgelerde bulunan yapıların karakteristik özellikleri ve jeodezik sabit noktaların, deformasyon vektörlerinin zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olarak belirlenmesi statik modeli oluşturur. Bu modelde sistemin bir kez ölçülmesi sırasında noktaların sabit kaldıkları

varsayılır. Bu tanımıyla statik model jeodezik yöntemlerin en çok uygulandığı deformasyon analiz yöntemlerinden biridir. [Başkaya N. 1995]

## 3.2. Jeodezik Ağların Dengelenmesi

### 3.2.1. Gauss- Markoff Modeli

Deformasyon araştırmasına, her bir peryot ölçülerinin ayrı ayrı dengelenmesiyle başlanır. Dengelemenin yapılabilmesi için, öncelikle ölçülerle bilinmeyenler arasında matematiksel ilişki kurulur. Dengeleme sonucu bilinmeyenleri belirleyebilmek için, ölçülerin doğruluk verileri arasında stokastik model kurulur. Günümüzde dengelemede yaygın olarak kullanılmakta olan model “Gauss-Markoff” modelidir. [Aksoy A., 1974]

Gauss-Markoff modeli yukarıda da belirtildiği gibi fonksiyonel ve stokastik bağıntılardan oluşan lineer bir matematiksel modeldir.

$\underline{l}$  : (n×1) Boyutlu ölçü vektörü

$E(.)$  : Umut operatörü

$\underline{x}$  : (u×1) Boyutlu bilinmeyen parametreler vektörü

$\underline{A}$  : (n×u) Boyutlu katsayılar matrisi

$\underline{\varepsilon}$  : (n×1) Boyutlu gerçek hata vektörü

$\underline{\Sigma}_i$  : (n×n) Boyutlu ölçülerin varyans kovaryans matrisi

$\sigma_0^2$  : Öncül (a-priori) varyans

$\underline{Q}_i$  : (n×n) Boyutlu ölçülerin kofaktörler matrisi

$\underline{P}$  : (n×n) Boyutlu ölçülerin ağırlık matrisi

$\underline{v}$  : (n×1) Boyutlu düzeltmeler vektörü

olmak üzere

$$E(\underline{l}) : \underline{Ax} \quad (3.3.);$$

$$E(\underline{\varepsilon}\underline{\varepsilon}^T) = \underline{\Sigma} = \sigma_0^2 \underline{P}^{-1} \quad (3.4.);$$

şeklindedir [Caspary W.S., 1987]. Bu modelde ölçülerin ümit değeri, bilinmeyen parametreler vektörü  $\underline{x}$  ve katsayılar matrisi  $\underline{A}$ 'nın lineer bir kombinasyonu şeklinde ifade edilir. Eğer ilişki lineer değilse lineerleştirilir. Ölçülerin rastlantısal hatalarının bilinmeyenler üzerindeki etkisini azaltmak için ölçü sayısı  $n$ , parametre sayısı  $u$ 'dan yeterince büyük olmalıdır. [Erol S. 1999]  $n > u$  Olduğunda  $E(\underline{l})$  yerine yazılacak  $\underline{l}$  ölçü vektörü ile (3.1) eşitliği tutarsız olur. Bu tutarsızlık ölçülere ümit değeri  $\underline{0}$  olan gerçek hata vektörünün eklenmesiyle giderilir. Bu durumda fonksiyonel model,

$$\underline{l} = \underline{Ax} + \underline{\varepsilon} \quad (3.5.);$$

şeklindedir.  $\underline{x}$  ve  $\underline{\varepsilon}$  değerleri yerine dengeleme ile bulunacak tahmin değerleri  $\hat{\underline{x}}$  ve  $\underline{v}$  konursa fonksiyonel model,

$$\hat{\underline{l}} = \underline{l} + \underline{v} = \underline{A}\hat{\underline{x}} \quad (3.6.);$$

şekline girer,

Deformasyon analizinde varsayımlardan mümkün olduğunca sakınmak ilkesine uygun olarak ağın konumlandırılması, yönetilmesi ve ölçeklendirilmesi, ağın iç verilerinin gerçekçi bir biçimde yansıtan serbest ağ dengelemesi uygulanır.

### 3.2.2. Serbest Ağ Dengelemesi

Bu işlemde ağda sabit nokta varsayımı yapılmaz, yani bütün ağ noktaları değişken olarak alınır. Ağın dış parametreleri belirsizdir. Dış parametrelerin belirsizliğine datum defekti ya da bozukluğu denir. Defekt, açılışlarında 4 (X ve Y eksenleri yönündeki ötelenmeler, bir dönüklük ve ölçek değişimi), açılış-kenar ağlarında 3 (X ve Y yönündeki ötelenmeler ve dönüklük), yükseklik ağlarında ise 1 (Z yüzünde öteleme)

Fonksiyonel model ile stokastik model arasındaki ilişki;

$$\underline{A}^T \underline{P} \underline{A} \underline{x} = \underline{A}^T \underline{P} \underline{l} \quad \text{Normal Denklemler} \quad (3.7.);$$

eşitliği veya

$$\underline{N} = \underline{A}^T \underline{P} \underline{A} \quad \text{Normal Denklem Katsayılar Matrisi} \quad (3.8.);$$

$$\underline{n} = \underline{A}^T \underline{P} \underline{l} \quad \text{Normal Denklemlerin Sabit Terimleri} \quad (3.9.);$$

$$\underline{N} \underline{x} = \underline{n} \quad (3.10.);$$

normal denklemleri ile verilir.

Datum defektine bağlı olarak, u bilinmeyen sayısı olmak üzere ( $u \times u$ ) boyutlu normal denklem katsayılar matrisi tekildir. [Demirel H. 1987]

$$\underline{N} \underline{N}^{-1} = \underline{N}^{-1} \underline{N} = \underline{I} \quad (3.11.);$$

$$\underline{v}^T \underline{P} \underline{v} = \min \quad (3.12.);$$

İlkesine ek olarak,

$$\underline{\hat{x}}^T \underline{\hat{x}} = \min \quad (3.13.);$$

koşulu ileri sürülür. Bu koşulun sağlanması ve (3.10) eşitliğini çözümü Moore-Penrose invers,  $\underline{N}^+$  ile;

$$\underline{x} = \underline{N}^+ \underline{n} \quad (3.14.);$$

şeklinde sağlanır.

Moore-Penrose invers;

$$\underline{N}\underline{N}^+\underline{N} = \underline{N} \quad (3.15.);$$

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

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

koşullarını sağlayan genelleştirilmiş inversdir. Bu inversin hesabı değişik yollardan yapılabilir. Burada ele alınan yöntemde,  $\underline{N}$  matrisinin özdeğerlerine karşılık gelen özvektörlerden oluşan  $\underline{G}$  matrisi kullanılır. Buna göre (3.14) eşitliğinin çözümü;

$$\hat{x} = (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A} + \underline{G} \underline{G}^T)^{-1} \underline{A}^T \underline{P} \underline{I} \quad (3.16.);$$

$$\underline{Q}_{\hat{x}} = (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A} + \underline{G} \underline{G}^T)^{-1} - \underline{G} \underline{G}^T \quad (3.17.);$$

$$\underline{v} = -(\underline{P}^{-1} - \underline{A} \underline{Q}_{\hat{x}} \underline{A}^T) \underline{P} \underline{I} \quad (3.18.);$$

$$\underline{Q}_v = \underline{P}^{-1} - \underline{A} \underline{Q}_{\hat{x}} \underline{A}^T \quad (3.19.);$$

$$S_0^2 = \frac{\underline{v}^T \underline{P} \underline{v}}{f} \quad (3.20.);$$

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

$$\hat{\sigma}_i = \hat{\sigma}_0 \sqrt{q_{x_i, x_i}} \quad (3.21.);$$

Eşitliği elde edilir. Burada  $q_{x_i, x_i}$  "i" bilinmeyenine ait kofaktörler matrisindeki köşegen elemanıdır. [Demirel H.,1987], [Şerbetci M., 1992-1995]

### 3.3. Seçilen Modele İlişkin Kontrol ve Testler

#### 3.3.1. Uyuşumsuz Ölçü Testi (“t “Tau)

Bu testin genel mantığı uyuşumsuz ölçülerin tespit edilmesidir. Dengeleme öncesi varyans “ $\sigma_0^2$ ” biliniyor kabul edilir. Bu değer yeterli görülüyorsa, test için uyuşumsuz ölçülerin de fonksiyonu olan, dengeleme sonrası varyans “ $\hat{\sigma}_0^2$ ” kullanılabilir. Bu durumda varyans üzerinde global model testi uygulanamaz.

$$\tau_i = \frac{|V_i|}{\hat{\sigma}_{0v_i}} = \frac{|V_i|}{\sigma_0 \sqrt{q_{v_i v_i}}} \approx \tau_{(f)} \quad (3.22.);$$

Tau testi biçiminde ifade edilir.  $\tau_i$  test istatistiği f serbestlik dereceli  $\tau$  (tau) dağılımdadır. t dağıtım tablolarına ulaşabilmek,  $\tau$  dağılımı tablolarına ulaşabilmekten daha kolaydır. Bu nedenle bazı durumlarda tablolar arasında bir dönüşüm gerekli olabilir.

$$\tau_{(f)} = \frac{\sqrt{f} t_{(f-1)}}{\sqrt{f-1+t_{(f-1)}^2}} \quad (3.23.);$$

$$t_{(f-1)} = \sqrt{\frac{(f-1)\tau_{(f)}^2}{f-\tau_{(f)}^2}} \quad (\tau^2 < f \text{ için}) \quad (3.24.);$$

böylece t-dağılımına ilişkin tablolar kullanılabilir.

t testinin sıfır hipotezinde, tüm ölçmelerin  $E(l) = \underline{Ax}$  ümit değeri ile normal dağılımda olduğu kabul edilir. Böylece Gauss-Markoff modelinde en küçük kareler tahminine ait düzeltmelerin ümit değeri,

$$H_0 : E(v_i) = 0 \quad (i=1,2,\dots,n) \text{ olur.} \quad (3.25.);$$

Konvansiyonel alternatif hipotez ise

$H_a$  = Bir düzeltme uyşumsuzdur olarak verilir.

$t$  dağılımının kritik değeri  $c$  olmak üzere, herhangi bir  $t_i$  'nin  $c$  değerinden büyük olma olasılığı,

$$\alpha = P\{\tau_{\max} > c\} = P\{\text{Bir ya da daha fazla } \tau_i \text{'nin } \geq c\}$$

$$= 1 - P\{\text{Tüm } \tau_i \leq c\}$$

$$1 - P\{(\tau_1 \leq c)n(\tau_2 \leq c) \dots (\tau_n \leq c)\}$$

ile tanımlanır.  $t_i$  değerleri korelasyonsuz ve benzer dağılımda kabul edilirse,

$$\alpha = 1 - [P\{\tau_i \leq c\}]^n = 1 - (1 - \alpha_0)^n \quad (3.26.);$$

sonucu elde edilir. Buradan  $t_i$  değerlerinin herhangi birini  $c$ 'den büyük olma olasılığı,

$$\alpha_0 = 1 - (1 - \alpha)^{1/n} \cong \alpha/n \quad (3.27.);$$

olarak bulunur.

Test istatistiği değerlerinden en büyüğü  $\tau_{\max}$  serbestlik derecesi  $f$ , ölçü sayısı  $n$  ve  $\alpha_0$  yanılma olasılığı ile belirlenecek,

$$c = \tau_{1-\alpha_0, f} \quad (3.28.);$$

değerinden büyük ya da bu değere eşit ise ;

$$\tau_{\max} \geq c \quad (3.29.);$$

ise ilgili ölçünün uyumsuz olduğu karar verilir. Bu ölçü dengeleme işleminden atılır veya yeniden ölçülür. Bu işleme uyumsuz ölçü kalmayana dek devam edilir. [Erol S. , 1993], [Demirel H. ,1994], [Başkaya N. 1995], [Caspary W.F., 1987]

### 3.3.2. Global Model Testi (Doğrusal Hipotez Testi)

Global model testi için hipotez olarak, matematiksel modelin, ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkiler ile ölçülerin stokastik özelliklerinin doğru ve eksiksiz olarak tanımladığı ileri sürülür. [Demirel H. ,1987] , [Erol S., 1999],[Aksoy A., ve diğ.,1994]

Dengeleme modeli,

$$\underline{L} + \underline{V} = \underline{Ax} \quad C_{II} = \sigma_0^2 Q_{II} \quad (3.30.);$$

Olduğuna göre  $x$  bilinmeyenleri yada bir bölümü arasında belli koşulların geçerli olup olmadığını test etmek amacıyla

$$\underline{H}_0 : \underline{Bx} = \underline{w} \quad (3.31.);$$

hipotezi öngörülür. Deformasyon analizinde (3.31) sıfır hipotezi değişik peryotlar da gözlenen eşlenik ağ noktalarının koordinatları arasındaki farkların sıfıra eşit olduğunu başka bir deyişle ağın herhangi bir noktasında hareket olmadığı 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.[Demirel H., 1994], [Aksoy A., ve diğ., 1994]

Değişik peryotlarda geometrisi aynı kalan bir konum ağında  $t_1$  ve  $t_2$  zamanlarında yapılan ölçüler  $l_1$  ve  $l_2$  düzeltmeler ve  $v_1$  ,  $v_2$  fonksiyonel modelde katsayılar matrisleri  $A_1$  ve  $A_2$  koordinat bilinmeyenlerinin tahmin değerleri  $x_1$  ve  $x_2$  ile gösterilir ve peryotlara ilişkin bilinmeyenler arasında bir fonksiyonel ilişki olmadığı varsayılırsa dengeleme modeli;

$$\begin{bmatrix} \ell_1 \\ \ell_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{bmatrix} \quad (3.32.);$$

düzeltilme denklemleri ve değişik periyodların ölçüleri arasında korelasyon yoksa;

$$C_{11} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} Q_{11} & 0 \\ 0 & Q_{22} \end{bmatrix} \quad (3.33.);$$

varyans ve kovaryans matrisleri ile tanımlanır.

Her iki periyod arasında anlamlı nokta hareketi olup olmadığını araştırmak için (3.31) doğrusal hipotezi her iki periyod arasında eşlenik nokta koordinatlarının değişmediğini öngören,

$$H_0 : \begin{bmatrix} -I & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E(x_1) \\ E(x_2) \end{bmatrix} = 0 \quad (3.34.);$$

denklemler sistemi biçimindedir.  $B = \begin{bmatrix} -I & I \end{bmatrix}$ ,  $w=0$  modeline göre dengeleme periyodlar için biri birbirinden bağımsız iki dengelemeye ayrılır. Her iki dengelemede aynı yaklaşık koordinatlar kullanılır. Dengeleme sonucu olarak,

$$x_1 = Q_{x_1 x_1} A_1^T P_1 \ell_1, \quad Q_{x_1 x_1} = N_{11}^+ = (A_1^T P_1 A_1)^+ \quad (3.35.);$$

$$x_2 = Q_{x_2 x_2} A_2^T P_2 \ell_2, \quad Q_{x_2 x_2} = N_{22}^+ = (A_2^T P_2 A_2)^+ \quad (3.36.);$$

$$x = N^- A^T P \ell, \quad N = A^T P A \quad (3.37.);$$

$$\Omega = V_1^T P V_1 + V_2^T P V_2, \quad (\text{Koşul: } \sigma_{01}^2 = \sigma_{02}^2 = \sigma_0^2) \quad (3.38.);$$

Her iki dengelemede de aynı  $\sigma_0$  kullanılmalıdır.

$$\Omega = (1 - Ax)^T p (1 - Ax) = V^T P V \quad (3.39.);$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\Omega}{f}, \quad f = n_1 + n_2 - 2u + 2d \quad (3.40.);$$

elde edilir. (3.32), modeli (3.34) doğrusal hipotezi ile birlikte değerlendirildiğinde iki peryod arasındaki koordinat farkları

$$d = x_2 - x_1 \quad (3.41.);$$

ve bunlara ilişkin ağırlık katsayılar matrisi

$$Q_{dd} = Q_{x_1 x_1} + Q_{x_2 x_2} \quad (3.42.);$$

$$R = d^T Q_{dd}^+ d \quad (3.43.);$$

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

$$h = \text{rang}(Q_{x_1 x_1}) = \text{rang}(Q_{x_2 x_2}) = u - d \quad (3.44.);$$

olur. (3.48) doğrusal hipotezini test etmek için test büyüklüğü;

$$T = \frac{R/h}{\Omega/f} = \frac{d^T Q_{dd}^+ d}{\hat{\sigma}_0^2 h} \approx F(h, f, \lambda_H) \quad (3.45.);$$

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

$$P(T > F_{h, f, 1-\alpha}) = \alpha \quad (3.46.);$$

olasılık eşitliği geçerlidir. Uygulamalarda “T” oranı, “1- $\alpha$ ” istatistik güveni için F - dağılımının “h” ve “f” serbestlik derecesine karşılık sınır değerinden daha küçük çıkarsa doğrusal hipotezi reddedilir.

buna göre (3.46.) eşitliğinden;

$T > F_{h,f,1-\alpha}$  çıkarsa ağın herhangi bir yerinde deformasyon olduğu sonucuna varılır.  
[Demirel H. ,1994-1987]

### 3.4. S-Transformasyonu Ve Deformasyon Analizinde Uygulanması

#### 3.4.1. S-Transformasyonu Tanım ve Esaslar

Değişik zamanlarda ölçülen ağların datumları çeşitli nedenlerle farklı olabilmektedir. Örneğin ağ noktalarının koordinatları aynı bir datumda belirlenmiş olmalıdır. S-(Similarty-Benzerlik) transformasyonları yardımıyla değişik periyotlar arasında datum birliği sağlanabilir. Ayrıca bu transformasyon art arda kullanılarak hareketli noktalar saptanabilir.

S-Transformasyonu, yeni bir dengelemeye gerek olmadan bir datumdan başkasına geçme, başka bir deyişle herhangi bir datumda belirlenmiş bilinmeyen parametreleri, örneğin nokta koordinatlarını ve bunların kofaktör matrisini belli bir datuma dönüştürme işlemidir. S-Transformasyonu, tüm ağ noktalarının ya da bir bölümünün (datum noktalarının) küçültülmüş koordinat bilinmeyenlerinin kareleri toplamının minimum olmasını öngören serbest dengeleme ile eş anlamlıdır.  
[Demirel H. , 1987]

Zorlamalı dengeleme bir S-sistemi değildir. Herhangi bir “i” datumundan “j” datumuna geçişi gösteren eşitlikler;

$$\underline{x}_j = \underline{S}_j \underline{x}_i \quad (3.47.);$$

$$\underline{Q}_{xj} = \underline{S}_j \underline{Q}_{xi} \underline{S}_j^T \quad (3.48.);$$

$$\underline{S}_j = \underline{I} - \underline{G}(\underline{R}_j^T \underline{G})^{-1} \underline{R}_j^T \quad (3.49.);$$

GPS Ağları için  $\underline{G}$  matrisi, şeklindedir. Çünkü ağın diğer yönlendirme parametreleri bellidir.

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

$$\underline{R} = \underline{E}\underline{G} \quad (3.51.);$$

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

Buradaki  $\underline{E}$  matrisi, datuma katılacak noktaları gösteren elemanları “1” diğerleri “0” olan köşegen bir matristir.  $\underline{G}$  matrisi de,  $\underline{N}$  matrisinin öz değerlerine karşılık gelen öz vektörlerden oluşan bir matristir. S-Transformasyonu ile herhangi bir datuma geçmek için yalnızca yeni datumu bilmek yeterli olmaktadır. Çok sayıda transformasyonun ard arda uygulanması durumunda sonucunun en son transformasyon olduğu unutulmamalıdır.

$$\underline{S}_i \underline{S}_j \underline{S}_k = \underline{S}_i \quad (3.53.);$$

Yukarıda ki  $\underline{E}$  matrisinin birim matris olması durumunda, yani datum belirlemeye bütün noktalar katılıyorsa, aynı eşitlikteki  $\underline{R}$  matrisi  $\underline{G}$  matrisine eşit olacaktır. Bu durumda  $\underline{R}=\underline{G}$  ile,

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

olur. Buradaki  $\underline{S}$  matrisi simetriktir. Fakat yukarıdaki  $\underline{S}_j$  matrisi simetrik değildir.

$\underline{G}$  matrisindeki datum koşullarının sayısı ve çeşidi yardımıyla datum transformasyonunu kontrol ederek, bu transformasyondaki farklı tipteki ağları, (örneğin GPS ve yersel) karşılaştırmakta mümkündür. Dahası, farklı datum

parametrelerinin etkisi, ek serbest datum parametreleriyle S-Transformasyonu uygulayarak, deformasyon parametrelerinden ayrılabilir. (örneğin; kenar ölçmeleri de yapılmış periyotlar arasında bir serbest ölçek) Böylece datum transformasyonu kavramı, tiplerini, datumlarını ve konfigrasyonlarını gözetmeksizin farklı tipteki ağların esnek bir değerlendirmesine olanak sağlar. [Demirel H. ,1987]

Defekt sayısı kadar parametrenin sabit alındığı serbest ağ dengelemesinde normal denklem katsayıları matrisi düzenlidir. Bu matris, defekt sayısı kadar sıfır elemanlı satır ve sütunla genişletilerek S-transformasyon matrisleriyle tüm iz minumum çözümlerine dönüştürülebilir. Klasik dengelemenin bilinmeyenler vektörü de transformasyondan önce “d” sayıda sabit parametreye karşılık sıfırla genişletilmelidir. Önce klasik dengeleme yapılması ve sonuçların ikinci adımda S-Transformasyonu yardımıyla istenen datuma dönüştürülmesi uygulamada kolaylık sağlar. [Demirel H. ,1987]

### **3.4.2. S-Transformasyonu Yardımıyla Global Test (Doğrusal Hipotez Testi)**

$t_1$  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 bu datuma dönüştürülür.

Anlamlı nokta hareketlerini araştırılmasında da sürekli datum değişikliği zorunlu olduğundan karşılanacak ağları önce herhangi bir datuma, örneğin defekt sayısı kadar parametreyi sabit alarak ayrı ayrı dengelemek ve sonuçları istenen datumlara dönüştürmek kolaylık sağlar.

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

$$x_i = \begin{bmatrix} x_e^i \\ x_b \end{bmatrix} \quad (3,55.);$$

biçiminde alt vektörlere ayrılır. Bu ayırma karşılık ağırlık katsayıları matrisi,

$$Q_{xx}^i = \begin{bmatrix} Q_{ee}^i & Q_{eb}^i \\ Q_{be}^i & Q_{bb}^i \end{bmatrix} \quad (3,56.);$$

olur ve “i” datumundan “j” datumuna

$$\begin{bmatrix} x_e \\ x_b \end{bmatrix}_j = S_j \begin{bmatrix} x_e \\ x_b \end{bmatrix}_i; Q_x^j = \begin{bmatrix} Q_{ee} & Q_{eb} \\ Q_{be} & Q_{bb} \end{bmatrix}_j = S_j Q_x^i S_j^T \quad (3,57.);$$

eşitlikleri ile geçilir.

$$G = \begin{bmatrix} G_e \\ G_b \end{bmatrix} \quad B_j = E_j G = \begin{bmatrix} G_e \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3,58.);$$

$$S_j = I - G(B_j^T G)^{-1} B_j^T \quad (3,59.);$$

$(x_e)_i^T (x_e)_i = \min$  ve  $\text{iz}(Q_{ee}^i) = \min$  özellikleri geçerlidir.

Yukarıdaki eşitlikleri sırasıyla 1. Peryot ve 2. Peryot olmak üzere uygulayarak aynı bir “j” datumunda eşlenik noktaların  $(x_e^j)_1$  ve  $(x_e^j)_2$  koordinat bilinmeyenleri ve bunların kofaktör matrisleri bulunur.

Eşlenik noktaların global testi için (3.55), (3.57) eşleniklerine uygun olarak ,

$$H_0 : E(x_{e1}^j) = E(x_{e2}^j) \quad (3.60.);$$

$$d_e = x_{e2}^j - x_{e1}^j \quad (3.61.);$$

$$(Q_{dd})_e = (Q_{ee}^j)_1 + (Q_{ee}^j)_2 \quad (3.62.);$$

eşitlikleri ile karesel formdaki artım miktarı,

$$R_e = d_e^T (Q_{dd})_e^+ d_e \quad (3.63.);$$

ve  $R_e$  nin serbestlik derecesi  $h_e = u_e - d$  ile

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

test büyüklüğü elde edilir.  $T > F_{h_e, f, 1-\alpha}$  çıkarsa ağın eşlenik noktalardan oluşan bölümünde bir deformasyon olduğuna kara verilir. Obje noktaları sabit kabul edilen dış noktalar bağlanan kontrol ağılarında obje noktaları  $x_b$  alt vektörü içinde düşünülerek bağlantı noktalarının yer değiştirip değiştirmediği yukarıda açıklanan yöntemle açıklığa kavuşturulabilir. [Demirel H. ,1987, 1992]

### 3.4.3. S-Transformasyonu Yardımıyla Anlamlı Nokta Hareketlerinin Tespit Edilmesi

Global test sonucunda ağıın tümünde ya da eşlenik noktalar bölümünün herhangi bir yerine deformasyon olduğuna kara verilmiş ise hareketli noktaların araştırılmasına geçilir. Eşlenik noktalardan her birinin yer değiştirmiş olabileceği düşünülerek “i” datumuna serbest dengeleme ile belirlenmiş bir peryoda ilişkin parametreler vektörünün eşlenik nokta koordinatlarını içeren  $x_e^i$  alt vektörü, hareket ettiği varsayılan bir noktanın koordinatlarını içeren  $x_s^i$  alt vektörlerine ayrılır. Eşlenik olmayan noktalara ilişkin parametreler ve diğer bilinmeyenler  $x_b^i$  vektörü içinde toplandığına göre ağırlık katsayıları matrisi;

$$x^i = \begin{bmatrix} x_s^i \\ x_h^i \\ x_b^i \end{bmatrix}, \quad Q_{xx}^i = \begin{bmatrix} Q_{ss}^i & Q_{sh}^i & Q_{sb}^i \\ Q_{hs}^i & Q_{hh}^i & Q_{hb}^i \\ Q_{bs}^i & Q_{bh}^i & Q_{bb}^i \end{bmatrix} \quad (3.65.), (3.66.);$$

burada s,h,b eşlenik noktaları ifade eder. Her iki peryod için bu işlemler yapılır.

$t_v$  zamanında ölçülen ağ şimdi koordinatları  $x_s$  içinde toplanan ve sabit kabul edilen noktalara göre konumlandırılmalıdır. Bu datum “k” ile gösterilirse yukarıdaki eşitlikte yerine koyarak

$$x_k = S_k \cdot x^i \quad ; \quad Q_{xx}^k = S_k Q_{xx}^i S_k^T \quad (3.67.);$$

$$\begin{bmatrix} x_s^k \\ x_h^k \\ x_b^k \end{bmatrix} = S_k \begin{bmatrix} x_s^i \\ x_h^i \\ x_b^i \end{bmatrix} \quad , \quad \begin{bmatrix} Q_{ss}^k & Q_{sh}^k & Q_{sb}^k \\ Q_{hs}^k & Q_{hh}^k & Q_{hb}^k \\ Q_{bs}^k & Q_{bh}^k & Q_{bb}^k \end{bmatrix} = S_k \begin{bmatrix} Q_{ss}^i & Q_{sh}^i & Q_{sb}^i \\ Q_{hs}^i & Q_{hh}^i & Q_{hb}^i \\ Q_{bs}^i & Q_{bh}^i & Q_{bb}^i \end{bmatrix} S_k^T \quad (3.68.);$$

transformasyonları yapılmalıdır. Sabit kabul edilen noktaların testi için  $H_0$  hipotezi

$$H_0 = E(x_s^k)_1 = E(x_s^k)_2 \quad (3.69.);$$

biçiminde kurulur. (3.61.), (3.63.) eşitliklerine uygun olarak iki peryoda ilişkin  $x_s$  alt vektörlerinin  $d_s$  koordinat farkları;

$$d_s = x_{s1}^k - x_{s1}^i \quad (3.70.);$$

bunların ağırlık katsayıları matrisi

$$(Q_{dd})_s = (Q_{ss}^k)_1 + (Q_{ss}^k)_2 \quad (3.71.);$$

ve düzeltmelerin kareleri toplamı için artım miktarı,

$$R_s = d_s^T (Q_{dd})_s^+ d_s \quad (3.72.);$$

elde edilir. (3.65.), (3.66.) işlemleri  $x_e$  alt vektöründeki noktalardan herbiri için yinelenerek her defasında  $x_s$  ve  $x_h$  ayırımına karşılık bir  $R_s$  değeri bulunur. Global test sonucu ağın herhangi bir yerinde deformasyon olduğuna karar verilmiş ise,

$$(R_s)_{\min} = \min(R_s)_i; i = 1, 2, 3, \dots, p) \quad (3.73.);$$

(“p” eşlenik nokta sayısı)

değerli noktadaki hareket anlamlı görülür. (3.64.) test büyüklüğü  $(R_s)_{\min}$  ve  $h_s = u_s - d$  ile hesaplanır ve eğer,

$$F = \frac{(R_s)_{\min}}{\hat{\sigma}_0^2 h_s} \quad (3.74.);$$

test büyüklüğü  $T > F_{h_s, f, 1-\alpha}$  sınır değerinden büyük çıkıyorsa  $(R_s)_{\min}$  değerli nokta  $x_b$  vektörü içine alınır ve geri kalan eşlenik nokta kümesi için (3.65.),-(3.66.) işlemleri yenilenerek öteki hareketli noktaların araştırılması sürdürülür. [Demirel H.,1987-1992], [Denli H.,1998]

## 4. GPS ÖLÇÜLERİ VE DEFORMASYON ANALİZİ

Herhangi bir periyot için bir kontrol ağında yapılan GPS Ölçmeleri uydu sisteminin tüm karakterini temsil etmelidir. Özellikle deformasyon analizi gibi hassas sonuç beklenen çalışmalarda, değerlendirme sonuçları atmosferden, yörüngeden ve diğer tüm dış etkilere kaynaklanabilecek düzenli hatalardan arındırılmış olmalıdır. Aksi takdirde küçük boyuttaki kontrol ağlarında bile farklı periyot ölçüleri arasında sistematik farklılıklar oluşabilir. Bu farklılıklar dikkat edilmediği takdirde deformasyon olarak yorumlanabilir. GPS ölçülerinin klasik ağlarda olduğu gibi bağımsız bazlar şeklinde kapalı ağ yapısında ölçülmesi, matematik istatistik kontrol düzeneğinin temelini teşkil eder. Aksi takdirde, farklı zamanlarda aynı bazın tekrarlı olarak ölçülmesi matematiksel kontrol için gereklidir. Çok güçlü bir ölçme ekibi ve zorunlu merkezleştirmeli bir ölçme düzeneği ile fiziksel ortamda kontrol şartları yerine getirilirse kapalı şekil oluşturmadan da çözüm yapılabilir. Zorunlu durumlarda bu yol tercih edilebilir. Çok uzun bazlı ağlarda bu karşılaşılabilecek bir durumdur.

Bu çalışmada ilgilenilen problem, lokal deformasyonların GPS yöntemiyle belirlenmesi olduğundan; kısa kenarlı bazların bir jeodezik ağ yapısı içerisinde matematik istatistik yöntemlerle ne şekilde değerlendirileceği konusuna değinilecektir.

### 4.1. GPS Vektörlerinin Dengelenmesi

GPS sonuçlarının, çok sayıda verinin bir dengelemesi sonucu elde edildiği düşünülse bile, kapalı bir şekil oluşturan baz vektörlerinin ölçü olarak alınarak dengelenmesi gerekir. Baz vektörleri, dengelemeye esas olacak şekilde aşağıdaki gibi ifade edilir [Saka M.H.,1997], [Leick A.,1990], [Bock Y., 1985]

$$\Delta X_{ij} + v_{\Delta X_{ij}} = X_j - X_i \quad (4.1)$$

$$\Delta Y_{ij} + v_{\Delta Y_{ij}} = Y_j - Y_i \quad (4.2)$$

$$\Delta Z_{ij} + v_{\Delta Z_{ij}} = Z_j - Z_i \quad (4.3)$$

Yukarıdaki modele ait katsayılar matrisi; her vektör bileşeni için aşağıdaki alt matrise benzer şekildedir ,

$$A = \begin{bmatrix} \dots 1 & 0 & 0 \dots & -1 & 0 & 0 & \dots \\ \dots 0 & 1 & 0 \dots & 0 & -1 & 0 & \dots \\ \dots 0 & 0 & 1 \dots & 0 & 0 & -1 & \dots \end{bmatrix}$$

Bu dengelemede gerekli dış parametre sayısı 3'tür. Öyle ki, ölçülerin vektör bileşenlerinden oluşması, ağırlık ölçü ve yönlendirilmesinin bilinmesi demektir. Yalnızca bir noktanın koordinatlarına ihtiyaç vardır.

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. Bu;  $\underline{G}$ , (3x3)lük alt birim matrislerden oluşmak üzere;

$$\underline{G} = [I \ I \ I \dots I], \quad I = (3 \times 3) \text{ lük birim matris ve}$$

$$\underline{G} \underline{X} = 0 ; \quad (4.4)$$

şartıdır. Yukardaki düzeltme denklemleri matris formunda yazılırsa;

$$\underline{V} = \underline{A} \underline{X} - \underline{L} \quad (4.5)$$

ve çözüm vektörü de ;

$$\underline{X} = (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A} + \underline{G}^T \underline{G})^{-1} \underline{A}^T \underline{P} \underline{L} \quad (4.6)$$

şeklinde elde edilir.

Ölçülere ait ağırlık matrisi genelde ham ölçülerin (faz ve kod ölçüleri) değerlendirme sonucuna ait varyans-kovaryans matrisi esas alınarak oluşturulur. İki alıcıyla ölçme yapılması durumunda; 3x3' lük bir dolu matris ölçülen kenarın ağırlık

matrisini oluşturur ve dengelemeye ait tüm ağırlık matrisi, ölçülen kenar sayısı kadar, köşegen üzerinde 3x3'lük alt matrislerden oluşan simetrik bir matristir. [Saka M.H., 1997]

Burada gerçekleştirilen serbest dengeleme; istatistik olarak GPS sonuçlarının irdelenmesi(uyuşumsuz ölçülerin araştırılması) ve dış doğruluklarının belirlenmesi amacını taşır. GPS verilerinin bu şekilde irdelenmesi, yapılabilecek kaba ölçme hatalarının belirlenmesi (anten yüksekliği ve antenin yönlendirilmesi) için gereklidir. Bu işlem aynı zamanda değerlendirmeden kaynaklanabilecek hatalarıda(faz belirsizliklerinin çözümü gibi) benzer şekilde ortaya çıkarır.

Bunun dışında, farklı zamanlarda gerçekleştirilen ölçmeler, farklı yörünge yolları ile değerlendirilirler. Bu nedenle, ölçmelerin değerlendirilmesinde hesaplanan baz vektörlerinin aynı koordinat sistemine ait olup olmadıkları irdelenmelidir. Olabilecek sistematik farklar, ya vektörlerin birbirlerine göre dönük olması veya bir ölçek farkının bulunması şeklinde karşımıza çıkabilir. Tüm bunların 3 boyutlu dönüşüm yöntemleri kullanılarak test edilmeleri gerekir.

Tüm bu işlemler fiziksel olarak hareket beklenmeyen ağırlık sabit noktalarında gerçekleştirilir. Aynı işlemler, özellikle ölçek faktörü için klasik kontrol ağlarında yapılmaktadır. [Aksoy A., ve diğ., 1994]

Uyşumsuz ölçüler ayıklandıktan ve sistematik hatalar açısından da her bir periyot ölçüleri irdelendikten sonra deformasyon analizi için ön hesaplamalar tamamlanmış demektir. Uyşumsuz ölçülerin, GPS ağlarında analizi ve sistematik hata kaynaklarının testi için bilinen istatistik yöntemler kullanılabilir. Bunların üçlü gruplar şeklinde irdelenmesi de mümkündür. [Saka M.H.,1997].

## 4.2.Peryotlar Arasında Sistemik Farklılıkların Testi

İki ayrı periyottaki ölçüler arasında olabilecek sistemik farklar, benzerlik dönüşümü yöntemleri ile test edilir. Dönüşüm parametrelerinin test edilmesi için dönüşüm işlemi yeterinden fazla eşlenik nokta kümesiyle dengelemeli olarak yapılmalıdır. Bunun içinde, üç boyutlu bir dönüşüm işleminde en azından üç adet eşlenik noktaya ihtiyaç duyulur. Bilinmeyen sayısı 7 olarak ele alındığında serbestlik derecesi 2 olan bir dengeleme demektir. İstatistik analiz için bu yeterli olmayabilir. Bu nedenle ağırlık referans noktalarının sayısı yeterli miktarda olmalıdır. Burada, İki boyutlu dönüşüm probleminde Aksoy 1994b’de, ve üç boyutlu dönüşüm içinde Saka 1997’de verilen ölçek faktörünün test edilmesine ilişkin yöntemin kullanılışı açıklanacaktır.

Şart denklemleri Gauss-Markoff modelinin çözümünde, dönüşüm problemi için sıfır hipotezi aşağıdaki şekildedir.

$$H_0; \underline{B} \underline{x} = \underline{b} \quad (4.7)$$

Dönüşüm parametreleri,  $\underline{b}=0$  sıfır alınması ile, sıfırdan farklı olup olmadıkları test edilir. İki boyutlu dönüşümde;  $\underline{B} = \underline{I}_{(4 \times 4)}$  ,  $\underline{I}$  = birim matris ve  $\underline{x} = [T_x \ T_y \ \Delta \ \omega]^T$  dönüşüm parametreleridir. Üç boyutlu dönüşümde ise,  $\underline{B} = \underline{I}_{(7 \times 7)}$  ve  $\underline{x} = [T_x \ T_y \ T_z \ \Delta \ \varepsilon \ \psi \ \omega]^T$  şeklindedir.

Şart denklemleri Gauss-Markoff modeli ile yalın model arasındaki karesel formların farkı,

$$R = (\underline{B}\underline{x} - \underline{b})^T (\underline{B}^T \underline{Q}_{xx} \underline{B})^{-1} (\underline{B}\underline{x} - \underline{b}) \quad (4.8)$$

şeklindedir [Aksoy A.,1994b]. Böylece;

$$T = \frac{R}{r\sigma_0^2} \quad (4.9)$$

oranı, Fisher dağılımındadır.  $r$  değeri (4.7) eşitliğindeki şart denklemleri sayısına eşittir. Burada, parametreler global olarak tümü birlikte test edilebileceği gibi, genelde tek tek test edilmeleri tercih edilir. Ölçek parametresinin testi, Saka 1997’de aşağıdaki şekilde verilmiştir.  $\underline{Q}_{xx}$  matrisinin ölçek parametresine karşılık gelen terimi, dönüşüm yöntemi ağırlık merkezine ötelenip uygulandığında, üç boyutlu dönüşümlerde

$$Q_{XX}^{-1}(4,4) = \sum_{i=1}^n S_i^2 = \sum_{i=1}^n ((u_i - u_0)^2 + (v_i - v_0)^2 + (w_i - w_0)^2) \quad (4.10)$$

şeklinde olduğu bilinmektedir (LEZMANN 1984, STRANG van HEES 1982). Bu analitik ifadeler (4.8) eşitliğinde yerine konursa;  $r=1$  olmak üzere,

$$T = \frac{\Delta^2 \sum_{i=1}^n S_i^2}{\sigma_0^2} \quad (4.11)$$

test büyüklüğü elde edilir. Buradaki gösterimde,  $\Delta$  ölçek faktörü,  $n$ =eşlenik nokta sayısı ve  $S$  ise eşlenik noktaların ağırlık merkezine olan uzaklıklarını göstermektedir. (4.11) değeri  $r$  ve  $f$  serbestlik dereceleri olmak üzere, Fisher dağılımının fraktil değerleriyle ( $F_{1-\alpha, r, f}$ ) karşılaştırılmalıdır., üç boyutlu dönüşümde,  $f = 3n-7$  dir ve  $\alpha$  risk düzeyi genelde 0.05 alınır (Saka M. H., 1997).

Bu şekilde ağırlık ölçeğinin iki periyot arasında farklı olup olmadığı istatistik olarak belirlenir. Böyle bir farklılık özellikle büyük ölçekli ağlarda önemli miktarlara karşılık gelebilir. Ölçek farklılıklarının değerlendirme hatalarından kaynaklanabileceği gibi kısa süreli ölçme yapılan ağlarda da karşılaşılabılır.



Beş sabit nokta pilye şeklinde, diğer noktalar beton blok içersine yerleştirilen vidalama sistemli olarak kısa jalonetler ile ölçme yapacak şekilde tesis edilmiştir.

Ölçmeler çift frekanslı *Leica system 300* donanımıyla statik ölçme şeklinde yapılmıştır. Kontrol ağında ölçmeler 3 aylık periyotlarda 5 adet alıcıyla yapılmıştır.

Kullanılan GPS donanımı için nominal doğruluk kıstası statik ölçmeler için  $\pm 5\text{ mm} \pm 1\text{ ppm}$  olarak verilmektedir. Donanımın diğer özellikleri ise Tablo 5.1 de özetlenmiştir.

Tablo 5.1. *Leica System 300* GPS Alıcısının Teknik Özellikleri

|                                     |   |                                         |                  |
|-------------------------------------|---|-----------------------------------------|------------------|
| <i>frekans</i>                      | : | Çift frekanslı                          |                  |
| <i>Alıcı kanal sayısı</i>           | : | 9 L1 ve 9 L2 sürekli ölçme              |                  |
| <i>L1 kanalı</i>                    | : | Taşıyıcı fazı, P1 kodu, C/A kodu        |                  |
| <i>L2 kanalı</i>                    | : | Taşıyıcı fazı, P2 kodu                  |                  |
| <i>İlk ölçme için gerekli zaman</i> | : | 60 saniye                               |                  |
| <i>Anten tipi</i>                   | : | Micro strip L1/L2                       |                  |
| <i>Veri tepolama</i>                | : | PCMCIA, Type I SRAM card- external card |                  |
| <i>Çalışmama ortam ısıçaklığı</i>   | : | -20 <sup>0</sup> C; +50 <sup>0</sup> C  |                  |
| <i>Baz ölçme doğruluğu</i>          | : | <u>Ölçme yöntemi</u>                    | <u>Doğruluk</u>  |
| <i>(faz ölçüsü)</i>                 |   | Static                                  | 5 mm + 1 ppm     |
|                                     |   | Rapid Static                            | 5-10 mm + 1 ppm  |
|                                     |   | Repeated                                |                  |
|                                     |   | (Re-occupation)                         | 5-10 mm + 1 ppm  |
|                                     |   | Stop & Go                               | 10-20 mm + 1 ppm |
|                                     |   | Kinematic                               | 10-20 mm + 1 ppm |

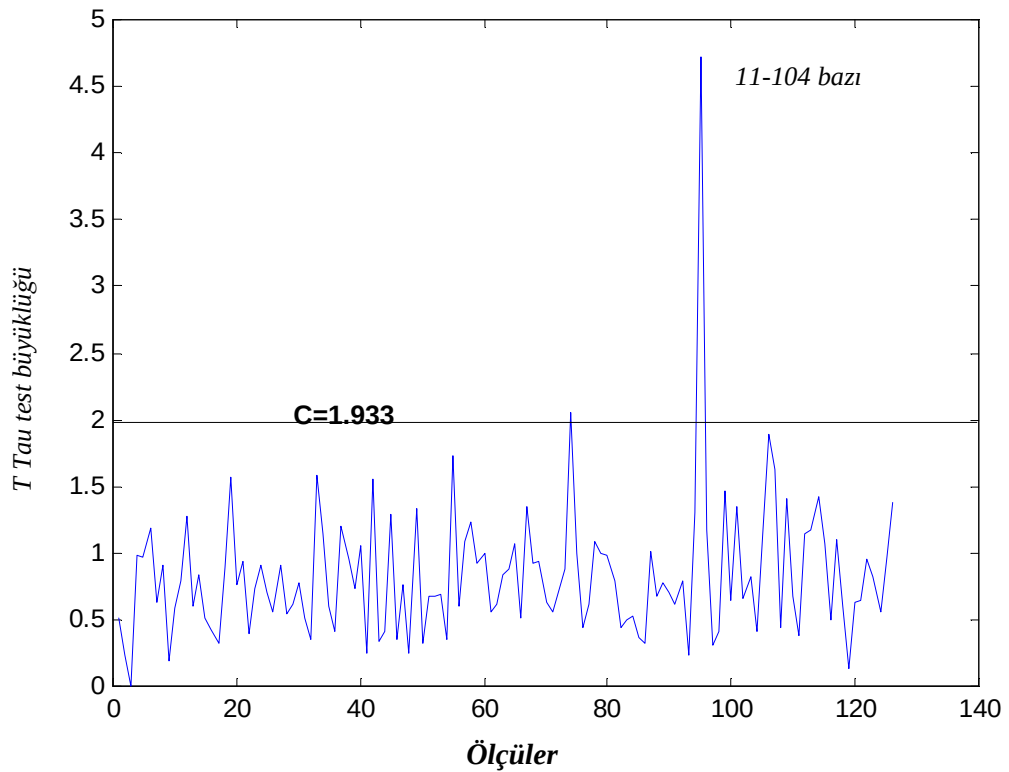
Proje hakkında daha fazla bilgi, (Kalkan Y. ve diğ. 2001a, 2001b) verilmiştir.

## 5.2. GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi

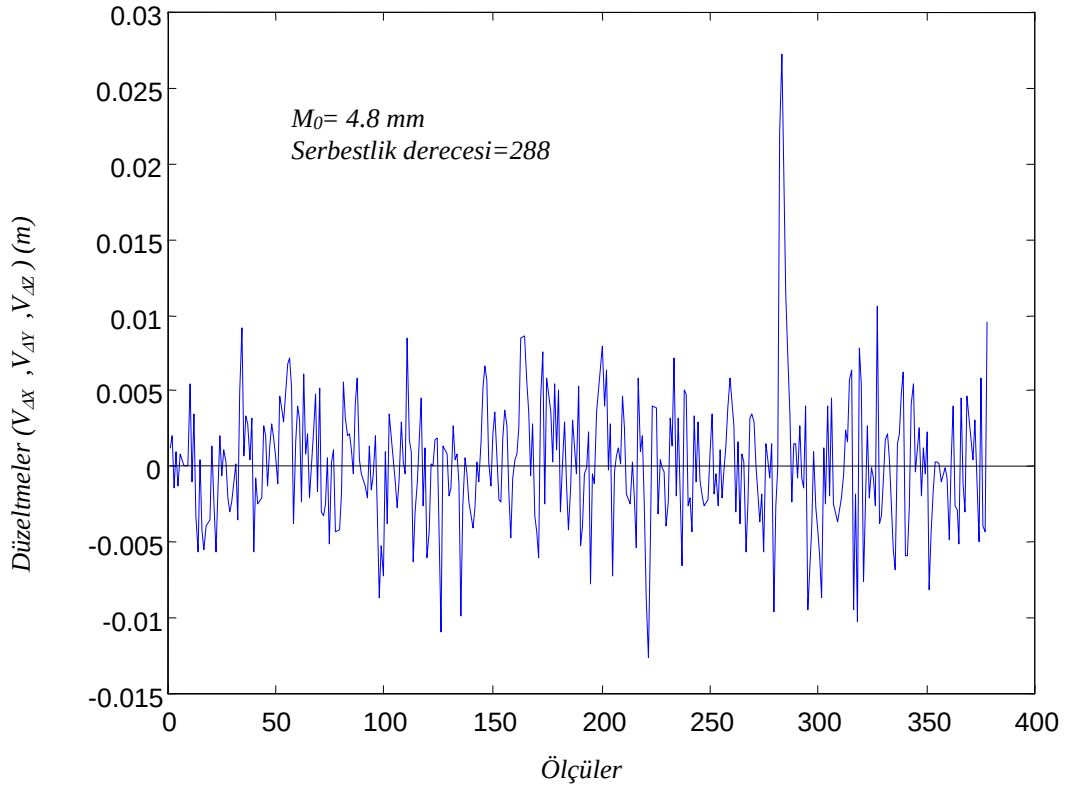
Veriler (faz ve kod ölçüleri) Leica firmasının Ski yazılımı ile değerlendirilmiştir. Değerlendirmede hassas yörünge bilgileri kullanılmıştır. Değerlendirme sonucunda baz vektörleri ve bunlara ilişkin varyans kovaryans matrisleri elde edilmiştir .

### 5.2.1. Baz vektörlerinin değerlendirilmesi ve Uyuşumsuz Bazların Analizi

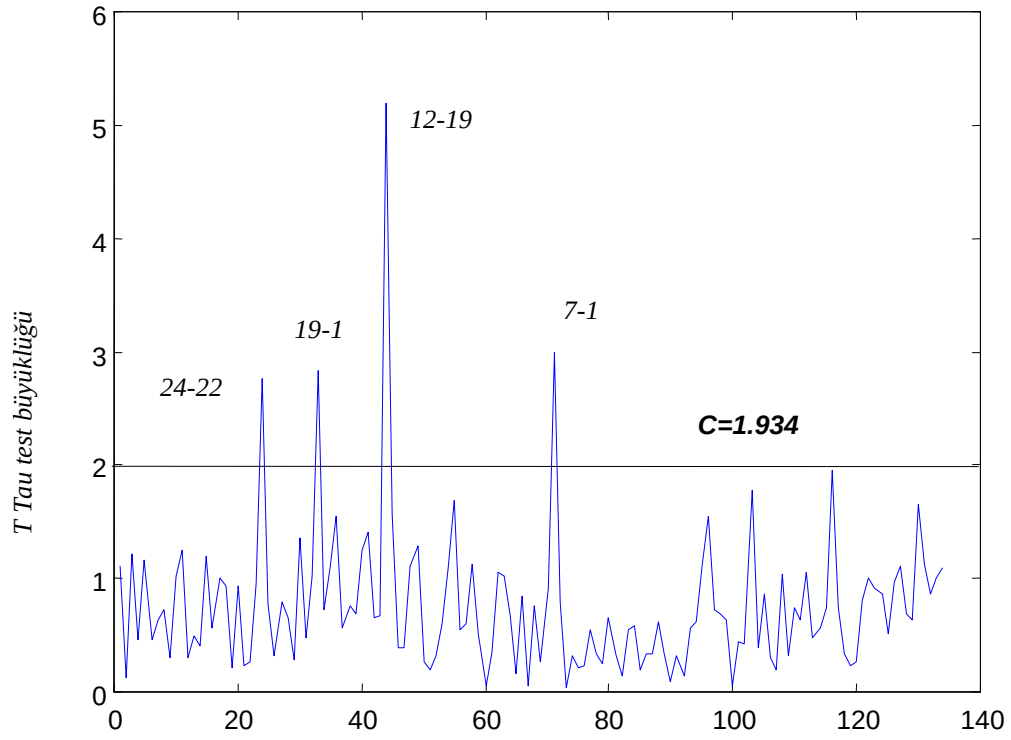
Bu çalışmada ilk ve son periyot ölçüleri kullanılmıştır. Kontrol ağında birinci periyotta toplam 126 bağımsız baz altıncı periyotta ise 134 bağımsız baz ölçülmüştür. Her bir periyot için Ski baz çözüm sonuçları, uyuşumsuz bazların belirlenmesi için GPSVEK (Saka 1997) yazılımı ile ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Birinci periyotta 1 adet uyuşumsuz baz, ikinci periyotta ise 6 adet uyuşumsuz baz atılmıştır. (Şekil 5.2, 5.3, 5.4, 5.5)



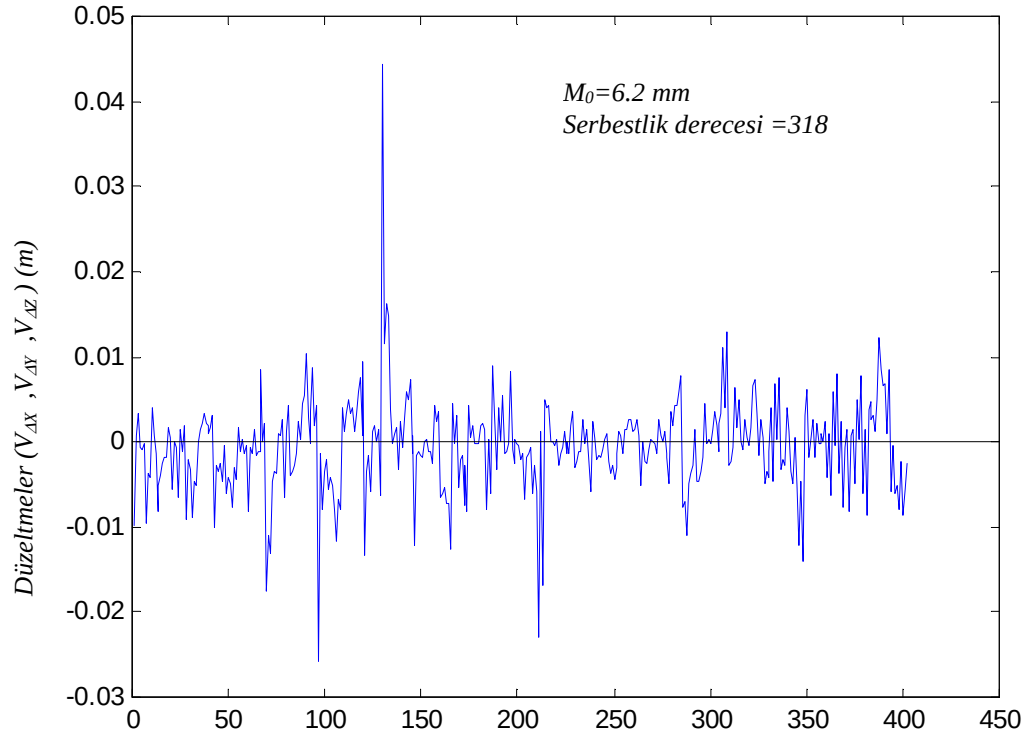
Şekil 5.2. Birinci Periyot Ölçüleri İçin Uyuşumsuz Ölçü Testi ( $C_{1-\frac{0.95}{126}, 3, 288} = 1.934$ )



Şekil 5.3. Birinci Periyot Ölçüleri İçin Dengeleme Sonuçları (Düzeltilmeler)



Şekil 5.4. İkinci Periyot Ölçüleri İçin Uyuşumsuz Ölçü Testi ( $C_{1-\frac{0.95}{134}, 3, 312} = 1.934$ )



Şekil 5.5. İkinci Periyot Ölçüleri İçin Dengeleme Sonuçları(Düzeltilmeler)

6 nolu noktaya tek baz ölçüsü olduğu gözlenmiş ve bu nokta ağ geometrisi dışında bırakılmıştır. Bunun dışında 50 cm civarında yer değiştirmiş olan 24 nolu noktada ağın dışında tutulmuş ve geri kalan 26 nokta ve her iki periyot için 122 şer baz ölçüsüyle ağ yeniden dengelenmiştir. Aynı yaklaşık koordinatlar ve aynı apriori varyans değerleri ile yapılan her iki periyot ölçüsünün dengelenmesi ile deformasyon analizi için ön değerlendirme tamamlanmıştır.



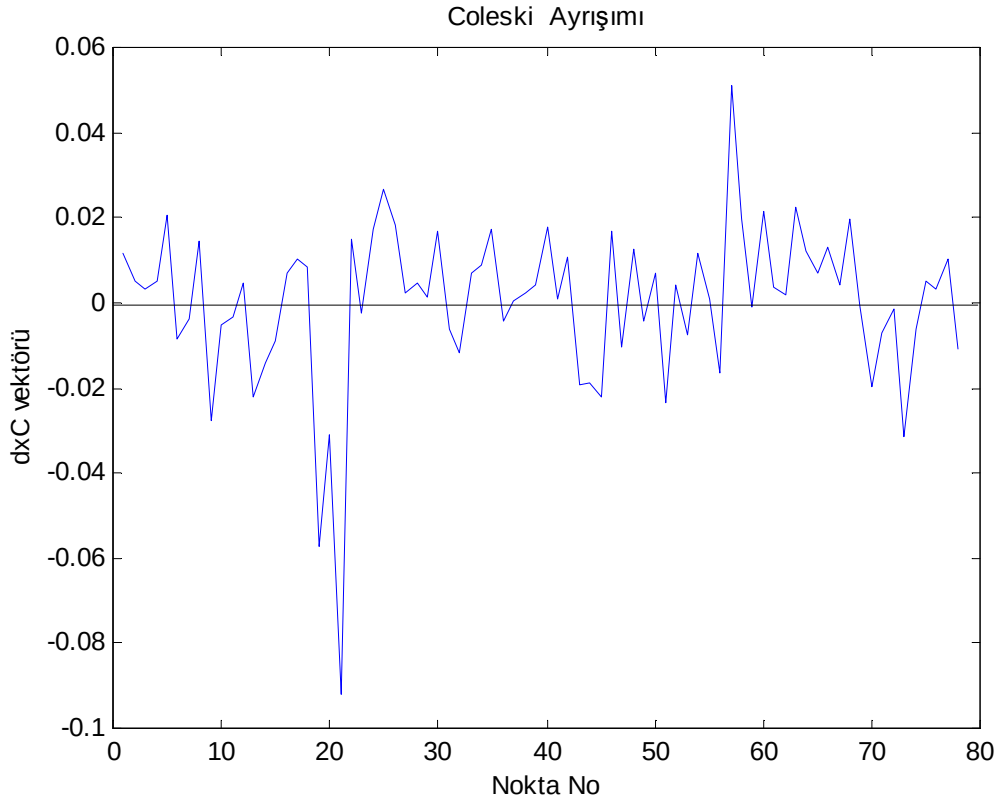
## 5.4. Periyotlar Arasında Global Test

Her iki periyoda ilişkin eşlenik nokta koordinatlarındaki farklar test edilmiştir (Eşitlik 3.45, 3.46). Test sonucunda eşlenik noktalar kümesi içerisinde deformasyon olduğu hipotezi kabul edilmiştir. (3.45) test büyüklüğü;  $T=20.9756$  çıkmıştır. Buna karşılık Fisher dağılımı tablo değeri  $F_{78,582;0.95}=1.3026$  dir.

$T>F$  ile ağın herhangi bir kesiminde deformasyon olduğuna karar verilmiştir.

## 5.5. R Değerinin Cholesky Ayırışımı

(3.45) eşitliğinde  $Q_{dd}$  değeri Cholesky ayırışımına tabi tutulmuş ve her bir noktanın R değerine katkısı gözlenmiştir. (Şekil 5.6) Burada  $Q_{dd}$  'nin düzgün bir matris olmaması nedeniyle bu ayırışımın fiziki olarak sabit noktalardan birine(103) dayalı dengelenmesi suretiyle yapılmıştır.



Şekil 5.6 R karesel formunun Cholesky ayırışımı

## 5.6. S-Transformasyonu ile Hareketli noktaların Analizi

Cholesky ayrışımıyla noktalardan R değerine en büyük katkıda bulunanlar dışarıda bırakılmıştır. Bunlar şekil 5.6' dan gözlenebilir. Bundan sonra diğer noktaların artarda test edilmesi sonucu 9, 14, 16, 17, 20, 25, 102, 103, 104 nolu noktaların hareket etmediği bunların sabit kabul edilebileceği gözlenmiştir.

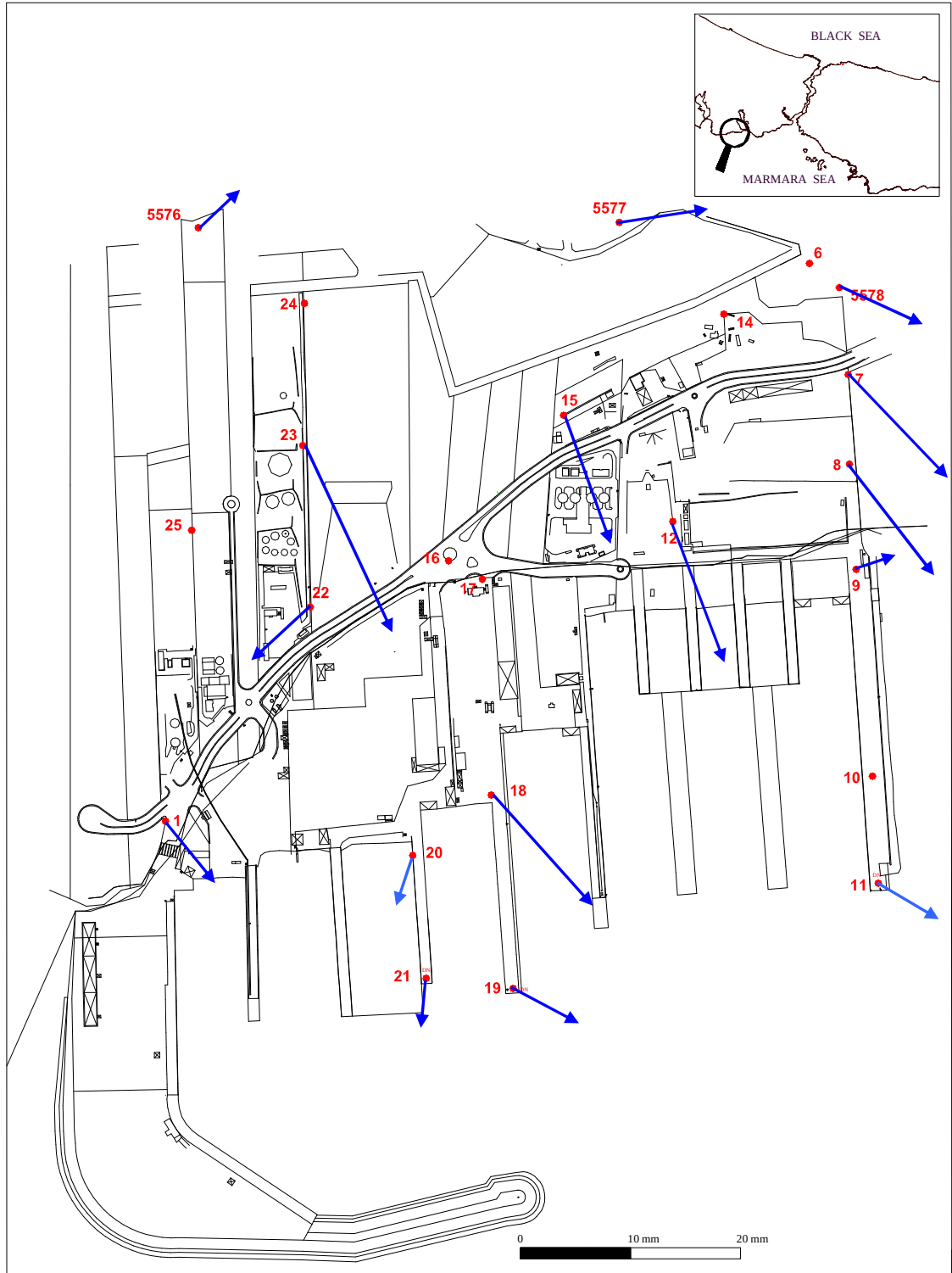
Test büyüklüğü  $T=1.5453$ ; elde edilirken ,buna karşılık F tablo değeri 1.540 elde edilmiştir.

Bu şekilde, bu noktalara göre ağ S-Transformasyonu uygulanarak ağın datumu bu noktalara dayandırılmıştır. Diğer noktalardaki anlamlı hareketler elde edilmiştir. (Şekil 5.7)

Fiziki olarak hareketsiz öngörülen bölgedeki noktalardan, 101 ve 105 numaralı noktaları da hareketli noktalar olarak tespit edilmiştir.

X,Y,Z, yermerkezli koordinatlar ve bunların varyans-kovaryans matrisleri ile gerçekleştirilen bu analizde, sonuçların yorumlanabilmesi için koordinat farkları lokal jeodezik sisteme dönüştürülmüş Şekil 5.7' de gösterilmiştir.

Hareket vektörleri özellikle yönleri açısından beklenen doğrultularda gözlenmiştir. Özellikle 22, 23, 15, 12, 8, 7 gibi yamaç üzerindeki noktalarda büyük, iskele üzerindeki noktalarda ise bunlara kıyasla küçüktür. Bu da bölgenin jeolojik durumu ve liman inşaatının özellikleri dikkate alındığında beklenen bir durum olarak gözlenmiştir.



Şekil 5.7. Ambarlı Limanı Yerleşim Planı ve Deformasyon Vektörleri

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Lokal olarak heyelanların ve yapılardaki deformasyonların izlenmesi kapsamında düşünülen bu tez çalışmasında, elde edilen sonuçlar GPS yönteminin uygulanabilirliğini göstermiştir.

Büyük ölçekli çalışmalarda oldukça etkin olan GPS yöntemi, lokal alanlarda kurulacak kontrol ağlarıyla deformasyonların belirlenmesinde de oldukça etkilidir.

Bu çalışmanın ölçme periyotlarının gerçekleştirildiği mevsim şartları göz önüne alındığında; GPS ölçmelerinin hava şartlarından bağımsız olması nedeniyle klasik yersel ölçme yöntemleriyle kıyaslanamayacak kadar avantajlara sahip olduğu söylenebilir.

Bu çalışma çerçevesinde kullanılan klasik deformasyon analiz yöntemlerinin (S-Transformasyonu) GPS yöntemine de uygulanabileceği görülmüştür. Klasik ağlarda olduğu gibi ağın şekli ve ölçülerin dağılımının birinci dereceden önemli olduğu gözlenmiştir.

Çok sayıda baz ölçülmesine karşın ağın bazı kesimlerinin ölçü yoğunluğu açısından zayıf kaldığı gözlenmiştir. Bu durum ağda ölçü planlamasının iyi yapılmadığını göstermektedir. GPS Ağlarının optimizasyonu konusunun deformasyon amaçlı kontrol ağlarında incelenmesi bu çalışmanın devamı olarak ele alınabilir. Ayrıca düşey deformasyonların nivelman ölçüleri ile desteklenmesi ve nivelman ölçülerinin GPS baz vektörleriyle aynı model içerisinde ele alınıp değerlendirilmeleri lokal çalışmalarda mümkündür. Bu konuyla ilgili stoklastik model belirleme üzerine çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **AKDOĞAN, N.**, Deformasyon Analizinde Kullanılan değerlendirme Yöntemleri, HKMO Dergisi, Sayı:85-86, Temmuz-1999.
- [2] **AKSOY, A.**, Jeodezik Ölçülerin İrdelenmesi, İTÜ, Kitap, İstanbul, 1974.
- [3] **AKSOY A. , AYAN T. ,DENİZ R. ,YALIN D. ,KARASU C. , ÖZŞAMLI C. ,ÇELİK R.N. , SAKA H. ,ÖZLÜDEMİR T. , HIRSCH O. ,ETTLER M. ,STEFFEN S. ,BAUTSCH P. ,FRANKE P. ,**Beritch Über Das Projekt Geodatische Überwachungsmessungen, İTÜ, İstanbul, 1994a
- [4] **AKSOY A. , AYAN T. ,DENİZ R. ,YALIN D. ,KARASU C. , ÖZŞAMLI C. ,ÇELİK R.N. , SAKA H. ,ÖZLÜDEMİR T. ,BAŞKAYA B. , SEEGER H. ,FRANKE P. ,ALTINER Y. ,** Kuzey Anadolu Fay Kuşağı Taşkesti Kesiminde Yerkabuğu Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi Çalışmaları ,İTÜ, Teknik Rapor, İstanbul, 1994b
- [5] **AKSOY A. , DENİZ R. ,YALIN D. ,ÇELİK R.N. , ALANKO G. ,SAKA H. ,DENLİ H. , -SEEGER H. ,WITTE B. ,FRANKE P. ,ALTINER Y. ,LANG H. ,PETRY M. ,** Geodatisch-Geophysikalische Untersuchungen Im Seismoaktiven Bereich Der Nordanatolischen Verwerfungszone ,İTÜ, İstanbul, 1994c
- [6] **AYDIN, Ö.**, Hassas Yükseklik Ölçmeleri, YTÜ, Kitap, İstanbul, 1995.
- [7] **AYDIN, Ö.**, Yükseklik Ölçmeleri, YTÜ, Kitap, İstanbul, 1995.
- [8] **BALDI P., UNGUENDOLI M.,** Geodetic Networks For Crustal Movements Studies, Universty Of Bologna, Italy, 1987
- [9] **BARIŞKANER, A.**, Beton Barajlarda Deformasyon Ölçümleri, D.M.M.A., Doçentlik Çalışması, Konya, 1976.
- [10] **BARIŞKANER, A.**, Mühendislik Ölçmeleri, Selçuk Ün. Müh. Mim. Fak. Jeodezi ve Fotog. Müh. Bölümü, Kitap, Konya, 1988.
- [11] **BAŞKAYA, B.**, S-Transformasyonu ve Yatay Kaontrol Ağlarında Deformasyon Analizi, İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1995.
- [12] **BOCK, Y.**, "Establishment of Three-Dimensional Geodetic Control by Interferometry with the Global Positioning System", Journal of Geophysical Research, Vol. 90, No.B9, pp.7689-7703,Agust 10, 1985
- [13] **CASPARY W.F.**, Concepts Of Network And Deformation Analysis, Scholl Of Surveying, The University Of New South Wales Kensington, N.S.W., Australia,1987
- [14] **DEMİREL, H.**, Deformasyon Ölçü Analizi Yüksek Lisans Ders Notları, YTÜ, İstanbul, 1994.

- [15] **DEMİREL, H.**, S-Transformasyonu ve Deformasyon Analizi, Türkiye I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 23-27 Şubat, Ankara, 1987.
- [16] **DEMİRKESEN, A.**, S-Transformasyonu ile Yer Kabuğu Hareketlerinin Tespiti, YTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [17] **DENLİ, H.**, GPS İle Marmara Bölgesindeki Yer Kabuğu Hareketlerinin Belirlenmesi, İTÜ, Doktora Tezi, İstanbul, 1998
- [18] **ERDOĞAN, H.**, Yapı Çevresinde Deformasyon Ölçmeleri ve Bir Model Üzerinde Uygulaması, YTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1998.
- [19] **EROL, S.**, Karasu Viyadüğünde GPS ile Deformasyon Analizi, İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1999.
- [20] **ERGUVANLI, K., KETİN, İ.**, Umumi Jeoloji, Kütle Hareketleri ve Heyelanlar, I. Kısım, İTÜ Kütüphanesi, Sayı:360, Syf.:745, 1967
- [21] **HOŞBAŞ, G.**, Baraj Deformasyonlarının Belirlenmesinde Jeodezik Yaklaşımların İredelenmesi ve Bir Öneri, Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul, 1992.
- [22] **KALKAN Y., BAYKAL O., ALKAN R.M., YANALAK M., TARI E.**, Altaş Ambarlı Liman Tesisleri Sahasında Jeodezik ve Geoteknik Yöntemlerle Heyelan İzleme Çalışmaları, İTÜ, Teknik Rapor, İstanbul, 2001-A, 2001-B,
- [23] **KINIK, İ., KOCAİLİK, U., BARKA, A.**, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Sırasında Oluşan Yatay Yerdeğiştirmelerin GPS Ölçümleri İle Hesaplanması, HGK Dergisi, Sayı:111, Temmuz-1993.
- [24] **LEİCK, A.**, " GPS Satellite Surveying", John Wiley and son ,New York, 1990,
- [25] **LENZMANN, L.**, "Zur Aufdeckung von AusraiBern bei überbestimmten koordinatan transformationen", zfv Heft 9, 1984
- [26] **MEKİK, Ç., (NIEMEIER W.)**, Yerel Deformasyon Çalışmalarında GPS Potansiyeli, HKMO Dergisi, çeviri, Sayı: 87, Şubat-2001.
- [27] **ÖZHAN, N.N.**, Deformasyon Ölçme Yöntemleri ve İstanbul Metrosunda Yapılan Deformasyon Ölçmeleri, YTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1994.
- [28] **SAKA, H.**, GPS İle Nirengi Ağı Sıklaştırılmasında Uygun Yöntemin Araştırılması, İTÜ Doktora Tezi, İstanbul, 1997
- [29] **STRANG van HEES, G., L.**, " Variance-Covariance Transformations of Geodetic Networks", Manuscripta Geodaetica, Vol. 17:210-214, 1982
- [30] **ŞERBETÇİ, M.**, Dengeleme Hesabı III, KTÜ, Kitap, Trabzon, 1992.
- [31] **ŞERBETÇİ, M.**, Dengeleme Hesabı II, KTÜ, Kitap, Trabzon, 1995.
- [32] **TÜDEŞ, T.**, Yer Fotogrametrisi, KTÜ, Kitap, Trabzon, 1996.
- [33] **UZEL, T.**, Barajların Güvenliği, YTÜ, Kitap, İstanbul, 1991.

## ÖZGEÇMİŞ

1976 Yılında Erzincan'da doğdu. Orta ve Lise öğrenimini Erzincan'da tamamladı. Üniversite lisans eğitimini 1994-1998 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünde tamamladı. 1998 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde Yüksek Lisans eğitime başladı. 1999 Yılında aynı bölümde Araştırma Görevlisi oldu. 2001 Yılında Atatürk Üniversitesi Erzincan Meslek Yüksek Okulu Harita ve Kadastro bölümde Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. Halen bu görevini sürdürmektedir.