



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YATAY YÖNDEKİ DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİNDE BAĞIL GÜVEN ELİPSLERİ VE CHOLESKY ÇARPANLARINA AYIRMA YÖNTEMİNİN KULLANILABİLİRLİĞİ

Sercan BÜLBÜL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalını

OCAK-2013
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YATAY YÖNDEKİ DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİNDE BAĞIL GÜVEN ELİPSLERİ VE CHOLESKY ÇARPANLARINA AYIRMA YÖNTEMİNİN KULLANILABİLİRLİĞİ

Sercan BÜLBÜL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cevat İNAL

2013, 101 Sayfa

Jüri
Danışmanın Prof. Dr. Cevat İNAL
Prof. Dr. Hükmü ORHAN
Doç. Dr. Ayhan CEYLAN

Jeodezinin önemli görevlerinden biri yer kabuğunda ve yapılarda meydana gelen deformasyonları araştırmaktır. Özellikle mühendislik yapılarında gerek inşaat sırasında gerekse inşaat sonrasında kontrol ölçmeleri yapılır. Yapılan ölçüler değerlendirilir ve bir tehlike oluşup oluşmadığı araştırılır.

Ölçülerin değerlendirilmesinde farklı analiz yöntemleri kullanılır. Bu çalışmada da yatay yöndeki deformasyonların belirlenmesinde kullanılan statik değerlendirme yöntemlerinden Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemi ve bağıl güven elipsleri yöntemi teorik olarak incelinmiş, Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemi için MATLAB 7.6.0 release 13.0 M-File 'da bir program hazırlanmıştır. Ermenek barajında yapılan iki periyot ölçü kullanılarak, bu yöntemlerle ayrı ayrı değerlendirilmiş, deformasyon araştırması yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda her iki yöntemde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bağıl güven elipsleri, Cholesky çarpanlarına ayırma, Deformasyon, Deformasyon analizi, Deformasyon modeli, MATLAB

ABSTRACT

MS THESIS

USABILITY OF THE RELATIVE CONFIDENCE ELIPSES AND CHOLESKY FACTORIZATION METHOD IN THE DETERMINATION OF HORIZONTAL DEFORMATIONS

Sercan BÜLBÜL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELCUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER,
GEOMATICS ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Cevat INAL

2013, 101 Pages

Jury
Advisor Prof. Dr. Cevat İNAL
Prof. Dr. Hükmü ORHAN
Doç. Dr. Ayhan CEYLAN

One of the important tasks of geodesy is to investigate the deformations that occur in the earth's crust and structures. Control measurements are made especially in engineering structures both during and after construction. The measurements are evaluated for investigating whether there is a threat or not.

In the evaluation of measurements, different methods of analysis are used. In this study Cholesky factorization method and the relative confidence ellipses method , which are the static evaluation methods used in the determination of deformations in the horizontal direction are theoretically examined and for the Cholesky factorization method a program was prepared in MATLAB 7.6.0 release 13.0 M-File. In Ermenek Dam are two-period measure used, and it was reviewed by these methods separately and also deformation was conducted. At the end of the study the obtained results were compared. As a result of the comparison, similar results were obtained in both methods.

Keywords: Relative confidence ellipses, Cholesky factorization, Deformation, Deformation analysis, Deformation model, MATLAB

TEŞEKKÜRLER

Bu tezin hazırlanması sırasında her türlü bilimsel tecrübelerinin aktaran, yol gösteren, maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam **Prof. Dr. Cevat İnal**'a, çalışmalarım boyunca bana yardımcı olan, MATLAB kodlarının yazılamasında her türlü desteğini sağlayan saygı değer hocam **Yrd. Doç. Dr. Cemal Özer YİĞİT**'e ve tez boyunca yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen hocalarım ve bütün mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca maddi ve manevi olarak her zaman yanımda olan çok sevdiğim annem **Sevilay BÜLBÜL**, babam **Ali Kemal BÜLBÜL** ve ablam **Selin KALAYCI**'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim. Çalışmalarım boyunca çevirileri ve sıcak dostluğuyla her zaman yanımda olan sevgili arkadaşım **Nergiz ÇOLAK**'a da çok teşekkür ederim.

Sercan BÜLBÜL
KONYA-2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

TEŞEKKÜRLER ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. DEFORMASYON ÖLÇMELERİ **3**

2.1. Deformasyon Ölçme Yöntemleri 4
2.2. Deformasyon Ölçmelerinin Uygulama Alanları 4
2.3. Deformasyon Ölçmelerinin Amacı 5
2.4. Deformasyonların Nedenleri 5

3. JEODEZİK AĞLARIN DENGELENMESİ **6**

3.1. Fonksiyonel Modelin Oluşturulması 6
3.2. Düzeltme Denklemleri 7
3.3. Stokastik Modelin Oluşturulması 8
3.4. Serbest Ağ Dengelemesi 9
3.4.1. Tüm iz minimum yöntemiyle serbest dengeleme 9
3.4.2. Kısmi iz minimum yöntemiyle serbest dengeleme 11
3.5. Model Hipotezinin Testi 12
3.5.1. Fonksiyonel modelin test edilmesi 12
3.5.2. Stokastik modelin test edilmesi 14

4.UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN BELİRLENMESİ **16**

4.1. Klasik Uyuşumsuz Ölçü Testleri 16
4.1.1. Baarda'nın B-testi 16
4.1.2. Pope testi 18
4.1.3. t-testi 19
4.2. Robust Kestirim 19

5. JEODEZİK AĞLARDA DUYARLIK VE GÜVENİLİRLİK ÖLÇÜTLERİ **23**

5.1. Jedeozik Ağlarda Duyarlık Ölçütleri 23
5.1.1. Lokal duyarlık ölçütleri 23
5.1.2. Bağıl duyarlık ölçütleri 26
5.1.3. Global duyarlık ölçütleri 28
5.2 Jeodezik Ağlarda Güven Ölçütleri 29
5.2.1. Global güvenilirlik ölçütü 30

6. DEFORMASYON ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 36

6.1. Deformasyon Modelleri 36
6.1.1. Dinamik model 36
6.1.2. Kinematik model 37
6.1.3. Statik model 38
6.2. Deformasyon Modellerinin Karşılaştırılması 38
6.3. Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi ile Deformasyon Analizi 38
6.3.1. Sabit noktalara göre deformasyon analizi 39
6.3.2. Obje noktalarına göre deformasyon analizi 41
6.4. Bağıl Güven Elipsleri Yöntemi ile Deformasyon Analizi 44
6.4.1. Sabit noktaların deformasyon analizi 45
6.4.2. Obje noktalarının deformasyon analizi 47

7. UYGULAMA 52

7.1. Uygulama Alanının Tanıtılması 54
7.2. Deformasyon Ölçülerinin Değerlendirilmesi 55
7.3. Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi ile Deformasyon Analizi 56
7.4. Bağıl Güven Elipsleri Yöntemi ile Deformasyon Analizi 57
7.5. Programın Tanıtılması 59

8. SONUÇLAR 68

10. KAYNAKLAR 70

10. EKLER 75

Ek.1 Hazırlanan Programın Kodları 75

ÖZGEÇMİŞ 101

KISALTMALAR

ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
MTA	:Maden Tetkik ve Arama
EKKY	: En Küçük Kareler Yöntemi
GPS	:Global Positioning System(Global Konum Belirleme Sistemi)
cm	:Santimetre
mm	:Milimetre
km	:Kilometre

1. GİRİŞ

Jeodezinin önemli görevlerinden biri de yerkabuğunda ve yapılarda meydana gelen deformasyonları belirlemek ve sonuçları analiz etmektir. Deformasyonların belirlenmesinde jeodezik ve fiziksel ölçme yöntemleri kullanılır. Jeodezik yöntemlerle mutlak deformasyonlar, fiziksel yöntemlerle bağıl deformasyonlar belirlenir ve sonuçlar yorumlanır.

Kaynaklara göre ilk jeodezik deformasyon ölçüleri 1860 yılında ABD (Amerika Birleşik Devletler)'de Kaliforniya'da San Andreas fay kuşağında yapılmıştır. 1876 ve 1906 yıllarında yatay açı gözlemleri yenilenmiştir. 1908 yılında Almanya'da Thuringen'de Gothaer barajının kretindeki iki noktanın yatay hareketleri aliyman yöntemi ile izlenmiştir. 1921 yılında İsviçre'de Montalvens barajında W. Lang tarafından baraj gövdesine yerleştirilen noktaların konumları önden kestirme ile belirlenmiştir. 1928'de yine İsviçre'de bir kemer baraj olan Pfafensprung'da deformasyon belirleme çalışmaları yapılmıştır.

İsviçre'de yapılan çalışmalarda dengelenmiş sonuçlara göre karşılaştırma ve yorumlama yapılması gereği ortaya konmuştur. 1928 yılında San Francisco barajının çökmesi ve 436 kişinin ölümü sonucu jeodezik kontrol ağlarının kullanımı büyük önem kazanmıştır. Aynı yıllarda Avrupa Ülkelerinde çeşitli araştırmalar yapılmış bu arada İtalya'da deformasyon araştırmaları için normlar belirlenmiş ve yayınlanmıştır (İnal, 2010; Anonymous, 2013).

1960'lı yıllara kadar jeodezik deformasyon ölçmeleri alanında ana hedef hesapların kolaylaştırılması olmuş, gelişen ölçme aletleri teknolojisi, matematik, istatistik bilimi ve bilgisayarların gelişimine paralel olarak modern analiz ve hesaplama teknikleri gelişmiştir.

Ülkemizde deformasyon ölçüleri 1960 yılında Sarıyar barajında başlamıştır. Ancak değerlendirmenin nasıl yapılacağı bilinmediğinden daha sonraki periyotlarda ölçü yapılmamıştır. Sonraki yıllarda ülkemizin değişik bölgelerinde MTA (Maden Tetkik Arama) tarafından oluşturulan jeodezik ağlarda, Kuzey Anadolu fay hattında, bazı barajlarda deformasyon ölçmeleri yapılmıştır. Ayrıca üniversitelerin ve diğer kurumların araştırma amacıyla yaptığı pek çok çalışmada bulunmaktadır (İnal,2010).

Değişik alanlarda yapılan deformasyon ölçüleri farklı yöntemlerle analiz edilmektedir. Analizlerde genellikle Ortalama Aykırılıklar Yöntemi (θ^2 Ölçütü), Bağıl

Güven Elipsleri Yöntemi, Mierlo Yöntemi, Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi ve S Transformasyonu ile deformasyon analizi yöntemleri kullanılmaktadır.

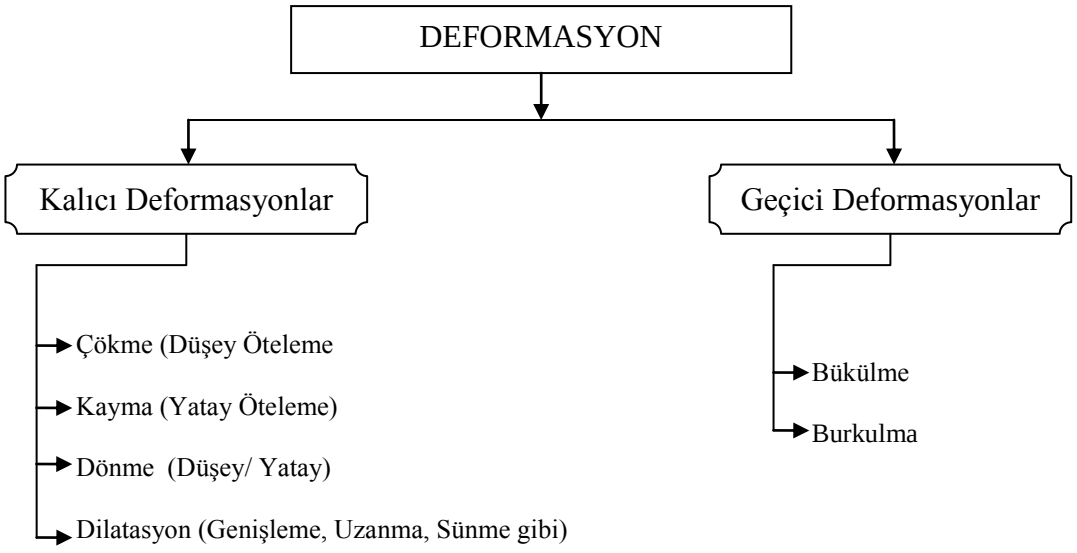
Bu çalışmada Cholesky Çarpanlarına Ayırma ve Bağıl Güven Elipsleri yöntemleriyle yatay hareketlerin belirlenmesi teorik ve uygulamalı olarak araştırılmıştır. Her iki yöntemin ortak özelliği hareket belirlemesini yapabilmek için ağın sabit ve hareketli noktalarının başlangıçta bilinmesine gerek olmasıdır.

Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemiyle Analiz için MATLAB 7.6.0 release 13.0 M-File ile program hazırlanmıştır. Ermenek barajında yapılan iki periyot ölçü her iki yöntemle ayrı ayrı değerlendirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemle yapılan analizde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

2. DEFORMASYON ÖLÇMELERİ

Jeodezik deformasyon ölçmeleri ve ölçülerin değerlendirilmesi konusu mühendislik ölçmelerinin en önemli uygulama alanlarında biridir. Tektonik ve volkanik hareketler ile büyük mühendislik yapılarında, maden galerilerinde, tünellerde ya da bunların yakın çevrelerinde oluşan yatay ve düşey doğrultudaki konum değişimleri **"deformasyon"** olarak adlandırılır (Atasoy ve Öztürk, 2005). Bu değişimlerin belirlenmesi için yapılan ölçmelere **"Deformasyon Ölçmeleri"**, bu ölçümlerin değerlendirilip, yorumlanması işlemine de **"Deformasyon Ölçülerinin Analizi"** denilmektedir.

Deformasyonlar, şekil değişimlerinin yapısına ve cinsine göre kalıcı ve elastiki olmak üzere ikiye ayrılırlar (Şekil 2.1.).

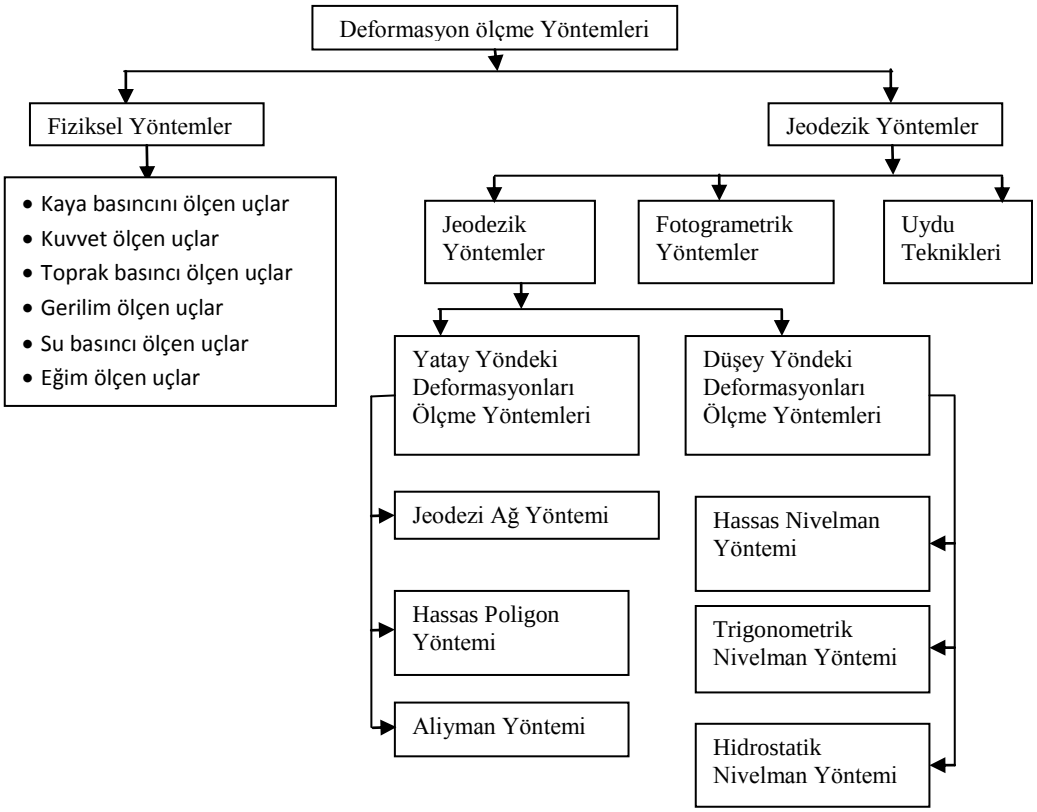


Şekil 2.1. Deformasyon çeşitleri (Doğanalp, 2005)

Cisme uygulanan kuvvet ortadan kalktığında cisim tam olarak eski haline geliyorsa "**elastiki deformasyon**" aksi halde "**kalıcı deformasyon**" söz konusudur.

2.1. Deformasyon Ölçme Yöntemleri

Deformasyon ölçme yöntemleri, fiziksel yöntemler ve jeodezik yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Jeodezik yöntemlerle mutlak deformasyonlar, fiziksel yöntemlerle bağıl deformasyonlar belirlenir. Bu yöntemlerde kendi aralarında farklı dallara ayrılmaktadır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Deformasyon ölçme yöntemleri (Erdoğan ,1998)

2.2. Deformasyon Ölçmelerinin Uygulama Alanları

Deformasyon ölçmeleri, çok farklı alanlarda örneğin, büyük yapılarda, teknik tesislerde veya başka yapay ve doğal objelerde gündeme gelir. Dar anlamda jeodezik deformasyon ölçmelerinin amacı, bir araştırma objesinin çevresine göre konum ve yükseklik değişimlerini belirlemek veya şekil bozukluklarının zamanın fonksiyonu olarak gözlenmesini araştırmaktan ibarettir (Erdoğan, 1998).

Deformasyonlar farklı meslek dallarında değişik biçimlerde ortaya çıkabilir. Deformasyon ölçmelerinin uygulanma alanları;

- İnşaat Mühendisliğinde, örneğin yüklemeler altında yapı değişimlerinin araştırılması,
- Makine yapılarında, makine tesislerinin ayar durumunun kontrolünde
- Yer ve kaya mekaniğinde, örneğin temel problemlerinde
- Jeolojide ve jeomorfolojide; yer kabuğunun hareketlerinin izlenmesi,

şeklinde sıralanabilir(İnal, 2009).

2.3. Deformasyon Ölçmelerinin Amacı

Yeryuvarı var olduğundan bu yana, iç dinamiklerinin etkisi altında sürekli bir değişim geçirmektedir. Üzerinde yaşadığımız yeryüzü ve onunla bütünleşik yapı sistemleri, doğa olayları olarak adlandırdığımız bu değişimlerden az ya da çok etkilenir. Mühendislik hizmeti sunan değişik disiplinlerin görev alanlarından biri bu değişimleri izlemek, gözlenen olayın davranışını modellemek ve olası sonuçlarına karşın eylem geliştirmektir. Bu anlamda, yeryüzünde kitlesel yer değiştirmeler genellikle jeodezik ölçme teknikleriyle düzenli olarak gözlenir ve daha sonra bu değişimin sonuçları deformasyon analiz yöntemleriyle yorumlanmaya çalışılır.

Barajlardaki deformasyon ölçmelerinin amacı, baraj ve çevresi için oluşabilecek sorunları büyümeden, bir tehlike arz etmeden saptamak, takip etmek ve gerekli önlemlerin alınması için çalışmaların başlamasını sağlamaktır (Anonim1, 2012).

2.4. Deformasyonların Nedenleri

Yerkabuğundaki ve yapılardaki deformasyonların nedenleri çok farklıdır. Yapıdaki deformasyon nedenleri;

- Tabandaki değişimler,
- Yapı temelindeki gevşemeler,
- Nem, sıcaklık ve basınç değişimleri,
- Rüzgar

olarak sıralanabilir (İnal, 2009).

3. JEODEZİK AĞLARIN DENGELENMESİ

Yapılan ölçmeler sonucunda elde edilen sayısal değerler, rastgele ölçü hataları ile yüklüdür. Bu nedenle uygulamada, bir problemin çözümü için yalnızca gerekli sayıda ölçü ile yetinilmez. Gereğinden fazla sayıda ölçü yapılır. Ölçüler arasındaki çelişkileri giderebilmek ve ölçülerle bilinmeyenler arasındaki fonksiyonel ilişkileri kesin olarak sağlayabilmek için dengeleme hesabı yapılır. Böylece ölçülerin ve bilinmeyenlerin kesin değerleri hesaplanabildiği gibi sözü edilen büyüklüklerin ya da bunların bir kaçının fonksiyonlarının duyarlıkları ve güvenirlikleri de belirlenmektedir (Öztürk, 1987). Deformasyon ölçülerinin analizinde dengeleme sonuçlarından yararlanılır. Bu amaçla oluşturulan ağların dengelemesinde dış parametrelerin de bilinmeyen olarak alındığı serbest ağ dengelemesi kullanılmaktadır.

3.1. Fonksiyonel Modelin Oluşturulması

Nokta koordinatlarının bilinmeyen olarak alındığı doğrultu-kenar ağlarında ölçüler; doğrultu ve kenarlardır. Böyle bir ağın P_i ve P_k noktaları arasında bu büyüklüklerle ilgili ölçülmüş ve hesap yüzeyine indirgenmiş değerleri,

r_{ik} : doğrultu gözlemleri,

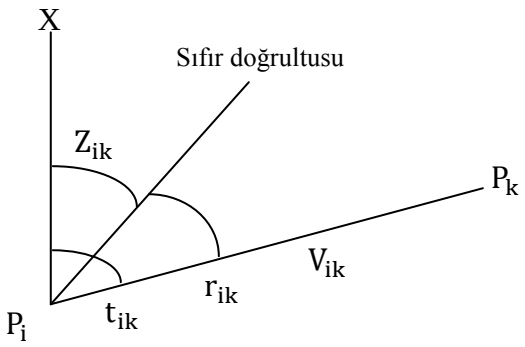
S_{ik} : uzunluk ölçüleridir.

$V_{r_{ik}}, V_{S_{ik}}$ ölçülere getirilen düzeltmeler olmak üzere doğrultu ve uzunluk ölçülerinin dengelemeden sonraki kesin değerleri $\hat{r}_{ik}$ ve $\hat{S}_{ik}$ olsun. Bunların arasında dengeleme hesabının özelliği gereği,

$$\hat{r}_{ik} = r_{ik} + V_{r_{ik}} \tag{3.1}$$

$$\hat{S}_{ik} = S_{ik} + V_{S_{ik}} \tag{3.2}$$

yazılabilir (Şekil 3.1.) (İnal, 2010).



Şekil 3.1. İki nokta arasındaki doğrultunun belirlenmesi

3.2. Düzeltme Denklemleri

Doğrultulara ilişkin düzeltme denklemleri,

$$r_{ik} + V_{ik} + Z_{ik} = t_{ik} = \arctan\frac{y_k - y_i}{x_k - x_i} \tag{3.3}$$

$$\frac{\partial t_{ik}}{\partial x_i} = -\frac{y_k - y_i}{S_{ik}^2} \qquad a_{ik} = \frac{\operatorname{Sin} t_{ik}^0}{S_{ik}^0}x\rho \tag{3.4}$$

$$\frac{\partial t_{ik}}{\partial y_i} = -\frac{x_k - x_i}{S_{ik}^2} \qquad b_{ik} = \frac{\operatorname{Cos} t_{ik}^0}{S_{ik}^0}x\rho \tag{3.5}$$

$$z_i^0 = -\frac{[t_{ik}^0 - r_{ik}]}{n_i} \quad \text{:Yöneltme bilinmeyeninin yaklaşık değerleri} \tag{3.6}$$

olmak üzere,

$$V_{r_{ik}} = t_{ik}^0 - r_{ik} - z_i^0 + a_{ik}\Delta x_i + b_{ik}\Delta y_i - a_{ik}\Delta x_k - b_{ik}\Delta y_k \tag{3.7}$$

$$-l_{ik} = t_{ik}^0 - (r_{ik} + z_i^0) \tag{3.8}$$

$$V_{r_{ik}} = -l_{ik} - \Delta z_i + a_{ik}\Delta x_i + b_{ik}\Delta y_i - a_{ik}\Delta x_k - b_{ik}\Delta y_k \tag{3.9}$$

şeklinde ifade edilir.

Ölçülen doğrultu sayısı kadar (3.9) denkleminden yazılır. Hesap kolaylığı açısından yöneltme bilinmeyenleri elemine edilir.
Kenarlar için düzeltme denklemleri ise;

$$S_{ik} + V_{S_{ik}} = \sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2} \tag{3.10}$$

$$\frac{\partial \mathrm{F}}{\partial \mathrm{x}_i} = \frac{\mathrm{x}_k - \mathrm{x}_i}{\mathrm{S}_{ik}} = -\mathrm{cost}_{ik} = \mathrm{a}_{S_{ik}} \qquad (3.11)$$
$$\frac{\partial \mathrm{F}}{\partial \mathrm{y}_i} = \frac{\mathrm{y}_k - \mathrm{y}_i}{\mathrm{S}_{ik}} = -\mathrm{sint}_{ik} = \mathrm{b}_{S_{ik}}$$

olmak üzere,

$$V_{S_{ik}} = \mathrm{a}_{S_{ik}}\Delta\mathrm{x}_i + \mathrm{b}_{S_{ik}}\Delta\mathrm{y}_i - \mathrm{a}_{S_{ik}}\Delta\mathrm{x}_k - \mathrm{b}_{S_{ik}}\Delta\mathrm{y}_k + \mathrm{S}_{ik}^0 - \mathrm{S}_{ik} \qquad (3.12)$$

biçiminde yazılır (İnal, 2003).

3.3. Stokastik Modelin Oluşturulması

Ölçülerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonların dengeleme sonuçlarına etkileri, stokastik modelle belirlenir. Dengeleme sonrası en uygun sonucun elde edilebilmesi için ölçü gruplarının ağırlıklarının doğru seçilmesi gerekmektedir. Kuramsal olarak herhangi bir ölçü kümesi için varyans-kovaryans matrisi,

$$\mathbf{K}_{ll} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & r_{12}\sigma_1\sigma_2 & \cdots & r_{1n}\sigma_1\sigma_n \\ r_{21}\sigma_2\sigma_1 & \sigma_2^2 & \cdots & r_{2n}\sigma_2\sigma_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1}\sigma_n\sigma_1 & r_{n2}\sigma_n\sigma_2 & \cdots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \qquad (3.13)$$

şeklindedir. Doğruluk ölçütü varyanslar yanında onların tersleri ile orantılı ağırlık olarak adlandırılan başka büyüklüklerde kullanılır. Varyansı σ_i^2 olan ağırlık tanımına uygun olarak,

$$\mathrm{P}_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2} \ (\sigma_0^2 = sabit) \qquad (3.14)$$

şeklinde hesaplanır. σ_0^2 ve σ_i^2 kuramsal varyanslar olduğundan bunların yerine deneysel değerleri olan s_0^2 ve s_i^2 kullanılır. Ağırlık buna bağlı olarak,

$$\mathrm{P}_i = \frac{s_0^2}{s_i^2} \ (s_0^2 = sabit) \qquad (3.15)$$

şeklini alır. Gerek ölçülerden gerekse tanı dengelemelerinden elde edilecek ortalama hata değeri kullanılarak her bir ölçü gurubun ağırlığı,

$$P_i = \frac{s_0^2}{s_{r_{ik}}^2} \text{ (Yatay doğrultu ağırlığı)} \tag{3.16}$$

$$P_i = \frac{s_0^2}{s_{s_{ik}}^2} \text{ (kenarların ağırlığı)} \tag{3.17}$$

bağıntıları ile hesaplanır. s_0^2 öncül deneysel varyansı, ölçü gruplarına ilişkin değerlerden biri, genellikle yatay doğrultular için belirlenen değer alınır (Hoşbaş ve ark., 2003).

3.4. Serbest Ağ Dengelemesi

Bilinmeyenlerin belirlenmesi için gerekenden fazla gözlem yapılmışsa birden fazla çözüm var demektir. Dengelemenin ödevi ölçülerle bilinmeyenlerin en büyük olasılıklı değerlerini belirlemek, ölçüler ve dengelenmiş değerler ile bilinmeyenleri için doğruluk ölçütü vermektir. Dolaylı ölçüler yöntemine göre oluşturulan Gauss-Markov Modeli ile bilinmeyenlerin kesin değerleri,

$$\mathbf{A}^T\mathbf{PAx} - \mathbf{A}^T\mathbf{Pl} = 0 \tag{3.18}$$

$$\mathbf{Nx} - \mathbf{n} = 0 \tag{3.19}$$

biçiminde normal denklem sisteminin çözümünden bulunur.

3.4.1. Tüm iz minimum yöntemiyle serbest dengeleme

Deformasyon ölçme ve analizinde varsayımlardan kaçınmak gerekir. Dayalı ağ dengelemesi jeodezik ağın hassasiyetini gerçekçi biçimde yansıtmaz. Bu nedenle ağın hassasiyetini gerçekçi biçimde yansıtan tüm iz minimum yöntemi ile serbest ağ dengelemesi kullanılır. Deformasyon analizi eşlenik noktalar arasında yapılır. Eşlenik olmayan noktalar dengeleme model içerisinde yok edilir.

Serbest ağ dengelemesinde bütün noktaların koordinatları bilinmeyen olarak alındığı için konum belirsizliği, yöneltme belirsizliği ve ölçek sorunu oluşur. N

matrisinin determinantının sıfır olması nedeniyle inversi alınmaz. Bu matrisin, ağ noktalarının ağırlık merkezine indirgenmiş yaklaşık koordinat değerleri ile kurulan **G** matrisi yardımıyla Pseudo (Moore-Penrose) inversi

$$\mathbf{N}^{+} = (\boldsymbol{N} + \boldsymbol{G}\boldsymbol{G}^{T})^{-1} - \boldsymbol{G}\boldsymbol{G}^{T} \tag{3.20}$$

ile hesaplanır. Bilinmeyenlerin bu şekilde belirlenmesine tüm iz minimum çözüm denir.

Bu çözümde ağın datumu **G** matrisiyle tanımlanmakta ve tüm noktalar datum tanımına katılmaktadır. Koşul denklemlerinin sayısı datum parametrelerinin sayısına eşittir. Başka bir deyişle nokta sayısı *p*, koordinat bilinmeyen sayısı *u=2p* ve ağın datumu *d* ile gösterilirse iki boyutlu ağlarda **G** matrisinin boyutu *u* x *d* olur.

Yatay kontrol ağı(iki boyutlu ağlar) için $\mathbf{G}^T$ matrisi;

$$\mathbf{G}^T = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{p} & 0 & 1/\sqrt{p} & 0 & \dots & \dots & 1/\sqrt{p} & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{p} & 0 & 1/\sqrt{p} & \dots & \cdots & 0 & 1/\sqrt{p} \\ -y'_{10} & x'_{10} & -y'_{20} & x'_{10} & \dots & \dots & -y'_{p0} & x'_{p0} \\ x'_{10} & y'_{10} & x'_{20} & y'_{20} & \dots & \dots & x'_{p0} & y'_{p0} \end{bmatrix} \tag{3.21}$$

biçimindedir (Kock, 1987). $\mathbf{G}^T$ matrisinin satır vektörü ortogonaldir ve normlandırılmıştır ($\mathbf{G}^T.\mathbf{G} = \mathbf{E}$). (3.21)'deki x'_{i0}, y'_{i0} büyüklükleri ağın ağırlık merkezine göre tanımlanmış ve normlandırılmış yaklaşık koordinatlardır:

$$x'_{i0} = \frac{x_{i0} - x_s}{\sqrt{[(x_{i0} - x_s)^2 + (y_{i0} - y_s)^2]}} \qquad y'_{i0} = \frac{y_{i0} - y_s}{\sqrt{[(x_{i0} - x_s)^2 + (y_{i0} - y_s)^2]}} \tag{3.22}$$

$$x_s = \frac{[x_0]}{p} \qquad y_s = \frac{[y_0]}{p} \quad \text{(Ağırlık merkezinin koordinatları)} \tag{3.23}$$

(3.21)'deki $\mathbf{G}^T$matrisinin ilk iki satırı ile koordinat sisteminin x ve y eksen doğrultularındaki öteleme, üçüncü satırı ile dönüklük ve son satırı ile ölçek parametreleri tanımlanmaktadır (Demirel, 2009). Eğer yatay kontrol ağındaki ölçülere uzunluk ölçüsü de eklenmesi durumunda $\mathbf{G}^T$ matrisindeki ölçek parametresi ortadan kalkacaktır.

3.4.2. Kısmi iz minimum yöntemiyle serbest dengeleme

Kısmi iz minimum yöntemi, ağın tüm noktalarını içeren küçültülmüş koordinat bilinmeyenleri vektörünün bir bölümünün normunun (bilinmeyenlerin bir bölümünün karelerinin toplamı) ve ağırlık katsayılar matrisinin buna karşılık alt matrisinin izinin (köşegen elemanları toplamı) en küçük olmasını sağlar. Başka bir deyişle ağın noktalarından yalnızca bir bölümünün datum tanımına katkıda bulunmasını sağlar (Demirel, 2009).

Kısmi iz minimum yönteminde, ağı oluşturan noktaların bir bölümü datumu belirlemektedir. Başka bir ifadeyle, ağın bilinmeyenlerinin bir kısmının kareleri $[(\mathbf{x}_i^T.\mathbf{x}_i) = \min]$ ve elde edilen ağırlık katsayıları matrisinin bu kısma ilişkin alt matrisinin izinin yani köşegen elemanlarının toplamının $(\text{iz}(\mathbf{Q}_\text{i}) = \min)$ minimum olması ilkesine dayanılarak yapılan serbest dengelemedir (İnal , 2009).

Tüm iz minimum yöntemine göre dengelemede ağın tüm noktaları datum tanımına katılmakta ve ağın tümünde en uygun konumlandırma sağlanmaktadır. Kısmi iz minimum yönteminde ise en uygun konumlandırma, ağın yalnızca datum tanımına katkıda bulunan noktalar bölümünde gerçekleştirilmektedir. Bu dengelemenin doğrusallaştırılmış fonksiyonel modelinin (3.18) ve (3.19)'da verilenlerden farkı, **G** matrisi yerine datumu tanımlayan ve **G** matrisinden türetilen **B** matrisine geçilmesidir. Bir jeodezik ağ için çok sayıda kısmi iz minimum çözümünün olabileceğini göz önüne alarak herhangi bir datumu "i" indisi ile tanımlanırsa, buna göre, ağın datumunu tanımlayan ve **G** matrisinde datum tanımına katılmayan noktalara karşılık tüm elemanlar yerine "0" yazılarak elde edilen matris $\mathbf{B}_i$ ve tüm noktaları içeren koordinat bilinmeyenleri $\mathbf{x}_\text{i}$ ile gösterilirse dengelemenin doğrusallaştırılmış fonksiyonel modeli,

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}.\mathbf{x}_i - \mathbf{l} \quad \text{(düzeltme denklemleri)} \tag{3.24}$$

$$\mathbf{B}_i^T.\mathbf{x}_i = 0 \quad \text{(koşul denklemleri)} \tag{3.25}$$

ya da $\mathbf{x}_1$datumu tanımlayan nokta koordinatları, $\mathbf{x}_2$ datum tanımına girmeyen noktaların koordinatları, $\mathbf{G}_1$ matrisi **G**'nin datum noktalarına karşılık alt matris olmak üzere,

$$\mathbf{x}_i = \begin{bmatrix}\mathbf{x}_1\\ \mathbf{x}_2\end{bmatrix}, \mathbf{B}_i = \begin{bmatrix}\mathbf{G}_1\\ 0\end{bmatrix}, \mathbf{A}=[\mathbf{A}_1 \quad \mathbf{A}_2] \tag{3.26}$$

ile

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}_1.\mathbf{x}_1 + \mathbf{A}_2.\mathbf{x}_2 - \mathbf{l} \quad (3.27)$$

$$\mathbf{G}_1^T.\mathbf{x}_1 = 0 \quad (3.28)$$

biçimindedir.

E matrisi, köşegeni üzerinde bulunan datumu belirleyen nokta koordinatlarına karşılık "1" diğerleri için "0" değerinin içeren köşegen bir matris olmak üzere **B** matrisi;

$$\mathbf{B} = \mathbf{E.G} \quad (3.29)$$

olarak tanımlanır.

$\mathbf{Q}_i = \mathbf{N}^-$, $\mathbf{N} = (\mathbf{A}^T.\mathbf{P}.\mathbf{A})$ matrisinin ve $\mathbf{x}_i$ bilinmeyenlerinin ağırlık katsayıları matrisi olmak üzere;

$$\mathbf{Q}_\mathrm{i} = (\mathbf{N} + \mathbf{B}.\mathbf{B}^T)^{-1} - \mathbf{G}.(\mathbf{G}^T.\mathbf{B}.\mathbf{B}^T.\mathbf{G})^{-1}\mathbf{G}^T \quad (3.30)$$

olur (İnal, 2009).

3.5. Model Hipotezinin Testi

Dengeleme hesabının matematik modeli ölçülerle bilinmeyenler arasındaki fonksiyonel model ve stokastik model ilişkilerini yansıtır. Model hipotezinin testi ile matematik modelin uygunluğu, modelin oluşturulmasında kullanılan ölçülerin duyarlıkları ve aralarındaki korelasyonlar denetlenir.

3.5.1. Fonksiyonel modelin test edilmesi

Fonksiyonel model ölçülerle bilinmeyenler arasındaki ilişki olarak adlandırılır. Fonksiyonel modelin test edilmesi için **x** koordinat bilinmeyenleri ve **z** gibi başka bilinmeyenlerinde bulunduğu karşıt bir model ileri sürülür.

$$\mathbf{l} + \mathbf{v} = [\mathbf{A}_x \vdots \mathbf{A}_z \,].\begin{bmatrix}\mathbf{x}\\ \dots \\ \mathbf{z}\end{bmatrix} \tag{3.31}$$

Burada,

l = ölçüler

v = Düzeltme değerleri

$\mathbf{A}_x$= x bilinmeyeni için katsayılar matrisi

$\mathbf{A}_z$= z bilinmeyeni için katsayılar matrisi

x = Koordinat bilinmeyenleri

z = diğer bilinmeyenler

olarak adlandırılır.

Fonksiyonel modelin uygulamada **z** bilinmeyeni olarak yatay kontrol ağlarında alet yöneltme bilinmeyeni alınabilir.

Model genişletildiğinde;

$$\begin{bmatrix}\mathbf{N}_{xx} & \mathbf{N}_{xz}\\ \mathbf{N}_{zx} & \mathbf{N}_{zz}\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\mathbf{x}\\ \mathbf{z}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathbf{n}_x\\ \mathbf{n}_z\end{bmatrix} \tag{3.32}$$

bilinmeyenlerin kesin değerleri,

$$\begin{bmatrix}\mathbf{x}\\ \mathbf{z}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathbf{Q}_{xx} & \mathbf{Q}_{xz}\\ \mathbf{Q}_{zx} & \mathbf{Q}_{zz}\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\mathbf{n}_x\\ \mathbf{n}_z\end{bmatrix} \tag{3.33}$$

olur. Birim ağırlıklı ölçünün varyansı;

$$\widehat{\sigma_0^2} = \frac{\hat{\mathbf{v}}^T.\mathbf{Q}_{ll}^{-1}.\hat{\mathbf{v}}}{n-u_x-u_z+r} \tag{3.34}$$

Burada;

n = ölçü sayısı

u_x = x bilinmeyenlerinin sayısı

u_z = z bilinmeyenlerinin sayısı

r = defekt sayısını

göstermektedir.

Normal ve genişletilmiş modellerden elde edilen koordinat bilinmeyenleri ve ölçülerin düzeltme değerleri birbirlerine eşit değildirler $(\underline{\hat{\mathbf{x}}}, \underline{\bar{\mathbf{x}}}, \underline{\hat{\mathbf{v}}}, \underline{\bar{\mathbf{v}}})$. Aynı zamanda genişletilmiş modelin daha sağlıklı sonuç verdiği de söylenemez. Genişletilmiş fonksiyonel modelde bilinmeyenlerin presizyonları normal modelden elde edilenlere göre daha azdır. Bu nedenle hangi modelin seçilmesi araştırmasında ek bilinmeyenlerin "0"dan farklı olduğu kanıtlanmalıdır. Buna göre;

$$\mathrm{H}_0 = \mathrm{E}(\underline{\mathbf{z}}) = 0 \tag{3.35}$$

şeklinde sıfır hipotezi kurulur. Alternatif (seçenek) hipotezi,

$$\mathrm{H}_0 : \mathrm{E}(\underline{\mathbf{z}}) \neq 0 \tag{3.36}$$

şeklinde oluşturulur. Burada hesaplanacak test değeri,

$$T_f = \frac{\mathbf{z}^T.\mathbf{Q}_{zz}^{-1}.\mathbf{z}}{\sigma_0^2.u_z} \tag{3.37}$$

seçilerek **z** bilinmeyenlerin "signifikant" testi için, Fischer dağılım çizelgesinden; *s=1-α* istatistik güven $f_1 = u_z, f_2 = n - u_z - u_x + r$ serbestlik dereceleri için bulunacak $\mathrm{F}_{\alpha,f_1,f_2}$ değeri ile karşılaştırılır.

Eğer $\mathrm{T}_f > \mathrm{F}_{\alpha,f_1,f_2}$ ise H_0 hipotezi reddedilir. $Z \neq 0$ olduğundan genişletilmiş fonksiyonel modelin kullanılması daha isabetli olduğu düşünülür (İnal, 2009).

3.5.2. Stokastik modelin test edilmesi

Dengeleme hesabında ölçülerin varyans-kovaryans matrisinin dolayısıyla P_i ağırlıklarının,

$$\mathbf{P} = \sigma_0^2.\mathbf{K}_{ll}^{-1} \tag{3.38}$$

doğru olarak seçilmesi gerekir. Bunun için deneysel olarak bulunan öncül varyansın dengeleme sonrası varyansın uyuşum içinde olması gerekir. Bunun kontrolü için sıfır hipotezi ileri sürülür.

$$H_0 : E\left(\overline{\sigma_0^2}\right) = E\left(\sigma_0^2\right) = \sigma_0^2 \tag{3.39}$$

Burada,

$\overline{\sigma_0^2}$ = Öncül (a priori) varyans,

σ_0^2 = Dengeleme sonrası varyans

olarak adlandırılır. Test büyüklüğü,

$$T_s = \frac{\sigma_0^2}{\overline{\sigma_0^2}} \tag{3.40}$$

bağıntısıyla hesaplanır. $T_s > F_{s,f_1,f_2}$ ise sıfır hipotezi reddedileceğinden ölçü sayısı ağırlıkları isabetli belirlenmemiştir denilir. Dolayısıyla oranların değiştirilmesi gereklidir. Aksi durumda $T_s < F_{s,f_1,f_2}$ ise; sıfır hipotezi geçerlidir denilir (İnal, 2009).

4.UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN BELİRLENMESİ

Jeodezik ağların dengelenmesinde kullanılan EKKY(En Küçük Kareler Yöntemi) ölçülerin normal dağılımda olması varsayımına dayanır. Deformasyon analizinde her varsayımın test edilmesi ilkesine uygun olarak, ölçülerin normal dağılımda olup olmadıkları test edilmeli, bu dağılıma uymayan ölçülerin ayıklanması sağlanmalıdır. Jeodezik ölçmelerde bu isleme "**uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi**" denir.

Uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesinde iki yaklaşım vardır. Bunlar;

- Klasik uyuşumsuz ölçü testleri,
- Robust kestirim

olarak sıralanabilir.

4.1. Klasik Uyuşumsuz Ölçü Testleri

Uyuşumsuz ölçü testleri tesadüfü (düzensiz) hataların belirli istatistik testler içerisinde kalıp kalmadığını kontrol etmek amacıyla yapılırlar. Klasik uyuşumsuz ölçü testlerinin birbirlerine göre bazı farklılıkları mevcuttur. Klasik uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi için kullanılan başlıca test yöntemleri,

- Baarda'nın B testi
- Pope testi
- t-testi

en çok kullanılan yöntemler olarak sıralanabilir.

4.1.1. Baarda'nın B-testi

Baarda tarafından 1968'de uyuşumsuz ölçülerin yerelleştirilmesi için geliştirilen bir yöntemdir. Baarda'nın B-testinde iki işlem adımı takip edilir. Bunlar global test ve Data-Snooping'dir. Global teste uyuşumsuz ölçü belirlenmesi yapılırken Data-Snooping tekniğinin uygulanması bütün hataların bulunması ve uyuşumsuz ölçülerin yerelleştirilmesi ve ayıklanmasını gerçekleştirilir. (Olyazadeh ve ark, 2011).

Bu test modelinde öncelikle dengeleme modelinin testi yapılır. Bu test sonucunda model hatası varsa bir ya da birkaç tane ölçünün uyuşumsuz olabileceği

düşünülür. Bu yöntem için kovaryans matrisi genellikle serbest dengeleme sonucunda hesaplanır. Uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi için öncelikle sıfır hipotezi

$$\mathrm{H}_0 : \mathrm{E}\{\Delta_i\} = 0 \tag{4.1}$$

şeklinde kurulur. Seçenek hipotezi,

$$\mathrm{H}_s : \mathrm{E}\{\Delta_i\} \neq 0 \tag{4.2}$$

şeklinde oluşturulur ve test edilir.

$$\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P}\, \mathbf{v}}{f\ \sigma^2} > \mathrm{F}_{1-\alpha,f,\infty} \tag{4.3}$$

ise H_0 hipotezi reddedilir. (4.3) eşitliğinde;

f : Serbestlik derecesi

$\mathbf{v}$: Düzeltme değerleri

σ^2 : Dengeleme öncesi deneysel varyansı

göstermektedir.

$$\mathrm{T}_{i,B} = \frac{|v_i|}{\sigma\sqrt{q_{v_i v_i}}} \tag{4.4}$$

Yardımıyla test büyüklüğü hesaplanır. Burada;

σ : dengeleme öncesi standart sapma

v_i : i ölçüsünün düzeltmesi

$q_{v_i v_i}$: düzeltmelerin ağırlık katsayısını

göstermektedir. Test büyüklüklerinin en büyüğü $\mathrm{T}_{max,B}$ standart normal dağılım tablosundan alınan;

$$\mathrm{T}_{max,B} > \mathrm{k}_{1-\frac{\alpha}{2}} = \sqrt{\mathrm{F}_{1,\infty,\alpha}} \tag{4.5}$$

ile karşılaştırılır. (4.5) eşitliği normal dağılım ve F dağılım arasındaki ilişkiyi göstermektedir. (4.5) eşitliği geçerli ise o ölçünün uyuşumsuz olduğuna karar verilir.

Baarda(1968)'nın B testi yardımıyla her defasında sadece bir tane ölçünün uyuşumsuz olduğuna karar verilir. Ağda uyuşumsuz ölçü kalmayıncaya kadar (4.3)-(4.5) işlem adımları tekrarlanır.

4.1.2. Pope testi

Baarda (1968) testinde test büyüklüğünün hesabında kullanılan σ varyansı teorik bir kavramdır ve çoğunlukla bilinmez. Bu durumda, test büyüklüğü için kaba hatalarda muhtemelen etkilenmiş deneysel varynas $\hat{\sigma}$ kullanılabilir.

Bu yöntem için test büyüklüğü;

$$\mathrm{T}_{i,P} = \frac{\mathbf{v}_i}{\hat{\sigma}\sqrt{q_{v_i v_i}}} \tag{4.6}$$

ile hesaplanır. $\mathrm{T}_{max,P}$ değeri,

$$c = \sqrt{\frac{(n-q)\mathrm{F}}{n-1+q+\mathrm{F}}} \tag{4.7}$$

değerinden büyük çıkıyorsa ($\mathrm{T}_{max,P} > c$) ölçü uyuşumsuz olarak belirlenir ve tekrar edilir. Burada;

n : Ölçü sayısı

q : Bilinmeyen sayısından defekt sayısının çıkartılması ile elde edilen değer

F : 1 ve n-q+1 için $(1-0.05)^{1/n}$ test düzeyinde, F dağılım tablosundan alınan değer

$\hat{\sigma}$: Dengeleme sonrası standart sapma

v_i : i ölçüsünün düzeltmesi

olarak belirlenir. Uyuşumsuz olarak belirlenen ölçü atıldıktan sonra dengeleme yapılarak işlemler tekrarlanır, uyuşumsuz ölçü kalmayıncaya kadar ölçüler çıkartılarak dengeleme tekrarlanır.

4.1.3. t-testi

Uyuşumsuz ölçüler için test büyüklüğünün (4.6) bağıntısına göre hesaplanması sırasında teorik olarak küçük bir ihmal söz konusudur. Eğer bir l_i ölçüsü için kaba hata mevcutsa, geçerli olmayan bir dengeleme modelinden hesaplanan $\hat{\sigma}^2$ varyansının kullanılması doğru değildir. Varyans hesabında kullanılan $\mathbf{v}^T\mathbf{P}\,\mathbf{v}$ hesabında kaba hata olduğu düşünülen ölçünün etkisi çıkarılırsa, bu ölçünün kaba hatasından arınmış olarak elde edilen aposteriori varyans faktörü test işleminde rahatlıkla kullanılabilir. Bu yöntem için test büyüklüğü;

$$\mathrm{T}_{i,t} = \frac{v_i}{\hat{\sigma}\sqrt{q_{v_i v_i}}} \tag{4.8}$$

olarak hesaplanır. $\mathrm{T}_{max,t}$ değeri t-dağılım tablosundan alınan $\mathrm{t}_{f-1,1-\alpha/2}$ değeri ile karşılaştırılır.

$$\mathrm{T}_{max,t} > \mathrm{t}_{\mathrm{f}-1,1-\alpha/2} \tag{4.9}$$

ise ölçü uyuşumsuz olarak belirlenir ve ölçü kümesinden atılarak dengeleme tekrar yapılır. Uyuşumsuz ölçü kalmayıncaya kadar dengeleme işlemi karar edilir. Burada;

$\hat{\sigma}$: Dengeleme sonrası standart sapma

v_i : i ölçüsünün düzeltmesi

olarak belirlenir.

Ne kadar büyük kaba hata yapılırsa varyans faktörü için tahmin edilen değer o kadar büyük olur. Bunun bir sonucu olarak da t test istatistiği o kadar azalır. Bu nedenle t testi ile çoğu kez kaba hatalı bir ölçü belirlenemeyebilir. Özellikle küçük kaba hatalara karşı bu yöntem başarısızdır (Kuang, 1996).

4.2. Robust Kestirim

Ülkemize "**sağlam kestirim**" olarak bilinen Robust yöntemi son yıllarda birçok mühendislik uygulamasında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Nirengi ve konum ağlarının dengelenmesinde, deformasyon analizinde vb. birçok alanda yaygın bir

şekilde uygulanmaya başlanmış olup, ölçülerin direk atılmasından ziyade hataların uygun bir formda dağıtılmasına önem vermiştir.

Ölçü kümesindeki küçük değişimlere ya da genel olarak varsayımlardaki küçük sapmalara duyarsız bir dağılımdan elde edilen kestirimlere Robust denir (Caspary ve Borutta, 1987).

Robust kestirimin ilkesi

$$\rho(\mathbf{p}_i, \mathbf{v}_i) = \min \tag{4.10}$$

olarak verilir. Burada $\mathbf{p}_i$: ağırlıkları, $\mathbf{v}_i$: gözlem hatalarını ifade etmektedir. Robust yöntemlerde ise düzeltmelerin farklı amaç fonksiyonları minimum yapılmaktadır. Bu amaç fonksiyonlarına göre düzeltmeleri belli bir aralığın dışında kalan ölçülerin etkisi altında kullanılan Robust yöntemin ağırlık fonksiyonuna bağlı olarak azaltılmakta hatta sıfır yapılmaktadır (Yetkin, 2008).

Robust kestirimde yeniden (yinelemeli) ağırlıklandırılmalı EKKY kullanılır. Robust kestirimi, EKKY'nin ağırlıklı iteratif çözümünde kullanılarak etkili sonuçlar elde edilebilir. Bu çözümde; ağırlıklı karelerin toplamının en küçük ($\mathbf{v}^T.\mathbf{p}.\mathbf{v} = \min$) amaç fonksiyonu yerine, düzeltme hatalarında daha az etkilenen başka bir amaç fonksiyonu $\rho(\underline{\mathbf{v}}) = \underline{\mathbf{v}}^T.\underline{\mathbf{P}}.\underline{\mathbf{v}}$ alınırsa EKKY çözümü elde edilir. Robust kestirimindeki amaç fonksiyonuyla elde edilen eşitlik EKKY'ne göre çözülürse Robust Kestirim algoritması EKKY algoritmasına indirgenerek çözüm yapılmış olur (Şişman ve ark., 2009).

Robust yöntemlerin jeodezide en yaygın olarak kullanılanı M-kestirim yöntemleridir. Maksimum olasılık kestirim yönteminin genelleştirilmiş biçimi olan M-kestiriminin amaç fonksiyonu,

$$\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \rho\left(\sum_{i=1}^{n} \mathrm{a}_{ij}.\mathrm{x}_{ij} - \mathbf{l}_{ij}\right) = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{p}(\mathbf{v}_i) = \min \tag{4.11}$$

olarak verilir (Berber, 1997). Burada $\rho(\mathbf{v})$ amaç fonksiyonunu göstermektedir. Amaç fonksiyonun düzeltmelere $(\mathbf{v}_i)$ göre türevi alınırsa,

$$\frac{\partial \mathrm{p}(\mathbf{v}_i)}{\partial \mathbf{v}_i} = \Psi(\mathbf{v}_i) \tag{4.12}$$

olarak etki fonksiyonu $\left(\Psi(\mathbf{v}_i)\right)$ elde edilir. Buradan sonrada etki fonksiyonu düzeltmelere bölünürse,

$$\frac{(\Psi(\mathbf{v}))}{\mathbf{v}} = \frac{\Psi(\mathbf{Ax-l})}{\mathbf{Ax-l}} = \mathrm{W}(\mathbf{v}) = \mathrm{W} \tag{4.13}$$

W(v) ağırlık fonksiyonları elde edilir. Robust sonuç elde etmek için bu fonksiyonların tümünün sürekli ve sınırları belirli olmalıdır. Bu fonksiyonlardan yalnızca birinin belirlenmesi diğerlerinin belirlenmesi ve çözüm için yeterli olmaktadır (Pilgrim, 1996; Kara, 1998; Yang, 1999).

Huber, bir dağılımın konu parametresi için Maksimum Likehood kestiricisini genelleştirerek M-kestirimini ortaya çıkarmıştır (Kara, 1998). M-kestirimi EKKY ile çözümde kurulan fonksiyon dikkate alınarak (4.13) fonksiyonunu oluşturulmuştur. (4.13) fonksiyonu çözümünden,

$$\underline{\mathbf{A}}^T \mathrm{W}\left(\underline{\mathbf{v}}\right) = \underline{\mathbf{A}}^T \mathrm{W}\left(\underline{\mathbf{A}}\,\underline{\mathbf{x}} - \underline{\mathbf{l}}\right) = 0 \tag{4.14}$$

eşitliği yazılır ve burada bilinmeyenler için,

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T\mathbf{W}\,\mathbf{A})^{-1}\,\mathbf{A}^T\,\mathbf{W}\,\mathrm{l} \tag{4.15}$$

yazılabilir. Robust Yöntemlerle bilinmeyenlerin çözümü için yaygın olarak kullanılan algoritma iteratif ağırlıklandırılmalı EKKY'dir.

$$\hat{\mathbf{x}}_{k+1} = (\mathbf{A}^T\overline{\mathbf{W}}_k\,\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}^T\overline{\mathbf{W}}_k\,\mathbf{l} \tag{4.16}$$

$$\mathbf{v}_k = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}_k - \mathbf{l} \tag{4.17}$$

$$\overline{\mathbf{W}}_k = \mathbf{P}\mathbf{W}_k \ , \ k\text{= 1,2,3,...,}n \tag{4.18}$$

$$\mathbf{W}_k = \mathrm{diag}(\mathbf{w}_1^{(k)}, \dots, \mathbf{w}_n^{(k)}) \tag{4.19}$$

olarak verilebilir. Burada k iterasyon sayısı, n ölçü sayısı, $\mathbf{w}_i^{(k)}$ seçilen ağırlık fonksiyonunu, $\mathbf{W}_k$ yeni ağırlık matrisini, $\overline{\mathbf{W}}_k$ ise eş değer ağırlık matrisidir (Hekimoğlu ve Berber, 2003).

$$\mathbf{w}_i^{(k)} = \begin{cases} 1 & |\tilde{v}_i| \le c \\ \frac{c}{|\tilde{v}_i|} & |\tilde{v}_i| > c \end{cases} \tag{4.20}$$

Burada;

$|\tilde{v}_i|$: Standartlaştırılmış düzeltmeleri,

c : [1-1.5] arasında seçilen sabit değerdir.

Özetle, Robust kestirim yöntemleri ve EKKY, düzeltme büyüklüklerine dayanarak uyuşumsuz ölçülerin başlangıç tanımlamasında kullanılırlar. Bu anlamda Robust kestirimi ile uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi istatistiksel olarak net değildir, fakat uyuşumsuz ölçülerin başlangıçta bulunabilmesi için kolayca uygulanan bir yöntemdir. EKKY'nin en büyük avantajı uyuşumsuz ölçülere karşı robust olmasıdır (Seemkooei, 2003). Jeodezide korelasyonlu ölçülerle sıkça karşılaşılmasına rağmen bunlarla ilgili olarak geliştirilen az sayıda robust yöntem vardır. Simetrik ve pozitif tanımlı bir varyans-kovaryans matrisi söz konusu olduğu zaman Cholesky çarpanlara ayırma yöntemi ile ağırlık matrisi diagonal hale getirilebilir (Strang ve Borre 1997).

5. JEODEZİK AĞLARDA DUYARLIK VE GÜVENİLİRLİK ÖLÇÜTLERİ

Mühendislik ölçmeleri, yer kabuğu hareketlerinin araştırılması v.b. amaçlarla oluşturulan jeodezik ağlarda duyarlık ve güven ölçütleri günümüzde kendilerinden beklenen işlevler açısından önem kazanmıştır. Özellikle mühendislik ölçmelerinde ağların yüksek duyarlıkta olması istenir. Bir jeodezik ağın duyarlığı, ağın ölçülmesinde kullanılan aletlerin duyarlığına, ölçme planına ve ağın geometrik yapısına bağlıdır. Bunun gibi jeodezik ağın güvenirliği de kontrollü ölçmeye ve ağın geometrik yapısına bağlıdır.

5.1. Jedeozik Ağlarda Duyarlık Ölçütleri

Jeodezik ağlar için tanımlanan duyarlık ölçütlerinin büyük bir bölümü, noktalara göre tanımlanan ölçütlerdir. Bir jeodezik ağın duyarlığına ilişkin bilgilerin tümü, koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrisinde depolanmıştır. Bu nedenle, duyarlık ölçütlerinin hesaplanması için koordinat bilinmeyenlerinin varyans–kovaryans matrisinin tümünden ya da bir bölümünden yararlanılır (Yalçınkaya ve ark., 2003; Konak, 1994)

5.1.1. Lokal duyarlık ölçütleri

Jeodezik konum ağlarında genellikle noktalara göre tanımlanan duyarlık ölçütleri kullanılmaktadır. Noktaların birbirlerine göre konum duyarlıkları genellikle lokal duyarlık ölçütleriyle hesaplanır (Yalçınkaya ve ark., 2003). Bunlar yardımıyla ağ noktalarının duyarlıkları konusunda bir yargıya varılır. Defekt sayısı kadar parametrenin bilinen olarak kabul edildiği bağlantılı bir ağın dengelenmesi sonucunda bulunan ve *p* sayıda yeni noktanın koordinatlarını içeren bilinmeyenler vektörü $\underline{\mathbf{x}}$, yalnızca noktaların koordinatlarından oluşan alt vektörlere ayrılırsa;

$$\mathbf{x}^T = \left[\mathbf{x}_1^T \ \mathbf{x}_2^T \ldots \mathbf{x}_p^T\right]^T \qquad \mathbf{x}_k^T = [\mathbf{x}_k \ \mathbf{y}_k]^T \qquad k=1,2,\ldots,p \tag{5.1}$$

buna karşılık $\underline{\boldsymbol{Q}}_{xx} = \underline{\mathbf{Q}}$ ağırlık katsayıları matrisi de 2x2 boyutlu alt matrislere ayrılabilirler.

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{Q}}_{11} & \underline{\mathbf{Q}}_{12} & \cdots & \underline{\mathbf{Q}}_{1p} \\ \underline{\mathbf{Q}}_{21} & \underline{\mathbf{Q}}_{22} & \cdots & \underline{\mathbf{Q}}_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{\mathbf{Q}}_{p1} & \underline{\mathbf{Q}}_{p2} & \cdots & \underline{\mathbf{Q}}_{pp} \end{bmatrix} \tag{5.2}$$

x'in varyans-kovaryans matrisi,

$$\underline{\mathbf{C}}_{xx} = m_0^2 . \mathbf{Q} \tag{5.3}$$

ve $\underline{\mathbf{x}}_k$ alt vektörüne ya da k noktasına ilişkin varyans-kovaryans matrisi,

$$\underline{\mathbf{C}}_{kk} = m_0^2 . \mathbf{Q} = m_0^2 . \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{xx} & \mathbf{Q}_{xy} \\ \mathbf{Q}_{yx} & \mathbf{Q}_{yy} \end{bmatrix} \tag{5.4}$$

elde edilir. Bu matrisin köşegen elemanları k noktasının x_k ve y_k koordinatlarının karesel ortalama hataları (varyansları) $m_{x_k}^2$, $m_{y_k}^2$ 'dir. Bu büyüklükler noktaların koordinat eksenleri doğrultusundaki hatalarını verir. Eksenlerin dönüklüğüne ve ağdaki sabit noktaların konumuna bağlıdır. $\underline{\mathbf{C}}_{kk}$ varyans-kovaryans matrisinin köşegen elemanlarının toplamı olarak tanımlanan,

$$m_k = \sqrt{\mathrm{iz}\left(\underline{\mathbf{C}}_{kk}\right)} = m_0 \sqrt{\mathrm{iz}\left(\underline{\mathbf{Q}}_{kk}\right)} = m_0 \sqrt{(\mathbf{Q}_{xx} + \mathbf{Q}_{yy})_k} = \sqrt{(m_{x_k}^2 + m_{x_y}^2)} \tag{5.5}$$

konum hatasına **Helmert Nokta Ortalama Hatası** denir. m_k , koordinat eksenlerinin dönüklüğüne bağlı değildir, ama bağlantı ağlarda sabit alınan noktalardan etkilenir.

Noktaların konumlarına göre duyarlıkları hakkında bilgi, hata elipsleri ve güven elipsleri yardımıyla edinilir. Farklı hata elipsleri arasında uygulamada en çok kullanılanı Helmert Ortalama Hata elipsidir. k noktası için bu elipsin büyük yarı ekseni A_{H_k}, küçük yarı ekseni B_{H_k} ve büyük yarı eksenin x koordinat eksenin göre doğrultu açısı θ,

$$A_{H_k} = m_0 \sqrt{\lambda_{A_k}} \quad , \quad B_{H_k} = m_0 \sqrt{\lambda_{B_k}} \tag{5.6}$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2\mathbf{Q}_{xy}}{\mathbf{Q}_{xx} - \mathbf{Q}_{yy}}\right)_k \tag{5.7}$$

eşitlikleri ile hesaplanır. λ_{A_k} , λ_{B_k} matrsinin öz değerleridir ve bunlar için,

$$\lambda_{A_k} = \frac{1}{2}(\mathbf{Q}_{xx} + \mathbf{Q}_{yy} + W)_k$$
$$\lambda_{A_k} = \frac{1}{2}(\mathbf{Q}_{xx} + \mathbf{Q}_{yy} - W)_k \qquad (5.8)$$
$$W_k = \sqrt{((\mathbf{Q}_{xx} - \mathbf{Q}_{yy})^2 + 4\mathbf{Q}_{xy}^2)_k}$$

bağıntıları geçerlidir.

k noktası, serbestlik derecesi $f = n - u$ ya bağlı olarak belli bir istatistik güven ile Helmert Ortalama Hata Elipsi içerisinde bulunur. Bu güven olasılığı $f < 5$ ise $S_H \cong \%30$, $f > 10$ için $S_H \cong \%39$ değerine eşittir.

Güven elipsleri ile noktaların güven olasılıkları yükseltilebilir. k noktasına ilişkin güven elipsinin büyük yarı ekseni A_{G_k} ve küçük yarı ekseni B_{G_k} için,

$$A_{G_k} = m_0\sqrt{2\lambda_{A_k}\ \mathrm{F}_{2,f,1-\alpha}}\ ,\ \ B_{G_k} = m_0\sqrt{2\lambda_{B_k}\ \mathrm{F}_{2,f,1-\alpha}} \qquad (5.9)$$

bağıntıları geçerlidir. $\mathrm{F}_{2,f,1-\alpha}$ öngörülen istatistik güven $s = 1 - \alpha$ ve serbestlik dereceleri 2 ve $f = n - u$ (n ölçü sayısı, u bilinmeyen sayısı) ile F dağılım tablosundan alınır. Güven elipsleri yüksek bir istatistik güven değeri, örneğin $S = \%95$ ile hesaplanabildiğinden Helmert Ortalama Hata Elipslerinden daha uygun bir duyarlılık ölçütüdür.

Helmert Ortalama Hata Elipsi ile Güven Elipsi arasındaki ilişki (5.6) ve (5.9) bağlantılarının karşılaştırılmasından çıkar. Buna göre elipslerin yarı eksen uzunluklarının birbirlerine oranı,

$$\frac{A_G}{A_H} = \sqrt{2\ \mathrm{F}_{2,f,1-\alpha}} \qquad (5.10)$$

serbestlik derecesi f ve istatistik güven S'e bağlı olarak Çizelge 5.1. 'de A_G/A_H oran değerleri verilmektedir.

Çizelge 5.1. A_G / A_H oranı

f	A_G/A_H	
	S = % 95	S = % 99
1	20	100
2	6.16	14.1
5	3.40	5.16
10	2.86	3.89
∞	2.45	3.04

Helmert Ortalama Hata Elipsi ve Güven Elipsi de ortalama nokta hatası gibi koordinat sistemindeki dönme ve ötelenmeden etkilenmezler. Yalnız, büyüklükleri ağda bilinen olarak alınan noktalara bağlıdır.

Herhangi bir k noktasının nokta ortalama hatası ile Helmert Hata Elipsi arasında,

$$m_k^2 = m_{x_k}^2 + m_{y_k}^2 = A_{H_k}^2 + B_{H_k}^2 \tag{5.11}$$

ilişkisi vardır.

Noktalara göre tanımlanan bir başka duyarlılık ölçütü de Werkmeister Nokta Ortalama hatasıdır. k noktası için $\underline{\mathbf{C}}_{kk}$ varyans-kovaryans matrislerinin determinantı olarak,

$$det\ (\underline{\mathbf{C}}_{kk}) = m_0^4 \lambda_{A_k} \lambda_{B_k} = A_{H_k}^2 B_{H_k}^2 \tag{5.12}$$

eşitliği ile verilen bu büyüklük, Helmert Ortalama Hata Elipsleri yada Güven Elipsinin alanında ($F = \pi \,.\, A.\, B$) belli bir oranda farklıdır (İnal, 2009).

5.1.2. Bağıl duyarlık ölçütleri

Noktalara ilişkin olarak tanımlanan skaler duyarlık ölçütleri Helmert Nokta Ortalama Hatası, Werkmeister Nokta Ortalama Hatası ve yüzeysel duyarlık ölçütleri; Helmert ortalama hata elipsi ve güven elipsleri ağda sabit alınan noktalara bağlı

büyüklükler olduğundan gerçekte yeni noktaların sabit noktalara göre bağıl duyarlıklarını verir.

Uygulamada çoğu kez ağdaki noktalarının karşılıklı konum duyarlıkları ya da komşu nokta duyarlılığı ile ilgilenilir. Bu durumda bağıl güven elipsi ya da parsiyel güven elipsi hesaplanır.

i ve *k* noktaları arasındaki bağıl güven elipsini belirlemek için bu noktaların koordinat farkları vektörü $\mathbf{d}_{ik}$;

$$\underline{\mathbf{d}}_{ik} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_k - \mathbf{x}_i \\ \mathbf{y}_k - \mathbf{y}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_x \\ \mathbf{d}_y \end{bmatrix}_{ik} \tag{5.13}$$

ve buna ilişkin ağırlık katsayıları matrisi $\underline{\mathbf{Q}}_{dd}^{ik}$;

$$\underline{\mathbf{Q}}_{dd}^{ik} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{d_x d_x} & \mathbf{Q}_{d_x d_y} \\ \mathbf{Q}_{d_y d_x} & \mathrm{Q}_{d_y d_y} \end{bmatrix} = \underline{\mathbf{Q}}_{ii} + \underline{\mathbf{Q}}_{kk} - \underline{\mathbf{Q}}_{ik} - \underline{\mathbf{Q}}_{ik}^{T}$$

$$\underline{\mathbf{Q}}_{ii} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{x_i x_i} & \mathbf{Q}_{x_i y_i} \\ \mathbf{Q}_{y_i x_i} & \mathbf{Q}_{y_i y_i} \end{bmatrix}, \underline{\mathbf{Q}}_{kk} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{x_k x_k} & \mathbf{Q}_{x_k y_k} \\ \mathbf{Q}_{y_k x_k} & \mathbf{Q}_{y_k y_k} \end{bmatrix}, \underline{\mathbf{Q}}_{ik} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{x_i x_k} & \mathbf{Q}_{x_i y_k} \\ \mathbf{Q}_{y_i x_k} & \mathbf{Q}_{y_i y_k} \end{bmatrix} \tag{5.14}$$

oluşturulur. Bağıl güven elipsinin yarı eksen uzunlukları da güven elipsi için verilen (5.6)-(5.8) eşitliklerinde (5.14) matrisinin elemanları dikkate alınarak (5.9) bağıntıları ile hesaplanır. Bağıl güven elipsi *i* ve *k* noktalarını birleştiren doğrunun orta noktasına çizilir.

Komşu nokta duyarlığı için bir başka ölçütte, bir noktanın çevresindeki komşu noktalara göre duyarlığını veren parsiyel güven elipsidir. Yeni bir k noktası için söz konusu elipsin belirlenmesinde bütün komşu noktalar hatasız kabul edilir. Konum ağına ilişkin normal denklem katsayılar matrisi $\underline{\mathbf{N}}$ ve mutlak terimler vektörü $\underline{\mathbf{n}}$ alt matrislere ve alt vektörlere ayrılmış biçimde,

$$\underline{\mathbf{N}} = \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{N}}_{11} & \underline{\mathbf{N}}_{21} & \cdots & \underline{\mathbf{N}}_{1p} \\ \underline{\mathbf{N}}_{21} & \underline{\mathbf{N}}_{22} & \cdots & \underline{\mathrm{N}}_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{\mathbf{N}}_{p1} & \underline{\mathbf{N}}_{p2} & \cdots & \underline{\mathbf{N}}_{pp} \end{bmatrix}, \ \underline{\mathbf{n}} = \begin{bmatrix} \underline{\mathrm{n}}_1 \\ \underline{\mathbf{n}}_2 \\ \vdots \\ \underline{\mathbf{n}}_p \end{bmatrix} \tag{5.15}$$

yazılabilir. $\underline{\mathbf{N}}$'in *k.* köşegen elamanı $\underline{\mathbf{N}}_{kk}$ ve $\underline{\mathbf{n}}$'in k alt vektörü $\underline{\mathbf{n}}_{kk}$ ile;

$$\underline{\mathbf{N}}_{kk}.\underline{\mathbf{x}}_k = \underline{\mathbf{n}}_k \tag{5.16}$$

parsiyel normal denklem sisteminin çözümünden k noktasının koordinat bilinmeyenleri vektörü, $\underline{\mathbf{x}}_k^T = [\mathbf{x}_k \quad \mathbf{y}_k]$ 'nin ağırlık katsayıları matrisi;

$$\underline{\overline{\mathbf{Q}}}_{kk} = \underline{\mathbf{N}}_{kk}^{-1} = \begin{bmatrix} \overline{\mathbf{Q}}_{xx} & \overline{\mathbf{Q}}_{xy} \\ \overline{\mathbf{Q}}_{yx} & \overline{\mathbf{Q}}_{yy} \end{bmatrix}_k \tag{5.17}$$

elde edilir. Bu matrisin elemanları yardımıyla (5.6)-(5.9) bağıntıları kullanılarak parsiyel güven elipsinin yarı eksen uzunlukları ve büyük eksenin doğrultu açısı bulunur. Ağdaki bütün yeni noktalar için benzer biçimde parsiyel güven elipsi belirlenebilir. Bu elipsler ilgili noktalarda çizilerek yeni ağ noktalarının komşu nokta duyarlıklarını gösteren bir şekil elde edilir (İnal, 2009).

5.1.3. Global duyarlık ölçütleri

Bu ölçütler yardımıyla ağın bütünü hakkında bir yargıya varılır. Genellikle jeodezik ağların optimizasyonunda kullanılırlar. Ağın tamamına ilişkin bir duyarlık ölçütü, Helmert nokta ortalama hatalarının toplamı alınarak tanımlanan;

$$iz\left(\underline{\mathbf{Q}}_{xx}\right) = m_0^2.iz\left(\underline{\mathbf{Q}}_{xx}\right) = \sum_{k=1}^{p} m_k^2 = \sum_{k=1}^{p}\left(m_{x_k}^2 + m_{y_k}^2\right) = min \tag{5.18}$$

büyüklüğündedir. Buna göre ağ noktalarının koordinat hataları ya da bunların ağırlık katsayıları olabildiğince küçük yapılmalıdır. (5.18) eşitliği yerine ondan belirli bir oranda sapan

$$iz\left(\underline{\mathbf{Q}}_{xx}\right) = \sum_{i=1}^{2p} \lambda_i = \min \tag{5.19}$$

ölçütü alınabilir. λ_i'ler bilinmeyenlerin $\mathbf{Q}_{xx}$ ağırlık katsayıları matrisinin öz değerleridir. Koordinat bilinmeyenleri vektörü $\underline{\mathbf{x}}$ için güven hiperelipsoidinin A_i yarı eksen uzunlukları,

$$A_i = m_0\sqrt{2p\ ,\lambda_i\ ,\mathrm{F}_{2p,f,1-\alpha}} \tag{5.20}$$

bağıntısı ile hesaplana bildiğinden (5.19) formülü

$$iz\left(\underline{\mathbf{Q}}_{xx}\right) = \sum_{i=1}^{2p}\lambda_i = \frac{1}{m_0^2.\,2p.\,\mathrm{F}_{2p,\lambda_i,1-\alpha}}.\ \sum_{i=1}^{2p}\mathrm{A}_i^2\ =\ min \tag{5.21}$$

biçiminde hiperelipsoidin A_i yarı eksen uzunluklarının kareleri toplamına dönüştürülebilir.

Bağlantılı ağlar için yukarıda verilen duyarlılık ölçütleri genel olarak serbest ağlara da uygulanabilir. Bağlantılı ağ dengelemesinde bilinmeyenlerin varyans-kovaryans matrisine dış hata matrisi ya da bağıl hata matrisi, serbest ağ dengelemesindekine ise iç hata matrisi denir.

$$m_{dış} = m_0.\sqrt{\frac{iz\left(\underline{\mathbf{Q}}_{xx}\right)}{2p}} \qquad\qquad m_{iç} = m_0.\sqrt{\frac{iz(\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}})}{2p}} \tag{5.22}$$

Büyüklükleri ağın tamamına ilişkin duyarlık ölçütleridir. $m_{dış}$'a ağın dış duyarlığı, $m_{iç}$'e ağın iç duyarlığı denir. $m_{dış}$ eşitliğinde geçen p ağdaki yeni nokta sayısı, ötekisinde ise toplam nokta sayısı anlamında kullanılmıştır. Serbest ağ dengelemesi ile elde edilen ağırlık katsayılar matrisinin ($\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}}$) izi başka çözüm sonuçları karşısında en küçük olduğundan $m_{dış}$ ve $m_{iç}$ arasında $m_{dış} > m_{iç}$ ilişkisi vardır (Öztürk, 1982).

5.2 Jeodezik Ağlarda Güven Ölçütleri

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi bilinmeyenlerin varyans-kovaryans matrisinin elemanlarından dönüştürülen duyarlık ölçütleri ile dengeleme sonuçlarına

ilişkin olarak varılan yargılar ancak fiziksel ve geometrik ilişkileri tanımlayan fonksiyonel model ile ölçülerin duyarlığını ve aralarındaki korelasyonları gösteren stokastik modelin gerçeği yansıtması, kısacası model hipotezinin geçerli olması durumunda doğrudur. Bu yüzden model hipotezinin geçerli olup olmadığı uygun test yöntemleri ile incelenmeli ve olası model hataları ortaya çıkartılmalıdır. Bir jeodezik ağda model hatası belirlenebiliyorsa bu ağa güvenli ağ denir. Ağın güvenilirliği belirli güven ölçütleri ile ölçülür. Lokal güven ölçütü, tek tek ölçü değerlerindeki kaba hataları ortaya çıkartmaya yarar. Global güven ölçütü, ağın tamamında ya da bir bölümünde etkili olan fonksiyonel modeldeki hataların belirlenmesi olanağını sağlar. Model hatalarına örnek olarak, ölçü aletlerinde yapılan ayar hataları, ölçülerin yanlış ve noksan indirgenmesi sayılabilir (İnal,2010).

Bir jeodezik ağ küçük kaba hataları ortaya çıkarabildiği zaman o ağın güvenirliğinin yüksek olduğu kabul edilir (Baarda, 1968).

5.2.1. Global güvenilirlik ölçütü

Model hipotezini test etmek için, dengeleme sonucunda bulunan birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatası m_0, a piriori duyarlık σ_0 ile ya da ön dengelemeden elde edilen $\overline{m}_0$ ile karşılaştırılır. $\overline{m}_0$ ise;

- Nivelman ağlarında gidiş-dönüş ölçü farklarından
- Doğrultu ağlarında istasyon dengelemelerinden
- Kenar ağlarında karşılıklı ölçü farklarından ya da değişik atmosferik şartlarda tekrarlanan ölçülerden

hesaplanabilir.

Model hipotezi doğru ise, $\overline{m}_0^2$ ve m_0^2 varyanslarının beklenen değeri arasında,

$$\mathrm{E}\left(\overline{m}_0^2\right) = \mathrm{E}\left(m_0^2\right) = \sigma_0^2 \tag{5.23}$$

bağıntısı geçerli olur. Test büyüklüğü;

$$\mathrm{T} = \frac{m_0^2}{\overline{m}_0^2} \quad , \qquad m_0 > \overline{m}_0 \tag{5.24}$$

bağlantısı ile hesaplanır. Bu değer **F** dağılım tablosundan alınan $\mathbf{F}_{f,\bar{f},1-\alpha}$ sınır değeri ile karşılaştırılır.

f : m_0 hesabındaki serbestlik derecesi

$\bar{f}$: $\bar{m}_0$ hesabındaki serbestlik derecesi

α : Yanılma ihtimali (genellikle α=0.05 alınabilir)

olmak üzere $\mathbf{T} > \mathbf{F}_{f,\bar{f},1-\alpha}$ ise, model hipotezi geçersizdir. Bunun nedeni, ölçülerin birinde veya bir kaçında kaba hata olabileceği gibi ölçülerin eksik ya da yanlış indirgemeleri veya ölçü aletlerinin yanlış kalibrasyonu olabilir.

Bir jeodezik ağda, kaba hatalı ölçülen ayırma gücü olan iç güvenirlik ile ortaya çıkarılamayan model hatalarının dengeleme sonuçlarına olan etkilerim gösteren dış güvenirliğin belirlenmesi gerekir (Paper and Niemeier, 1983)

5.2.1.1. İç güvenirlik ölçütleri

İç güvenirlik ölçütü, hata sınırına yakın kaba hatalı ölçüleri ayırma gücüdür. Diğer bir deyişle, bir ölçüdeki hatanın açığa çıkarılabilmesi için en az ne büyüklükte bir değere ulaşması gerektiğini gösteren ölçüttür (Yalçınkaya ve ark., 2003).

Jeodezik bir ağın dengelenmesiyle bulunan **v** düzeltmeleri dengelenmiş ölçülerle orijinal ölçülerin farkı olarak ortaya çıkar.

$$\mathbf{v} = \bar{\mathbf{l}} - \mathbf{l} = \mathbf{A}\bar{\mathbf{x}} - \mathbf{l} = (\mathbf{A}\mathbf{Q}_{xx}\mathbf{A}^T\mathbf{P} - \mathbf{I}).\mathbf{l} = \mathbf{A}\mathbf{Q}_{xx}\mathbf{A}^T\mathbf{P}\mathbf{l} - \mathbf{l} \qquad (5.25)$$

(5.25) bağıntısında **I** birim matrisi göstermektedir ve,

$$\mathbf{Q}_{vv} = \mathbf{Q}_{ll} - \mathbf{A}\mathbf{Q}_{xx}\mathbf{A}^T \qquad (5.26)$$

bağıntısıyla hesaplanır. (5.25) ve (5.26) formüllerinden **l** asıl ölçülerin fonksiyonu olan **v** düzeltmelerinin önemli ilişkisi çıkartılabilir.

$$\mathbf{v} = -\mathbf{Q}_{vv}\mathbf{P}\mathbf{l} \qquad (5.27)$$

i gözlemindeki olası bir Δ_i hatası, tüm düzeltmelerini Δ_{v_j} kadar etkiler,

$$\Delta_{v_j} = -(\mathbf{Q}_{vv}\mathbf{P})_{ji}\Delta_i \tag{5.28}$$

kaba bir Δ_i hatasının $\mathbf{v}_i$ düzeltmesine etkisi, $(\mathbf{Q}_{vv}\mathbf{P})$'nin ana köşegen elemanı ile tesbit edilir.

$$\Delta_{v_j} = -(\mathbf{Q}_{vv}\mathbf{P})\Delta_i = -r_i\Delta_i \tag{5.29}$$

Bu ana köşegen elemanı *r* toplam redundanzın *i*.gözleme ait r_i kısmi redundanzı olarak isimlendirilir ve

$$iz(\mathbf{Q}_{vv}\mathbf{P}) = \sum r_i = n\text{-}u = r \tag{5.30}$$

ilişkisi geçerlidir. Görüldüğü gibi toplam redundanz *r* fazla ölçü sayısına eşittir. r_i ise $\mathbf{l}_i$ ölçüsünün fazla ölçü sayısına katkısını göstermektedir. Kısmi redundanz ağ geometrisinin açıklanması için karakteristik bir büyüklüktür ve *i*.gözlemdeki bir kaba hatanın ona ait düzeltme ne oranda yapılacağını gösterir.

Güvenilir bir ağda mümkün olduğunca büyük ve eşit büyüklükte kısmi redundanzlar ortaya çıkmalıdır. Kısmi redundanzlar yardımıyla ölçülerin kontrol edilebilirliği yorumu;

$0 \leq r_i < 0.01$	Kontrol Edilemez
$0.01 \leq r_i < 0.1$	Yeterli kontrol edilemez
$0.1 \leq r_i < 0.3$	Yeterli kontrol edilebilir
$0.3 \leq r_i < 1$	İyi kontrol edilebilir

değerleri ile kontrol edilebilir

Ölçülerdeki olası kaba hataların ortaya çıkarılabilmesi için, istatistiki olmayan metotlar (örneğin; düzeltmelerin büyüklüğüne göre değerlendirme yapılması) uygun değildir. Baarda(1968)'ya göre kaba hataların ortaya çıkarılabilmesi için korelasyonsuz gözlemlerde test büyüklüğü olarak normal dağılımlı normlaştırılmış düzeltme kullanılır.

$$w_i = -\frac{v_i}{\sigma_{v_i}} = -\frac{v_i}{\sigma\sqrt{Q_{v_iv_i}}} \approx N(0.1) \tag{5.31}$$

Baarda(1968) tarafından "data snooping" olarak adlandırılan bu istatistik test, eğer varyans faktörlerinin global testi,

$$T = \frac{m_0^2}{\sigma^2} > F_{f,\infty,1-\alpha} \tag{5.32}$$

önceden red edilmişse tüm ölçüler için uygulanır. Bu bağıntıda;

m_0^2 : Dengeleme sonrası varyans

σ_0^2 : Dengeleme öncesi deneysel varyans

f : Dengelemenin serbestlik derecesi'ni

göstermektedir.

$|w_i|$ standart normal dağılım tablosundan alınan $k_{1-\alpha/2}$ sınır değeri ile karşılaştırılır.

$|w_i| > k_{1-\alpha/2} = \sqrt{F_{1,\infty,\alpha}}$ ise, bu ölçüde kaba bir hata olduğu tahmin edilir.

Eğer Δ_i kaba hatası mevcut ise, $w_i \approx N(0.1)$ dağılımında olamaz. $w_i \approx N(\delta_i, 1)$ dağılımlı olur. Burada δ_i dış merkezlik parametresi olarak isimlendirilir.

$$w_i|H_0 \approx N(0,1)$$
$$w_i|H_0 \approx N(\delta_i, 1) \tag{5.33}$$

Δ_i kaba hatasının (5.32) bağıntısındaki test büyüklüğüne etkisi, (5.29) bağıntısı dikkate alınırsa;

$$\Delta w_i = f_i = -\Delta v_i \Big| \sigma_0 \sqrt{Q_{v_i v_i}} = r_i \Delta_i \Big| \sigma_0 \sqrt{Q_{v_i v_i}} = \sqrt{r_i}\, \Delta_i / \sigma_{l_i} \tag{5.34}$$

şeklinde yazılabilir. H_{A_i} alternatif hipotezin konumu, tahmin edilen Δ_i kaba hatasının büyüklüğüne bağlıdır. Bir Δ_i hatasının ortaya çıkarılma ihtimali alternatif hipotez testinin β_i test gücüne bağlıdır.

$$P\left(|w_i| > k \mid H_{A_i}\right) = \beta_i \tag{5.35}$$

Genellikle elimizde bir kaba hatanın büyüklüğüne ait bilgi olmadığı için, şu soru sorulabilir: "Hangi büyüklükteki bir kaba hata S güvenilirlik ihtimali ile β_0 test gücü kullanılarak (5.32) bağıntısındaki istatistik test ile ortaya çıkarılabilir?" α_0 ve β_0 verilirse, alternatif hipotezin konumu ve merkezi olmayan parametre δ_0 tespit edilebilir.

Örneğin; $\alpha_0 = 0.01$ ve $\beta_0 = 0.80$ alınırsa aşağıda verilen Çizelge 5.2.'den $f_0 = 3.42$ olarak bulunur.

Çizelge 5.2. $\boldsymbol{\alpha_0}$ ve **$\boldsymbol{\beta_0}$** değerlerine karşılık **$\boldsymbol{f_0}$** degerleri

α_0 / β_0	%0.01	%0.1	%1	%5
%70	4.41	3.82	3.10	2.79
%80	4.72	4.13	3.42	2.79
%90	5.18	4.57	3.86	3.24

(5.34) bağıntısından β_0 test gücü ile ortaya çıkabilecek kaba bir hatanın alt sınır değeri Δ_{0_j} hesaplanabilir.

$$\Delta_{0_j} = \frac{\sigma_i}{\sqrt{r_i}} . \delta_0 \tag{5.36}$$

Bu alt sınır değeri, kısmi redundanz r_i ve a priori ölçü hassasiyeti σ_i'yi içerdiği için uygun bir güvenirlik ölçütüdür. İyi bir jeodezik ağda istenilen, küçük kaba hataların kolaylıkla tespit edilebilmesi ve sınır değerlerinin farklı ölçü tiplerinde bile eşit değerlere sahip olmalarıdır.

İyi bir jeodezik ağda çok küçük kaba hataların ortaya çıkarılabilmesi ve Δ_i sınır değerinin olabildiğince birbirine yakın büyüklükler olması istenir (İnal ve Baybura, 1995).

5.2.1.2. Dış güvenilirlik ölçütleri

Bir jedeozik ağın endirek ölçüler dengelemesi ile dengelemesinde gözlemler ile bilinmeyenler arasında

$$\mathbf{x} = \mathbf{Q}_{xx}\mathbf{A}^T\mathbf{Pl} \tag{5.37}$$

ilişkisi mevcuttur. Tespit edilemeyen ölçü hataları koordinat bilinmeyenlerini ve bunlardan çıkarılan tüm fonksiyonları etkiler. Herhangi bir ölçüde yapılan Δ_{0_i} kadar bir hatanın koordinat bilinmeyenlerine etkisi,

$$\Delta_{x_i} = \mathbf{Q}_{xx}\mathbf{a}_i^T\mathbf{P}_i\Delta_{0_i} \tag{5.38}$$

eşitliği ile elde edilir. (5.38) bağıntısında;

a_i : A matrisinin i.satırı

P_i : l_i ölçüsünün ağırlığı

dır. Burada koordinat bilinmeyenleri vektörü $\underline{\mathbf{x}}_i$ ağın datumuna bağlı olduğundan, koordinat hataları vektörü $\underline{\Delta}_{x_i}$' de ağın datumuna bağlı olur. Ağın dış güvenirliği için datumdan bağımsız bir ölçüt olarak,

$$\overline{\boldsymbol{\delta}}_{0_i} = \sqrt{\frac{1-r_i}{r_i}} \,.\, \delta_0 = \sqrt{\frac{a_i^T.\mathbf{Q}_{xx}.a_i}{\mathbf{Q}_{v_iv_i}}} \,.\, \delta_0 = \frac{\sigma_{l_i}.\delta_0}{\sigma_{v_i}} \tag{5.39}$$

eşitliği ile verilebilir. Bilinmeyenlerin herhangi bir fonksiyonu için $\varphi = \text{ø}(x)$ olmak üzere;

$$\overline{\delta}_{0_i} \geq \frac{\Delta_{0_i}}{\sigma_\varphi} \tag{5.40}$$

bağıntısı geçerli olur ve Δ_{0_i} hatasının bir fonksiyona maksimum etkisi $\overline{\delta}_{0_i}$ etki faktörü yardımıyla tahmin edilebilir. İyi bir jeodezik ağda $\overline{\delta}_{0_i}$ etki faktörlerinin mümkün olduğunca küçük olması istenir. Böylece tespit edilemeyen ölçü hataları, sonucun doğruluğunu en az etkiler.

Güvenirlik açısından iyi bir jeodezik konum ağında;

- $r_i > 0.25$ Kısmi redundanz,
- $\Delta_{0_i} \leq (6-8)\sigma_{l_i}$ İç güvenirlik
- $\overline{\delta}_{0_i} \leq 6-8$ Dış güvenirlik

sınırları arasında kalmalıdır (Murle ve Bill,1984).

6. DEFORMASYON ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Deformasyon araştırmasının son ve en önemli bölümü verilerin değerlendirilmesi ve sonuçların yorumu aşamasıdır. Yanlış bir karar verilmesinden doğacak sorumluluk ve zararın bedeli bazen ödenmeyecek kadar büyük olmaktadır. Bu nedenle çok dikkatli davranmak gerekir.

Deformasyon araştırmasında t_1 ve t_2 zamanlarında noktaların konumları belirlenir. İstatistik testler yardımıyla konum farklılıklarının anlamlı olup olmadığı araştırılır. Jeodezik ağın sıfır ve yineleme ölçüsü ya da iki yineleme ölçüsü arasında;

- Jeodezik deformasyon ağının yapısı aynı kalmışsa,
- Aynı ölçme planı uygulanmışsa,
- Ölçülerin duyarlıkları değişmemişse,

bu ağa "**univaryant ağ**" denir. Bu koşullardan herhangi biri gerçekleşmiyorsa "**multivaryant ağ**" söz konusudur. Univaryant ağlarda deformasyon analizi multivaryant ağlara göre daha kolaydır.

Deformasyonlar, problemin şekline, kapsamına ve uygulanan ölçme yöntemlerinin türüne göre değişik modeller kullanılarak incelenir.

6.1. Deformasyon Modelleri

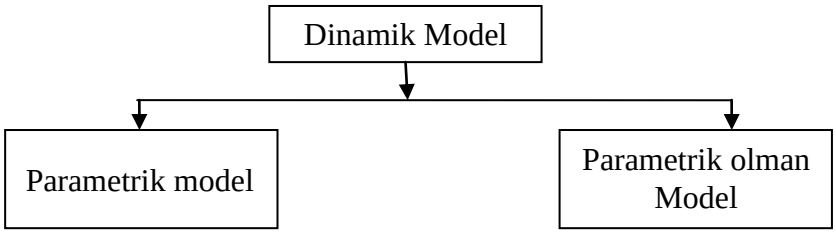
Deformasyon modelleri dinamik, kinematik ve statik model olmak üzere üç başlık altında incelenirler.

6.1.1. Dinamik model

Dinamik modeller, deformasyonların zamanın bir fonksiyonu olarak ele alındığı modellerdir. Dinamik deformasyon modellerinde, geometrik değişimlerin yanında deformasyonlara neden olan kuvvetlerin dış etkenlere bağlı değişimleri ve birbiri ile ilişkileri kuvvetlerin oluşmasına neden olan, zamana bağlı dönüşüm fonksiyonları yardımıyla araştırılır. Örnek olarak bir baraj deformasyon modeli ele alınırsa; baraj gölünde toplanan suyun hem baraj gövdesini hem de yakın çevre topografyasını etkilediği ortadadır. Etki basınç olarak ele alınırsa; basınç ve bunun su seviyesine göre değişimi, gövdede iç gerilmelere ve çevredeki yerkabuğu hareketlerine neden olmaktadır. Deformasyon oluşmasında etken olan kuvvetler ile yapı karakteristiklerinin

yer ve zamana bağlı bir dönüşüm fonksiyonu modeli ile incelenerek deformasyonların ve nedenlerinin ortaya konması dinamik bir modeldir (Atasoy ve Öztürk , 2005).

Dinamik model bir sistemin geçerliliğinin tamamıyla tanımladığından dolayı en genel ve en geniş kapsamlı modeldir. Dinamik sistem tanımlanırken iki bölümden oluşur. Bunlar parametrik olan dinamik sistem ve parametrik olmayan dinamik sistemdir (Heuncke ve Welsch ,2001).



Şekil 6.1. Dinamik deformasyon modelinin sınıflandırılması

6.1.2. Kinematik model

"Tüm noktalarda doğrusal ya da ivmesel hareket vardır" şeklinde sıfır hipotezi kurularak oluşturulan modele **Kinematik Model** denir (Yalçınkaya, 2000)**.** Kinematik modelin amacı, ettirgen güçler için potansiyel bir ilişki olmaksızın zamanın fonksiyonları tarafından nokta hareketlerine uygun bir tanım bulmaktır. Çok terimli yaklaşımlar özellikle hız, ivme ve harmonik fonksiyonlar yaygın bir şekilde kullanılır (Heuncke ve Welsch ,2001). Kinematik modeller, deformasyon irdelemesi yapılacak bölge ya da yapının karakteristik noktalarının hareketlerini ve bu hareketlerin hızlarını belirlemek amacıyla kurulan modellerdir. Deformasyon irdelemesine konu olan bölge ve yapının bir periyottaki ölçme işlerinin uzun zaman aldığı durumlarda uygulanır. Sözgelişi ülke nivelman ağının yineleme ölçülerinden yararlanarak büyük bölgesel yerkabuğu hareketleri araştırılmak istenirse, ölçmeler 20-25 yıl aralıklarla yinelenmekte ve bir nivelman ölçmesi ancak 3-4 yılda tamamlanabilmektedir. Ölçme süresi olan 3-4 yıl boyunca nivelman noktalarının yüksekliklerinin sabit kaldıkları düşünülemeyeceğinden, irdeleme sırasında noktaların yükseklikleri yerine yükseklik değişimleri zamanın fonksiyonu olarak yazılır ve düşey hareketlerin hızları araştırılır (Atasoy ve Öztürk, 2005).

6.1.3. Statik model

"İki periyot arasında hareket yoktur" şeklinde sıfır hipotezi kurularak oluşturulan modele **Statik Model** denir (Yalçınkaya, 2000). Deformasyon incelemesine konu olan bölge veya yapının karakteristik noktalarının, deformasyon vektörlerinin zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olarak belirlenmesi statik modelin konusudur. Bu modelde tüm sistemin bir kez ölçülmesi sırasında noktaların sabit kaldığı varsayılır. Statik model jeodezik yöntemlerle deformasyon analizinde en çok kullanılan modeldir (Ayan, 1983).

6.2. Deformasyon Modellerinin Karşılaştırılması

Deformasyon modelleri kendi aralarında farklılıklar göstermektedir. Bunların karşılaştırılması Çizelge 6.1.'de verilmektedir.

Çizelge 6.1. Deformasyon modellerinin sınıflandırılması (Heuncke ve Welsch, 2001)

Deformasyon Modeli	**Kinematik Model**	**Statik Model**	**Dinamik Model**
Zamanın etkisi	**Zaman fonksiyonu olarak hareketler**	Modelleme yok	**Yük ve zamanın bir etkisi olarak hareketler**
Kuvvetin etkisi	Modelleme yok	**Yükün etkisi olarak yer değiştirme**	
Objenin durumu	**Hareket halindeki süreklilik**	**Yük altında yeterli miktarda değişim**	**Hareket halindeki süreklilik**

6.3. Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi ile Deformasyon Analizi

Kontrol ağındaki, deformasyon noktaları ile sabit noktaların geometrik olarak ayrılabilir olması durumunda Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi etkin olarak kullanılabilen bir yöntemdir.

6.3.1. Sabit noktalara göre deformasyon analizi

Sabit noktaların koordinat bilinmeyenleri vektörü $\mathbf{x}_F$ ile gösterilirse, t_1 ve t_2 periyotlarına ait ölçüler, sabit noktalara ilişkin bilinmeyenlerin kısmi izinin minimum olması koşulu ile en küçük kareler yöntemine göre dengelenir(Ayan, 1983; Demirel, 1987).

$$\mathbf{x}_F^T \mathbf{x}_F = min \tag{6.1}$$

$\underline{\mathbf{x}}_{1F}$, $\underline{\mathbf{x}}_{1D}$ vektörleri sırasıyla 1. periyotta sabit ve hareketli noktaların koordinat bilinmeyenleri vektörü; $\underline{\mathbf{x}}_{2F}$, $\underline{\mathbf{x}}_{2D}$ ise sırasıyla 2. periyotta sabit ve hareketli noktaların koordinat bilinmeyenleri vektörü ile gösterilirse, bilinmeyenlerin kısmi izinin minimum olması koşulu ile yapılan dengeleme sonucunda hesaplanan bilinmeyenler vektörü;

$$\hat{\underline{\mathbf{x}}}_1 = \begin{vmatrix} \mathbf{x}_{1F} \\ \underline{\mathbf{x}}_{1D} \end{vmatrix} \quad , \hat{\underline{\mathbf{x}}}_2 = \begin{vmatrix} \mathbf{x}_{2F} \\ \underline{\mathbf{x}}_{2D} \end{vmatrix} \tag{6.2}$$

bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi de;

$$\underline{\mathbf{Q}}_{\hat{x}_1} = \begin{vmatrix} \underline{\mathbf{Q}}_{1FF} & \underline{\mathbf{Q}}_{1FD} \\ \underline{\mathbf{Q}}_{1DF} & \underline{\mathbf{Q}}_{1DD} \end{vmatrix}, \ \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{x}_2} = \begin{vmatrix} \underline{\mathbf{Q}}_{2FF} & \underline{\mathbf{Q}}_{2FD} \\ \underline{\mathbf{Q}}_{2DF} & \underline{\mathbf{Q}}_{2DD} \end{vmatrix} \tag{6.3}$$

eşitliklerindeki gibi elde edilir.
Yalnız sabit noktalara ait koordinat farkları vektörü ve ters ağırlıklar matrisi sırasıyla,

$$\hat{\underline{\mathbf{d}}}_F = \hat{\underline{\mathbf{x}}}_{2F} - \hat{\underline{\mathbf{x}}}_{1F} \tag{6.4}$$

$$\underline{\mathbf{Q}}_{dF} = \underline{\mathbf{Q}}_{1FF} + \underline{\mathbf{Q}}_{2FF} \tag{6.5}$$

olur. Sabit noktaların hareket edip etmediklerini test etmek için sıfır hipotezi,

$$H_0 : E\{\hat{\mathbf{d}}_F\} = 0 \tag{6.6}$$

şeklinde kurulur. Bu hipotezde koordinat fakları $\underline{\mathbf{d}}_F$'in karesel testi ile test edilir. Sabit noktalar için deneysel varyans;

$$R_F = \underline{\mathbf{d}}_F^T \underline{\mathbf{Q}}_{dF}^{+} \underline{\mathbf{d}}_F \tag{6.7}$$

$$m_{01}^2 = \frac{R_F}{f_1} \quad , \quad f_1 = 2n_F \tag{6.8}$$

olarak elde edilir. Burada n_F, sabit nokta sayıdır. Her iki periyodun ayrı ayrı serbest dengelenmesi sonucu hesaplanan düzeltmelerin kareleri toplamından yararlanarak her iki periyot için ortak olan varyans değeri $f_2 = f_{01} + f_{02}$ olmak üzere;

$$m_{02}^2 = \frac{\mathbf{v}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{v}_2}{f_{01} + f_{02}} \tag{6.9}$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada;

$\mathbf{v}_1$: 1. periyot ölçülerinin dengelemesi sonucu hesaplanan düzeltme vektörü

$\mathbf{v}_2$: 2. periyot ölçülerinin dengelemesi sonucu hesaplanan düzeltme vektörü

f_{01} : 1. periyot ölçülerinin dengelenmesindeki fazla ölçü sayısı

f_{02} : 2. periyot ölçülerinin dengelenmesindeki fazla ölçü sayısıdır.

f_{01} ve f_{02} fazla ölçü sayıları $f_{01} = n_1 - u_1 + d$; $f_{02} = n_2 - u_2 + d$ eşitlikleriyle hesaplanırlar. Bu eşitliklerde, n_1 ve n_2 sırasıyla birinci ve ikinci periyot ölçülerinin dengelenmesinde ölçü sayısını, u_1 ve u_2 sırasıyla birinci ve ikinci periyot ölçülerinin dengelenmesinde bilinmeyenlerin sayısını ve d de datum bilinmeyeni değerini göstermektedir.

(6.8) ve (6.9) eşitliklerinden hesaplanan varyanslardan yararlanarak test büyüklüğü

$$\mathrm{T}_1 = \frac{m_{01}^2}{m_{02}^2} \tag{6.10}$$

eşitliği ile hesaplanır. Test büyüklüğü değeri F-tablo değeriyle karşılaştırılır.

$\mathrm{T}_1 < \mathrm{F}_{f_1, f_2, 1-\alpha}$ ise sabit noktalarda deformasyon yoktur.

$\mathrm{T}_1 > \mathrm{F}_{f_1, f_2, 1-\alpha}$ ise sabit noktalardan en az biri hareket etmiştir denilir.

Deformasyon olması durumunda $\underline{\hat{\mathbf{d}}}_F$ vektöründe mutlak değeri en büyük olan değer çıkarılır ve sıfır hipotezi yeniden kurularak test edilir. Bu işlemler, test

büyüklüğü tablo değerinden küçük oluncaya kadar tekrar edilir (Yalçınkaya ve Tanır 2000). Sabit noktalar testinde hareket ettiği belirlenen sabit noktalar deforme olan obje noktası olarak alınır. Sabit noktaların testinden sonra, obje (deformasyon) noktaların testine geçilir.

6.3.2. Obje noktalarına göre deformasyon analizi

Sabit noktalar için bir çift, obje noktaları için iki çift koordinat bilinmeyeni seçilerek, $\mathbf{A}_I$ sabit noktalara karşılık gelen katsayılar matrisi, $\mathbf{A}_1$ve $\mathbf{A}_2$ hareketli noktalara karşılık gelen katsayılar matrisi olmak üzere, toplu dengelemenin fonksiyonel modeli ve stokastik modeli aşağıdaki gibi kurulur.

$$\begin{bmatrix}\underline{\mathbf{v}}_1\\ \underline{\mathbf{v}}_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\underline{\mathbf{A}}_I & \underline{\mathbf{A}}_1 & 0\\ \underline{\mathbf{A}}_I & 0 & \underline{\mathbf{A}}_2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\underline{\mathbf{x}}_F\\ \underline{\mathbf{x}}_1\\ \underline{\mathbf{x}}_2\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}\underline{\mathbf{l}}_1\\ \underline{\mathbf{l}}_2\end{bmatrix} \tag{6.11}$$

$$\underline{\mathbf{Q}} = \begin{bmatrix}\underline{\mathbf{Q}}_{FF} & \underline{\mathbf{Q}}_{F1} & \underline{\mathbf{Q}}_{F2}\\ \underline{\mathbf{Q}}_{1F} & \underline{\mathbf{Q}}_{11} & \underline{\mathbf{Q}}_{12}\\ \underline{\mathbf{Q}}_{2F} & \underline{\mathbf{Q}}_{21} & \underline{\mathbf{Q}}_{22}\end{bmatrix} \tag{6.12}$$

Burada $\underline{\mathbf{Q}}$ matrisi toplu dengelemin ters ağırlıklı matrisidir. Dengeleme sonucunda bulunan obje noktalarının koordinatlarından yararlanarak hesaplanan fark vektörü ve ters ağırlık matrisi

$$\underline{\mathbf{d}} = \underline{\mathbf{x}}_2 - \underline{\mathbf{x}}_1 \tag{6.13}$$

$$\underline{\mathbf{Q}}_d = \underline{\mathbf{Q}}_{11} + \underline{\mathbf{Q}}_{22} - \underline{\mathbf{Q}}_{12} - \underline{\mathbf{Q}}_{21} \tag{6.14}$$

şeklinde bulunur. Sıfır hipotezi aşağıdaki gibi kurulur.

$$\mathrm{H}_0\colon \mathrm{E}\{\underline{\mathbf{d}}\} = 0 \tag{6.15}$$

Sıfır hipotezi için deneysel varyans m_{03}^2 ; n_B, obje nokta sayısı ve f_3, serbestlik derecesi f_3 obje nokta sayısının iki katı olmak üzere;

$$m_{03}^2 = \frac{\underline{\mathbf{d}}^T \underline{\mathbf{Q}}_d^+ \underline{\mathbf{d}}}{f_3} \qquad f_3 = 2n_B \tag{6.16}$$

eşitliği ile hesaplanır.

Test büyüklüğü (6.9) ve (6.16) bağıntılarından yararlanılarak;

$$\mathrm{T}_2 = \frac{m_{03}^2}{m_{02}^2} \tag{6.17}$$

eşitliği ile hesaplanır ve $\mathrm{F}_{f_1,f_2,1-\alpha}$ tablo değeriyle karşılaştırılır.

$\mathrm{T} > \mathrm{F}_{f_3,f_2,1-\alpha}$ ise obje noktaları s = 1-α istatistik güvenle hareket etmiştir.

$\mathrm{T} < \mathrm{F}_{f_3,f_2,1-\alpha}$ ise deformasyon yoktur kararı hemen verilmemeli ve daha ayrıntılı deformasyon irdelemesine geçilir. Deformasyon noktalarındaki koordinat farkları vektörü korelasyonlu olduklarından teker teker anlamlılık testine tabi tutulmazlar. Bu nedenle, $\underline{\mathbf{d}}$ vektörü elemanları korelasyonsuz bir başka vektöre dönüştürülmelidir. Bunun için $\underline{\mathbf{d}}$ vektörünün tam dolu ağırlık matrisi $\mathbf{P}_d$;

$$\underline{\mathbf{P}}_d = \underline{\mathbf{Q}}_d^{-1} \tag{6.18}$$

ve **C** bir üst üçgen matrisi göstermek üzere

$$\underline{\boldsymbol{P}}_d = \underline{\boldsymbol{C}}^T \underline{\boldsymbol{C}} \tag{6.19}$$

biçiminde hesaplanır. $\underline{\mathbf{C}}$ üst üçgen matrisi simetrik $\underline{\mathbf{P}}_d$ matrisi yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\underline{\mathbf{P}}_d = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{11} & \mathbf{P}_{12} & \mathbf{P}_{13} & \dots & \mathbf{P}_{1n} \\ \mathbf{P}_{21} & \mathbf{P}_{22} & \mathbf{P}_{23} & \dots & \mathbf{P}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{P}_{n1} & \mathbf{P}_{n2} & \mathbf{P}_{n3} & \dots & \mathbf{P}_{nm} \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{11} & \mathbf{C}_{12} & \mathbf{C}_{13} & \dots & \mathbf{C}_{1n} \\ 0 & \mathbf{C}_{22} & \mathbf{C}_{23} & \dots & \mathbf{C}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \mathbf{C}_{nm} \end{bmatrix} \tag{6.20}$$

Burada, *n* obje noktası sayısına bağlı bir değerdir ve obje noktası sayısının iki katıdır ($n=2n_B$). **P** matrisinin alt indisleri satır ve sütün sayılarını ifade etmektedir. **C** matrisinin elemanları aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$C_{11} = \sqrt{P_{11}} \tag{6.21}$$

$$C_{li} = \frac{P_{li}}{C_{11}} \tag{6.22}$$

$$C_{jj} = \left(P_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} C_{ki}^2 \right)^{1/2} \tag{6.23}$$

$$C_{ij} = \left(P_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} C_{ki} C_{kj} \right) / C_{ii} \tag{6.24}$$

$\mathbf{P_d}$ matrisinin yerine **C** matrisinin konulması ile $\underline{\mathbf{d}}$ vektörünün karesel şekli;

$$\mathbf{q} = \underline{\mathbf{d}}^T \underline{\mathbf{P}}_d \underline{\mathbf{d}} = \underline{\mathbf{d}}^T \underline{\mathbf{C}}^T \underline{\mathbf{C}}\, \underline{\mathbf{d}} \tag{6.25}$$

elde edilir. Bu gösterim kısaltılarak,

$$\underline{\mathbf{C}}\, \underline{\mathbf{d}} = \underline{\mathbf{r}} \tag{6.26}$$

$$\mathbf{q} = \underline{\mathbf{r}}^T \underline{\mathbf{r}} = \mathbf{r}_{x1}^2 + \mathbf{r}_{y1}^2 + \ \ldots + \mathbf{r}_{xn}^2 + \mathbf{r}_{yn}^2 \tag{6.27}$$

elde edilir (İnal, 2010; Ayan, 1993; Bektaş, 1998). Burada *r* değerlerinin sayısı, obje noktası sayısı kadardır. Her bir noktaya ait *q* değerleri, *r*' lerin kareleri toplamından oluşmaktadır. *q* değerleri, $\underline{\mathbf{d}}$ vektörü gibi korelasyonlu değildir, serbest fonksiyondur. Her bir obje noktası için q_i değerleri,

$$q_i = r_{xi}^2 + r_{yi}^2 \quad ; \quad i = 1,2, \ldots, n_B \tag{6.28}$$

eşitliğiyle hesaplanır ve teker teker anlamlılık testine tabi tutulur. Burada r_{xi}^2, r_{yi}^2 , *i*'nci noktanın *x* ve *y* koordinat farklarına karşılık gelen karesel değerlerdir. Test sonucunda bir noktanın hareket etmediği anlaşılırsa, teorik olarak o noktanın da sabit noktalar sınıfına katılması ve t_1, t_2 ölçü gruplarının ayrı ayrı dengelenmesinden başlayarak tüm analiz adımlarının yinelenmesi gerekir. Böyle bir durum zaten yorucu olan deformasyon analizi hesaplarının hacmini çok büyütür. Diğer yönden de, q_i `lerin hangi sırayla hangi teste tabi tutulacağı objektif ölçütlere bağlanmalıdır. Bunun için de $\mathbf{P}_d$ `nin indirgenmesi

sırasında q_i`leri büyüklük sırasına otomatik olarak koyan özel bir pivot arama yöntemi ile indirgeme önerilmektedir. En küçük elemandan başlamak üzere q_i değerleri sıralanır ve her nokta için test büyüklüğü hesaplanır.

$$\mathrm{T} = \frac{q_i}{2\, m_{02}^2} \tag{6.29}$$

q_i değerlerinin testi için, q_i elemanın toplamından oluştuğu için

$$\mathrm{H}_0 : \mathrm{E}\{q_i\} = 2\, m_{02}^2 \tag{6.30}$$

biçiminde sıfır hipotezi kurulur. $T < \mathrm{F}_{2,f_2,1-\overline{\alpha}}$ ise hipotez reddedilemez. $T > \mathrm{F}_{2,f_2,1-\overline{\alpha}}$ ise bu nokta ve bundan sonra bulunan noktaların yerleri değişmiştir denilir. Bu tür adım adım test yöntemlerinde sıfır hipotezinin geçerli olmasına karşın reddedilme olasılığı her adımda biraz daha büyüyeceğinden sonucu q_i için $s = 1 - \alpha$ 'nın geçerli olması isteniyorsa k'nci adımda $\overline{\alpha} = 1 - (1 - \alpha)^{1/k}$ alınmalıdır. Yeni deformasyon vektörü

$$\underline{\overline{\mathbf{d}}} = \underline{\overline{\mathbf{C}}}^{-1}\underline{\overline{\mathbf{r}}} \tag{6.31}$$

eşitliği ile hesaplanır. $\underline{\overline{\mathbf{C}}}$ ve $\underline{\overline{\mathbf{r}}}$, $\underline{\mathbf{C}}$ matrislerinde ve $\underline{\mathbf{r}}$ vektöründe yerleri değiştiği kanıtlanamayan noktalarla ilgili satır ve sütunlar silinerek bulunur. Bu yöntemle sabit noktalardaki olası hareketleri deformasyon noktalarının hareketlerinden soyutlayabilmek için serbest ağ dengelemesi öngörülmektedir (İnal, 2009; Yalçınkaya ve Tanır, 2001).

6.4. Bağıl Güven Elipsleri Yöntemi ile Deformasyon Analizi

Bu yöntemde önce periyot ölçüleri ayrı ayrı serbest dengelenir. Uyuşumsuz ölçüler ayıklanır. Jeodezik ağdaki ölçüler ayrı birer ağ ölçüsü gibi düşünüldüğünden, dengelemde koordinat bilinmeyenleri için aynı yaklaşık değerler kullanılsa bile ağların datumları birbirinden farklı olur. Bu nedenle t_1 ve t_2 periyoduna ilişkin sonuçlar birbirleriyle doğrudan karşılaştırılamazlar. Bu iki periyoda ilişkin ölçüleri birbirine bağlamak için, t_1-t_2 zaman aralığında konum değiştirmemiş ortak noktalar aranır. Ağın

kurulması sırasında konumlarının değişmeyeceği düşünülen noktalara istatistik testler uygulanarak sabit kalıp kalmadıkları saptanır (İnal, 1988). Sabit noktalar belirlendikten sonra periyot ölçüleri dengelemesi sonucu elde edilen fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisi yardımıyla noktalardaki deformasyonların anlamlı olup olmadığının irdelenmesi genellikle grafik olarak yapılmaktadır.

6.4.1. Sabit noktaların deformasyon analizi

Bu adımda öncelikle bağımsız periyotlara ilişkin ölçüler ayrı ayrı serbest dengelenir. İki periyodun ayrı ayrı dengelenmesi sonucunda koordinat bilinmeyenleri $\underline{\hat{\mathbf{x}}}_1$, $\underline{\hat{\mathbf{x}}}_2$ elde edilir. Aradaki datum aykırılığını ortadan kaldırmak için konum değiştirmediği varsayılan ölçme noktalarının koordinatları Helmert dönüşümü ile üst üste çakıştırılır. Bu noktaların her biri için Helmert dönüşümünün düzeltme denklemleri bir *j* noktası için,

$$V_{x_{1j}} = a_0 + a\hat{x}_{2_j} - b\hat{y}_{2_j} - \hat{x}_{1_j} \tag{6.32}$$

$$V_{y_{1j}} = b_0 + a\hat{y}_{2_j} + b\hat{y}_{2_j} - \hat{y}_{1_j} \tag{6.33}$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

$a_0,\ a,\ b_0,\ b$: Dönüşüm katsayıları

$\hat{x}_{1_j},\ \hat{y}_{1_j}$: j noktasının 1.ölçme dönemindeki koordinatları

$\hat{x}_{2_j},\ \hat{y}_{2_j}$: j noktasının 2.ölçme dönemindeki koordinatları

göstermektedir. Dönüşüm için önce katsayıların hesabı gerekir. Her iki periyoda elde edilen koordinatlardan yararlanarak birinci periyot için;

$$X_{11} = \left[\hat{x}_{1_j}\right]/n \qquad Y_{11} = \left[\hat{y}_{1_j}\right]/n \tag{6.34}$$

$$\overline{x}_{1_j} = \hat{x}_{1_j} - X_{11} \qquad \overline{y}_{1_j} = \hat{y}_{1_j} - Y_{11} \tag{6.35}$$

ağırlık merkezine dönüştürülmüş koordinatlar bulunur. Aynı işlem ikinci periyot içinde yapılırsa,

$$X_{22} = \left[\hat{x}_{2_j}\right]/n \qquad Y_{22} = \left[\hat{y}_{2_j}\right]/n \tag{6.36}$$

$$\overline{x}_{2_j} = \hat{x}_{2_j} - X_{22} \qquad \overline{y}_{2_j} = \hat{y}_{2_j} - Y_{22} \tag{6.37}$$

elde edilir. Burada;

X_{11}, Y_{11} : 1. Periyotta ağırlık merkezi koordinatları

$\overline{x}_{1_j}, \overline{y}_{1_j}$:1. Periyotta ağırlık merkezine dönüştürülmüş koordinatlar

n : Dönüşümde kullanılan ortak nokta sayısı

X_{22}, Y_{22} : 2. Periyotta ağırlık merkezi koordinatları

$\overline{x}_{2_j}, \overline{y}_{2_j}$:1. Periyotta ağırlık merkezine dönüştürülmüş koordinatları

göstermektedir.

$$a = \left[\overline{x}_{1_j}.\overline{x}_{2_j} + \overline{y}_{1_j}.\overline{y}_{2_j}\right] / \left[\overline{x}_{2_j}^2 + \overline{y}_{2_j}^2\right] \tag{6.38}$$

$$b = \left[-\overline{x}_{1_j}.\overline{y}_{2_j} + \overline{y}_{1_j}.\overline{x}_{2_j}\right] / \left[\overline{x}_{2_j}^2 + \overline{y}_{2_j}^2\right] \tag{6.39}$$

ile a ve b kat sayıları hesaplanır, a_0 , b_0 ise;

$$a_0 = \hat{x}_{1_j} - a.\hat{x}_{2_j} + b.\hat{y}_{2_j} \quad = \quad X_{11} - a.X_{22} + b.Y_{22} \tag{6.40}$$

$$b_0 = \hat{y}_{1_j} - a.\hat{y}_{2_j} - b.\hat{x}_{2_j} \quad = \quad Y_{11} - a.Y_{22} - b.X_{22} \tag{6.41}$$

bağıntıları ile bulunur. Bulunan değerlerin ortalaması alınarak kesin a_0 ve b_0 değerleri hesaplanmış olur.

Helmert dönüşüm katsayılarından yararlanarak sabit kabul edilen noktaların ikinci periyotdaki koordinatları, birinci peryoda dönüştürülür. Datum çakışmasının ortak hataları V_x, V_y (6.32) ve (6.33) bağıntıları yardımıyla bulunur.

Çakışma artık hatalarını, noktanın duyarlık değerleriyle yani herhangi bir ölçü döneminin dengeleme hesabından sonra bulunan koordinat duyarlıklarına göre;

$$m_x = m\sqrt{\mathbf{Q}_{x_1x_1} + \mathbf{Q}_{x_2x_2}}$$

$$m_y = m\sqrt{\mathbf{Q}_{y_1y_1} + \mathbf{Q}_{y_2y_2}} \tag{6.42}$$

$$m = \sqrt{\frac{f_1.m_1^2 + f_2.m_2^2}{f_1 + f_2}}$$

bağıntılarından hesaplanarak m_x ve m_y değerleri ile karşılaştırılıp istatistik olarak test etmek mümkündür. Bu formüllerde;

m_1 : 1.periyotdaki ölçülerin dengelenmesi sonucunda bulunan birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatası

f_1 : 1.periyotdaki dengelemeye ait serbestlik derecesi

m_2 : 2.periyotdaki ölçülerin dengelenmesi sonucunda bulunan birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatası

f_2 : 2.periyotdaki dengelemeye ait serbestlik derecesi

dir. Hareket etmediği varsayılan noktaların testi için oluşturulacak sıfır hipotezi;

$$H_0 : E\{V_{x_j}\} = 0 \qquad E\{V_{y_j}\} = 0 \tag{6.43}$$

olur. Test büyüklükleri;

$$t_{x_j} = \frac{|v_{x_j}|}{m_{x_j}} \ , \ t_{y_j} = \frac{|v_{y_j}|}{m_{y_j}} \tag{6.44}$$

bağıntılarıyla hesaplanır. Test büyüklükleri *1-α* istatistik güven ve *f=n* (nokta sayısı) serbestlik dereceleri ile t-dağılım çizelgesinden alınan karşılaştırma ölçütü ile kıyaslanır.

Eğer; $t_{xj} > t_{f,\,1-\alpha}$ ve/veya $t_{yj} > t_{f,\,1-\alpha}$

ise P_j referans noktası t_2-t_1 zaman aralığında konum değiştirmiştir kararı verilir. Bu nedenle her iki ölçme dönemine ait ağları birbirine bağlayacak ortak nokta olarak alınamaz. Aksi durumda o noktanın sabit kaldığı kabul edilir. Eğer konum değiştiren noktalar varsa bu noktalar çıkarılarak dönüşüm tekrar edilir ve artık noktaların ne durum aldığı incelenir.

6.4.2. Obje noktalarının deformasyon analizi

Sabit noktalar belirlendikten sonra, sabit ortak noktalar için birer çift, obje noktalar için ikişer çift koordinat bilinmeyeni seçilerek her iki periyoda ait ölçüler birlikte toplu dengelenir.

Sabit noktalar için bir çift, hareketli ağ noktaları ve obje noktaları için her döneme ait birer çift koordinat bilinmeyeni yazılır. Birlikte dengelemenin ölçüler ve bilinmeyenler vektörleri,

$$\mathbf{l} = \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{l}}_1 \\ \dots\dots \\ \underline{\mathbf{l}}_2 \end{bmatrix}, \qquad \underline{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \underline{\hat{\mathbf{x}}}_F \\ \dots\dots \\ \underline{\hat{\mathbf{x}}}_1 \\ \underline{\hat{\mathbf{x}}}_2 \end{bmatrix} \tag{6.45}$$

biçiminde yazılabilir. Burada;

$\underline{\mathbf{l}}_1$:1.periyotda ait ölçüler vektörü

$\underline{\mathbf{l}}_2$: 2.periyotda ait ölçüler vektörü

$\underline{\hat{\mathbf{x}}}_1$: Deformasyon noktalarının 1.periyotdaki bilinmeyenler vektörü

$\underline{\hat{\mathbf{x}}}_2$: Deformasyon noktalarının 2.periyotdaki bilinmeyenler vektörü

$\underline{\hat{\mathbf{x}}}_F$: Ortak noktalar için bilinmeyenler vektörünü

göstermektedir.

Birlikte dengeleme sonucu;

$$\mathbf{Q} = (\mathbf{A}^T\mathbf{P}\mathbf{A})^+ = \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{Q}}_{FF} & \underline{\mathbf{Q}}_{F1} & \underline{\mathbf{Q}}_{F2} \\ \underline{\mathbf{Q}}_{1F} & \underline{\mathbf{Q}}_{11} & \underline{\mathbf{Q}}_{12} \\ \underline{\mathbf{Q}}_{2F} & \underline{\mathbf{Q}}_{21} & \underline{\mathbf{Q}}_{22} \end{bmatrix} \tag{6.46}$$

şeklinde $\underline{\mathrm{Q}}$ kofaktör matrisi elde edilir. Burada;

A : 1. ve 2. periyotlara ait tüm ölçülerin düzeltme denklemlerinden oluşan katsayılar matrisidir.

Birlikte dengeleme birim ağırlıklı ölçünün varyansı,

$$m^2 = \frac{\mathbf{v}^T\mathbf{Q}_{ll}^{-1}\mathbf{v}}{n-u+d} \tag{6.47}$$

eşitliği ile bulunur.

Burada;

$n = n_1 + n_2$: 1.ve 2.periyot için toplam ölçü sayısı

$u = 2p$: Bilinmeyen sayısı (p ağdaki tüm nokta sayısı)

d : **N**'in defekt sayısı

dır. Bu aşamadan sonra öncelikle ağda deformasyon olup olmadığı araştırılmalıdır. Hareketli varsayılan noktaların yer değiştirmediği kabul edilirse koordinatların umut değerleri farkı eşit olmalıdır şeklinde,

$$\mathrm{H}_0 = \mathrm{E}\{\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1\} = 0 \tag{6.48}$$

sıfır hipotezi ileri sürülür. Başka bir deyişle koordinat farklarının rastlantı hatalardan mı, yoksa nokta kaymalarından mı ileri geldiği araştırılmalıdır.

$$\underline{\hat{\mathbf{d}}} = \underline{\hat{\mathbf{x}}}_2 - \underline{\hat{\mathbf{x}}}_1 \tag{6.49}$$

$$\underline{\mathbf{Q}}_{\hat{d}} = \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{x}_1\hat{x}_1} + \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{x}_2\hat{x}_2} - \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{x}_1\hat{x}_2} - \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{x}_2\hat{x}_1} \tag{6.50}$$

olmak üzere,

$$\hat{\mathrm{F}} = \frac{\underline{\hat{\mathbf{d}}}^T \mathbf{Q}_{\underline{\hat{d}}}^{-1} \underline{\hat{\mathbf{d}}}}{r\, m^2} \tag{6.51}$$

test büyüklüğü elde edilir. Burada;

$\underline{\hat{\mathbf{d}}}$:Fark vektörü

$\underline{\mathbf{Q}}_{\hat{d}}$:Fark vektörünün ağırlık katsayılar matrisi

r :Hareketli nokta sayısının iki katını

göstermektedir.

F test büyüklüğü F-dağılım çizelgesinden alınan $\mathrm{F}_{r,n-u+d,1-\alpha}$ sınır değeriyle karşılaştırılır. Burada *r* hareketli nokta sayısının iki katıdır.

$\hat{\mathrm{F}} < \mathrm{F}_{r,n-u+d,1-\alpha}$ ise hipotez kabul edilir. Aksi durumda *1-α* olasılığı ile ağda deformasyon olduğu yargısına varılır. Ağın tümünde ya da bir bölümümde deformasyon olup olmadığını belirtmek için yapılan bu teste **global test** denir.

Bu aşamadan sonra noktalar tek tek incelenerek hangi noktalarda deformasyon oluştuğu incelenir (İnal, 2010).

6.4.2.1. Obje noktalarındaki deformasyonun yerelleştirilmesi

Birlikte dengeleme sonuçlarından $\underline{\hat{\mathbf{d}}}_i$ farkları ve $\underline{\mathbf{Q}}_{\hat{d}_i}$ matrisi hesaplanır.

$$\underline{\mathbf{Q}}_{\hat{d}_j} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}_d} & \mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{y}_d} \\ \mathbf{Q}_{\hat{y}\hat{x}_d} & \mathbf{Q}_{\hat{y}\hat{y}_d} \end{bmatrix}_{\mathrm{j}} \tag{6.52}$$

$\underline{\mathbf{Q}}_{\hat{d}_j}$ matrisinin elemanları her *j* noktası için;

$$\begin{aligned} \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{x}\hat{x}_{d_j}} &= \mathbf{Q}^{11}_{\hat{x}_j\hat{x}_j} + \mathbf{Q}^{22}_{\hat{x}_j\hat{x}_j} - 2\mathbf{Q}^{12}_{\hat{x}_j\hat{x}_j} \\ \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{y}\hat{y}_{d_j}} &= \mathbf{Q}^{11}_{\hat{y}_j\hat{y}_j} + \mathbf{Q}^{22}_{\hat{y}_j\hat{y}_j} - 2\mathbf{Q}^{12}_{\hat{y}_j\hat{y}_j} \\ \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{x}\hat{y}_{d_j}} &= \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{y}\hat{x}_{d_j}} = \mathbf{Q}^{11}_{\hat{x}_j\hat{y}_j} + \mathbf{Q}^{22}_{\hat{x}_j\hat{y}_j} - \mathbf{Q}^{12}_{\hat{y}_j\hat{x}_j} - \mathbf{Q}^{21}_{\hat{x}_j\hat{y}_j} \end{aligned} \tag{6.53}$$

şeklinde hesaplanır.

Her P_j noktasındaki deformasyon araştırması için sıfır hipotezi;

$$\mathrm{H}_0 : \mathrm{E}\{\underline{\mathbf{d}}_j\} = 0 \tag{6.54}$$

şeklinde kurulur ve test büyüklüğü;

$$\hat{\mathrm{F}} = \frac{\underline{\mathbf{d}}_j^T \underline{\mathbf{Q}}_{d_j}^{-1} \mathbf{d}_j}{2\, m^2} \tag{6.55}$$

bağıntısından hesaplanır.

$\hat{\mathrm{F}} < \mathrm{F}_{2,n-u+d,1-\alpha}$ ise, sıfır hipotezi geçerlidir. Başka bir deyişle P_j noktası *1-α* olasılıkla konum değiştirmemiştir. Farkın ölçülerdeki rastlantı hatalardan meydana geldiği söylenebilir. $\hat{\mathrm{F}} > \mathrm{F}_{2,n-u+d,1-\alpha}$ ise P_j noktasında deformasyon olduğu kararı verilir.

Deformasyonu çizim yoluyla da belirlemek mümkündür. Tümden dengeleme ile elde edilen P_{j1} ve P_{j2} nokta çiftlerine ilişkin bağıl güven elipsleri çizilir. Bu elipsin eksen uzunlukları A_G, B_G ve açıklık açısı θ_G;

$$\lambda_1 = \frac{1}{2}\left(\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}_{d_j}} + \mathbf{Q}_{\hat{y}\hat{y}_{d_j}} + W\right) \; ; \; \lambda_2 = \frac{1}{2}\left(\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}_{d_j}} + \mathbf{Q}_{\hat{y}\hat{y}_{d_j}} - W\right) \tag{6.56}$$

$$W = \sqrt{\left(\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}_{d_j}} - \mathbf{Q}_{\hat{y}\hat{y}_{d_j}}\right)^2 + 4\mathbf{Q}_{\hat{x}y}^2} \tag{6.57}$$

eşitliklerinden yararlanarak,

$$A_G = m_0\sqrt{2\lambda_1 \mathrm{F}_{2,n-u+d,1-\alpha}} \tag{6.58}$$

$$B_G = m_0\sqrt{2\lambda_2 \mathrm{F}_{2,n-u+d,1-\alpha}} \tag{6.59}$$

$$\theta_G = \frac{1}{2} arctan\left(\frac{2\mathbf{Q}_{yx_{d_j}}}{\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}_{d_j}} - \mathbf{Q}_{\hat{y}\hat{y}_{d_j}}}\right) \tag{6.60}$$

bulunur.

Deformasyonun geometrik olarak yorumu için ölçekli olarak çizilmiş P_{j1} ve P_{j2} noktalardan birinin üzerine bu nokta çifti için hesaplanan bağıl güven elipsleri çizilir. Şayet diğer nokta bu elipsin dışında kalıyorsa, P_j noktası iki periyot arasında 1-α olasılıkla konum değiştirmiştir kararı verilir.

Bağıntılarından deformasyon vektörünün yönü ve büyüklüğü,

$$d_j = \left(d_{x_j}^2 + d_{y_j}^2\right)^{1/2} \quad , \quad \varphi = arctan\left(\frac{d_{y_j}}{d_{x_j}}\right) \tag{6.61}$$

bağıntılarından hesaplanabilir (İnal, 2010).

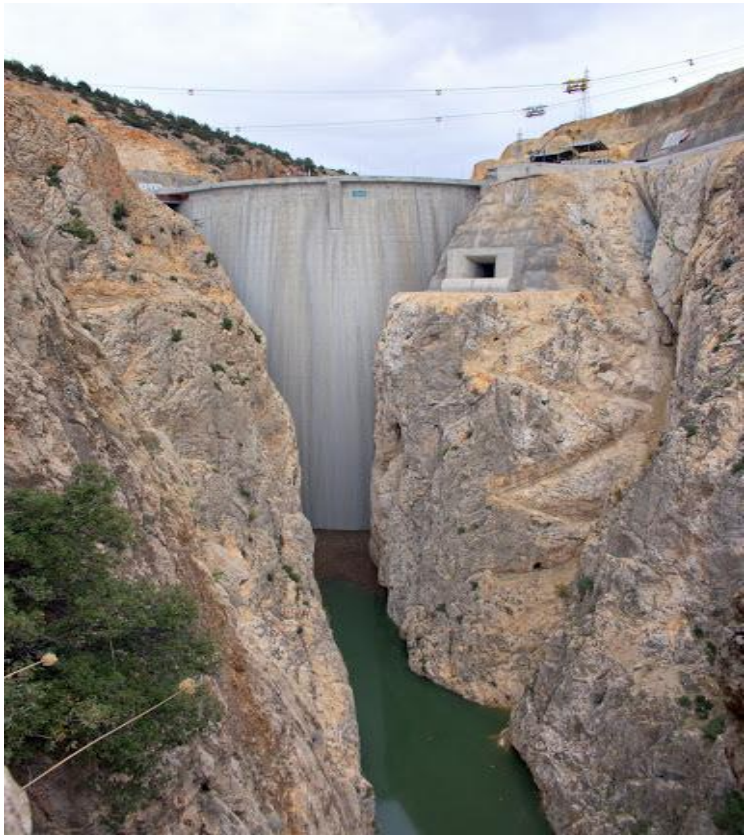
7. UYGULAMA

Bağıl güven elipsleri ve Cholesky Çarpanlarına ayırma yönteminin karşılaştırılması için Ermenek Barajında (Şekil 7.2.) yapılan iki periyot ölçü kullanılmıştır. Ermenek Barajı, Karaman'da bulunan Göksu Nehri'nin Ermenek Çayı üzerinde, enerji üretmek amacıyla 2002 yılında inşa edilmeye başlanmıştır. Barajın bulunduğu vadi olan Görmel Boğazında oldukça sarp ve dik uçurumlar bulunmaktadır. Barajın gövdesi ince beton kemer gövde ve dolgu tiplidir. Barajın gövde hacmi 272.000 m^3'tür ve akarsu yatağından yüksekliği 210.00 m'dir. Normal su kotunda göl hacmi 4,582.00 hm^3, normal su kotunda gölalanı 58.74 km^2'dir. Baraj yıllık 306 MW güç ile 1.048 GWh'lik enerji üretmesi planlanmaktadır. Baraj 2002 yılında inşasına başlanmış ve ilk olarak su toplamaya 10 Ağustos 2009 günü başlamıştır (Anonim1, 2012).



7.1. Ermenek barajının Türkiye haritası üzerinde yeri (Anonim 5, 2013)

Ermenek barajı **gövde yüksekliği bakımından** dünyanın **21.**, Avrupa'nın **6.**, Türkiye'nin ise **1.** en büyük barajı olarak önem taşımaktadır (Şekil 7.3.)



Şekil 7.2. Ermenek barajının memba kısmından bir görüntü (Anomin, 2012)



Şekil 7.3. Ermenek barajının üsten görünümü (Anonim3, 2012)

Yapılan tezin amacı, jeodezik deformasyon analizinde en çok kullanılan değerlendirme yöntemlerden iki tanesinin incelenerek birbirlerine göre avantajlarını ve

dezavantajlarını öne çıkararak uygun yöntemi bulmaktır. Bu amaçla yapılan sayısal uygulamada, baraj çevresine ve baraj gövdesinde tesis edilen noktalardan oluşan bir ağ kullanılmıştır. Çalışmanın amacı yatay yöndeki hareketliliği incelemek olduğundan düşey yönde her hangi bir inceleme yapılmamıştır. **Ayrıca sayısal uygulamanın amacına uygun olarak Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemiyle Deformasyon Analizini yapan bir MATLAB programlama dilinde bir program geliştirilmiştir.** Bu programla birlikte uygulamaya konu olan deformasyon analizi sonuçlarına bu program sayesinde varılmıştır.

7.1. Uygulama Alanının Tanıtılması

Deformasyon ağı, barajda oluşan hareketleri belirlemek amacıyla, barajı da kapsayacak şekilde 9 noktalı bir doğrultu-kenar ağı olarak oluşturulmuştur (Şekil 7.4.). Deformasyon ağının kurulduğu bölge cholesyk çarpanlara ayırma yönteminde ve bağıl güven elipsleri yönteminde de açıklandığı gibi hareketli ve sabit bölge olarak iki ye ayrılmıştır. Bu kapsam da barajın gövdesi ve etrafı hareket bölgesi olarak kabul edilirken daha uzak bölgelerde sabit yani hareket beklentisi olmayan bölgeler olarak kabul edilmiştir. Hareket beklentisi olmayan bölgeye **2**, **4**, **5**, **8**, **9** ve **12** nolu noktalar, hareket beklentisi olan bölgeye ise **101**, **103** ve **105** nolu noktalar tesis edilmiştir.

Deformasyon ağı, **275m x 255m** boyutlarında **mikrojeodezik** bir ağdır. Ağda farklı zamanlarda **2 periyot ölçü** yapılmıştır. Ağda hem doğrultu hem de kenar ölçümü yapılmış ve bütün ölçümler uygulamada veri olarak kullanılmıştır. Her iki periyotta da ağda ki nokta sayısı aynı kalmış, ölçü yöntemi değişmemiş, ölçü planında bir değişiklik yapılmamış ve ölçü sayısı her iki periyotta da aynı kalmıştır. Yani ağ **univaryat** bir ağ olarak tasarlanmıştır. Bu çalışma da her iki periyotta da **36 tane doğrultu gözlemi**, **36 tane kenar ölçümü** yapılmıştır. Ağda toplam da **9** tane nokta bulunmaktadır, bunların **6** tanesine alet kurulmuştur.

Ağla ilgili bazı bilgiler;

Ölçü sayısı(*n*) =36 doğrultu gözlemi+36 kenar gözlemi=72

Bilinmeyen sayısı (*u*) =2**p* Koordinat bilinmeyeni + z Yöneltme bilinmeyeni

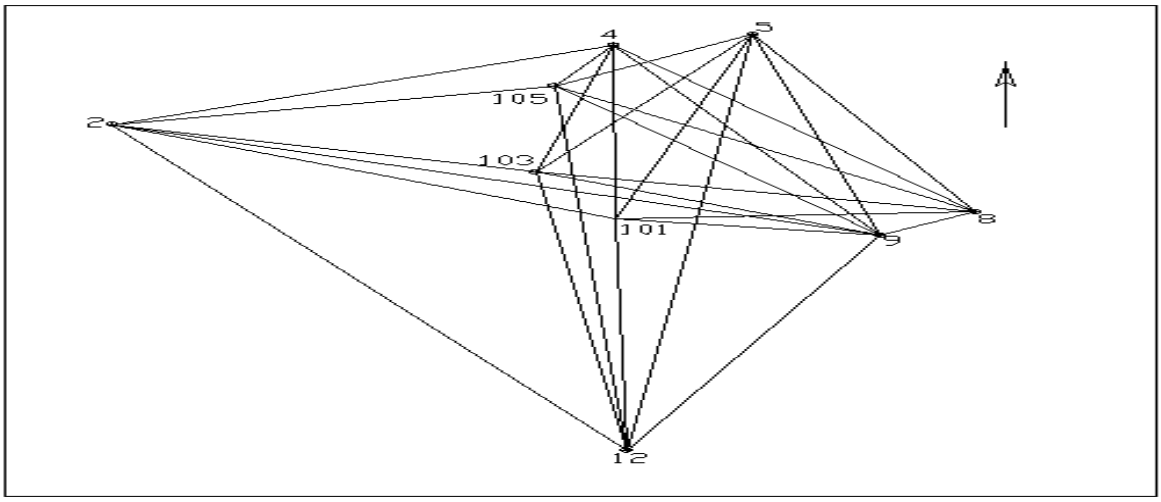
u =2*9 + 6 =24

(*p*: Ağdaki nokta sayısı= 9; *z*: ağdaki alet kurma sayısı = 6)

Fazla ölçü sayısı(*f*) =*n*-*u* = 72-24=48

Serbest ağ dengelemesinde (*f*) =*n*-*u*+*d*=72-24+3=51,

(*d*: Doğrultu-kenar ağları için datum defekti = 3)



Şekil 7.4. Deformasyon ağı

7.2. Deformasyon Ölçülerinin Değerlendirilmesi

t_1 ve t_2 periyotlarına ait ölçüler EKKY'ne serbest ağ dengelemesine göre dengelenmiştir. EKKY'ye göre dengeleme yapıldıktan sonra uyuşumsuz ölçü testi için **Robust yöntemiyle** uyuşumsuz ölçü analizi uygulanmış ve uyuşumsuz ölçülerin ağırlıkları tekrar düzenlenmiştir. (3.34)-(3.37) eşitliklerine göre model hipotezinin testi yapılmış ve modeller bulunmuştur. (4.10)-(4.20) eşitliğine göre uyuşumsuz ölçü testine tabi tutulmuş ve uyuşumsuz ölçü olup olmadığı araştırılmıştır. Dengeleme sonucunda bulunan koordinatlar ve bunlara ait karesel ortalama hatalar **Çizelge 7.1.** 'de verilmiştir.

t_1 ve t_2 periyotlarına ait deneysel varyansların eşdeğer olup olmadığı irdelenmiştir. t_1 periyodunda birim ölçünün ortalama hatası $\mathbf{m_{01}=\pm 1.2992^{cc}}$, t_2 periyodunda $\mathbf{m_{02}=\pm 1.3808^{cc}}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden yararlanılarak test büyüklüğü (6.10) eşitliğine göre $\mathbf{T_u=1.1296}$ olarak hesaplanmış ve yanılma payı $\boldsymbol{\alpha=0.05}$ alınarak bulunan F-tablo değeri ile karşılaştırılmıştır. $\mathbf{T_u<F_{57,57,1-\alpha}}$ olduğu için t_1 ve t_2 periyodu eşdeğer olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 7.1. Periyot ölçülerine ait dengeleme sonuçları

	1. periyot				2.periyot			
NN	**Deng. X koord.(m)**	**M_x (cm)**	**Deng. Y koord.(m)**	**M_y (cm)**	**Deng. X koord.(m)**	**M_x (cm)**	**Deng. Y koord.(m)**	**M_y (cm)**
2	4047001.437	0.016	497031.650	0.013	4047001.435	0.017	497031.651	0.014
4	4047045.581	0.011	497154.351	0.012	4047045.581	0.013	497154.352	0.014
5	4047051.755	0.010	497188.399	0.019	4047051.754	0.011	497188.400	0.019
8	4046952.844	0.014	497243.008	0.014	4046952.847	0.013	497243.008	0.014
9	4046939.794	0.010	497219.692	0.012	4046939.796	0.008	497219.692	0.010
12	4046820.140	0.015	497064.865	0.019	4046820.141	0.015	497064.862	0.018
101	4046949.275	0.016	497154.515	0.016	4046949.274	0.009	497154.515	0.017
103	4046974.996	0.017	497135.287	0.016	4046974.995	0.017	497135.286	0.014
105	4047022.977	0.011	497139.743	0.010	4047022.977	0.015	497139.743	0.012

7.3. Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi ile Deformasyon Analizi

Bu yöntemle deformasyon analizi yaparken ağ geometrik olarak ayrılabildiğinden dolayı ağda bulunan **2**, **4**, **5**, **8**, **9** ve **12** nolu noktalar sabit zemine tesis edilen sabit noktalar olarak, **101**, **103** ve **105** nolu noktalarda hareketli bölgede bulunan obje noktaları olarak alınmıştır. Sabit kabul edilen noktalar için (6.4) ve (6.5)'eşitliğine göre fark vektörleri ve bunların ters ağırlık matrisleri hesaplanmıştır. Referans noktalarının test edilmesi için (6.6) eşitliğine göre sıfır hipotezi kurulmuş, test büyüklüğü (6.10) eşitliğine göre $\mathbf{T_1=36.3713}$ olarak hesaplanmıştır. $\mathbf{T_1 > F_{114,12,095}=1.8380}$ olduğundan dolayı referans noktalarında hareket olduğu kararına varılmıştır. Bu adımdan sonra **Bölüm 6.3.1**'de anlatıldığı gibi sabit noktalardaki deformasyonun yerelleştirilmesi yapılmıştır. Bu işlem sonunda **4**, **5** nolu noktaların hareketsiz **2**, **8**, **9** ve **12** nolu noktalarında hareketli olduğu kanısına varılmıştır, artık **2**, **8**, **9**, **12**, **101**, **103** ve **105** nolu noktalar deformasyon noktası olarak alınmış ve bu noktalara göre test yapılmıştır.

Obje noktaları testi için (6.11) ve (6.12) eşitliklerine göre toplu dengeleme yapılarak obje noktaları için fark vektörleri ve bunlara ait ters ağırlık matrisi sırasıyla (6.13) ve (6.14) eşitliklerine göre hesaplanmıştır. Buradan (6.17) eşitliğine göre test büyüklüğü $\mathbf{T_2=40.8831}$ olarak hesaplanmıştır. $\mathbf{T_2 > F_{144,14,095} = 1.7795}$ olduğundan dolayı obje noktalarının birinin ya da bir kaçının hareket ettiğine karar verilmiştir.

Koordinat farkları vektörü korelasyonlu olduğundan teker teker anlamlılık testine tabi tutulmazlar, bu sebeple **d** vektörü elemanları korelâsyonsuz bir başka

vektöre dönüştürülmelidir. **d** vektörünün ağırlık matrisi (6.19)-(6.24) eşitliklerine göre hesaplanan üst üçgen matrisi yardımıyla (6.25) eşitliğine göre hesaplanmıştır. (6.26) eşitliğine göre hesaplanan *r* değerinin (6.27) eşitliğine göre kareleri alınarak hesaplanan q_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak (6.29) eşitliğine göre her nokta için ayrı ayrı T test değeri bulundu. Obje noktalarında deformasyon olup olmadığını belirlemek için sıfır hipotezi kuruldu ve her nokta için teker teker uygulandı. Bu hesaplamalardan sonra **2**, **8**, **9**, **101**, **103** ve **105** nolu noktalarda deformasyon olduğu kararına varılmıştır (Çizelge 7.2).

Çizelge 7.2. Cholesky çarpanlarına ayırma yönteminde obje noktalarına göre deformasyon sonuçları

Nokta numarası	**Test Büyüklüğü**	**Tablo değeri**		**Karar**
12	**0.308**	<	**3.0759**	**Deformasyon yok**
105	3.929	>	3.0759	Deformasyon var
8	13.603	>	3.0759	Deformasyon var
103	17.539	>	3.0759	Deformasyon var
101	20.281	>	3.0759	Deformasyon var
2	69.764	>	3.0759	Deformasyon var
9	247.551	>	3.0759	Deformasyon var

7.4. Bağıl Güven Elipsleri Yöntemi ile Deformasyon Analizi

Bu yöntemin uygulanması için öncelikler ortak noktalar için ortalama koordinat duyarlığı Çizelge 7.1.'de verilen koordinatların ortalama hatalarından yararlanarak (6.42) eşitliğine göre hesaplanmıştır. Daha sonra t_1 ve t_2 periyotlarının Tablo 7-1'de verilen dengeli koordinatlarından yararlanarak benzerlik dönüşümü yapılmış ve çakışma hataları (V_{ji}, V_{yj}) (6.32) ve (6.33) eşitliklerine göre hesaplanmıştır. Referans ve obje noktalarının belirlenmesi için dönüşüm artıklarından yararlanarak test büyüklüğü (6.44) eşitliğine göre hesaplanmıştır. Ağda ortak kabul edilen noktalar sabit bölgelerde bulunan noktalar olarak düşünülmüştür. Bu durumda ağımızda ortak olduğu tahmin edilen altı nokta mevcuttur. Bu istatistik testler sonucuna ağımızda **4** ve **12** nolu noktalar referans noktası, **2**, **5**, **8**, **9**, **101**, **103** ve **105** nolu noktalar obje noktası olarak belirlenmiştir. Bu test ile ilgili sonuçlar Çizelge 7.3.'de verilmiştir.

Çizelge 7.3. Sabit noktaların belirlenmesi

NN	Çakışma Hataları		Ortalama Presizyon		Test Büyüklüğü		Tablo Değeri		KARAR
	V_y (mm)	V_x (mm)	m_y (mm)	m_x (mm)	*Ty*	*Tx*			
2	0.183	-2.485	2.203	2.435	0.083	-29.883	>	1.943	Deformasyon var
4	**0.777**	**-0.395**	**2.162**	**2.077**	**0.359**	**-1.100**	**<**	**1.943**	**Deformasyon yok**
5	1.055	-0.932	2.613	1.943	0.404	-2.308	>	1.943	Deformasyon var
8	0.528	1.799	2.243	2.203	0.235	7.638	>	1.943	Deformasyon var
9	0.093	1.838	1.988	1.799	0.047	39.477	>	1.943	Deformasyon var
12	**-2.636**	**0.212**	**2.579**	**2.322**	**-1.022**	**-0.207**	**<**	**1.943**	**Deformasyon yok**

Referans ve obje noktaları belirlendikten sonra her iki periyot ölçüleri sabit noktalar için bir çift obje noktaları için koordinat bilinmeyeni seçilerek toplu dengeleme yapılmıştır. Dengeleme sonucunda obje noktalarındaki fark vektörleri ve bunların ters ağırlık matrisi sırasıyla (6.49) ve (6.50) eşitliğine göre hesaplanmıştır. Obje noktalarına ait fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisinin alt matrisleri her nokta için ilgili değerleri içermektedir. Bunlardan faydalanarak obje noktalarındaki farkların deformasyon olup olmadığını belirleyebilmek için (6.48) eşitliğine göre sıfır hipotezi kurulmuş ve bunun testi için (6.51) eşitliğine göre test değeri (Ti) hesaplanmıştır. $\mathbf{T_i > F_{2,144,0.95}}$ olan obje noktalarının hareket ettiğine karar verilmiştir. Bu yöntemle **2**, **8**, **9**, **101** ve **103** nolu noktaların hareket ettiği belirlenmiştir. Hareketli noktalar ve büyüklükleri Çizelge 7.4.'de verilmiştir.

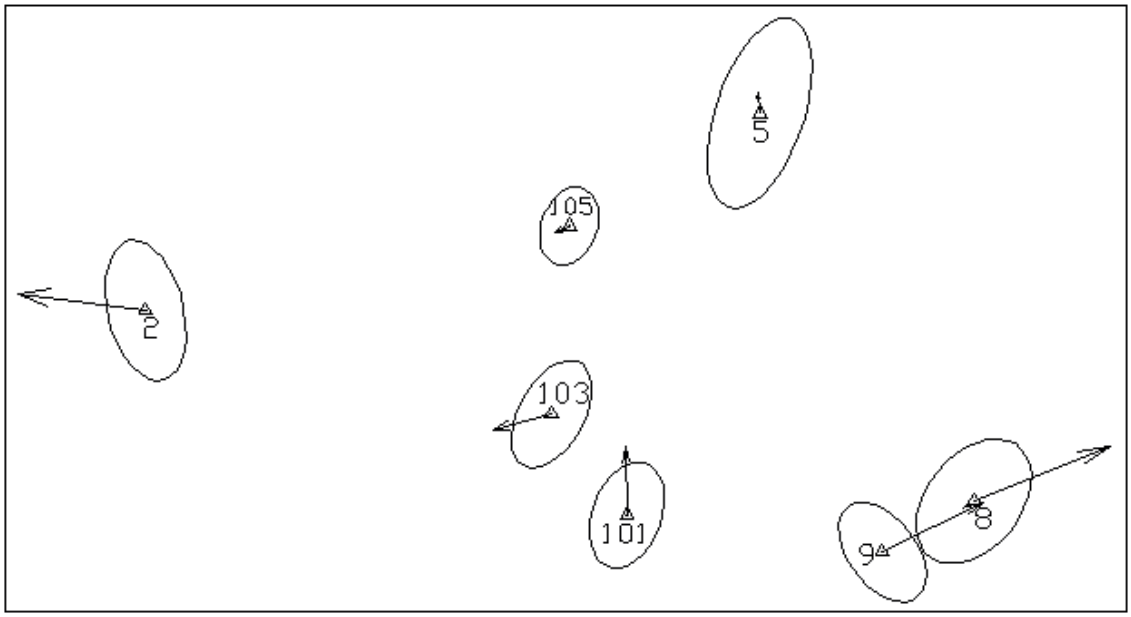
Çizelge 7.4. Bağıl güven elipsleri yöntemine göre hareketli noktalar ve hareket büyüklükleri

NN	d_x	d_y
2	-0.328	0.042
8	0.349	0.141
9	0.257	0.126
101	-0.003	0.127
103	-0.103	-0.027

Bu yöntemin grafik yorumu için, her noktaya ait fark vektörünün büyüklüğü ve doğrultusu (6.61) eşitliğindeki formüllere göre hesaplanmıştır. Daha sonra tekrar her nokta için bağıl güven elipsinin elemanları (6.56)-(6.60) eşitliklerine göre hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 7.5.'de verilmiştir.

Çizelge 7.5. Fark vektörünün büyüklüğü doğrultusu ve bağıl güven elipsi elemanları

NN	Deformasyon vektörünün		Bağıl Güven Elipsi elemanları		
	d_f	t_{dog}	A_G	B_G	θ
2	33.032	308.076508	9.615	18.372	384.864037
5	5.113	396.566908	11.285	25.348	20.394526
8	37.671	75.618743	12.018	18.075	43.655291
9	28.649	71.075288	8.645	14.493	358.495478
101	12.719	398.379212	8.827	13.949	22.769775
103	10.618	283.436680	8.373	14.930	31.950033
105	3.895	272.648195	7.079	10.288	22.132539



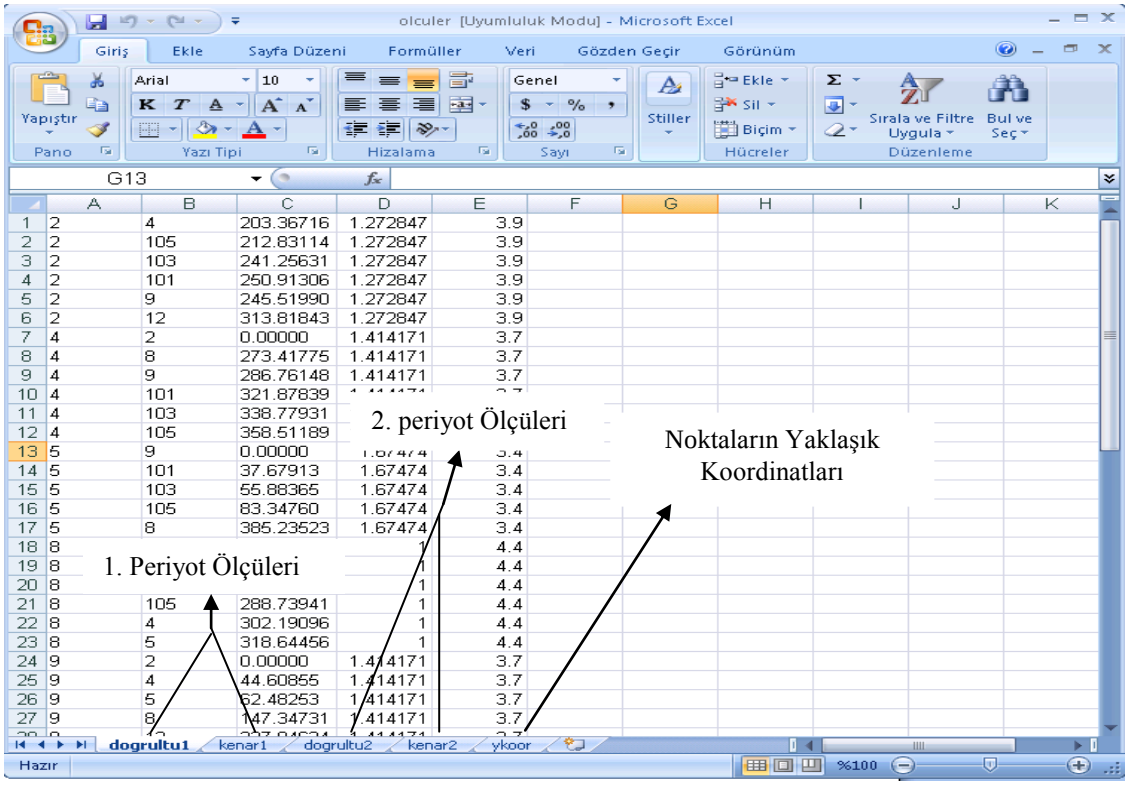
Şekil 7.5. Obje noktalarına ilişkin bağıl güven elipslerinin gösterilmesi

7.5. Programın Tanıtılması

Bu çalışmada MATLAB 7.6.0 programlama dili kullanılarak Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemiyle Deformasyon Analizi'ni yapabilecek bir program oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için MATLAB programlama dilinde hazır olarak kullanılan bazı özel kodlar kullanılarak işlem sonuçlarına ulaşılmıştır.

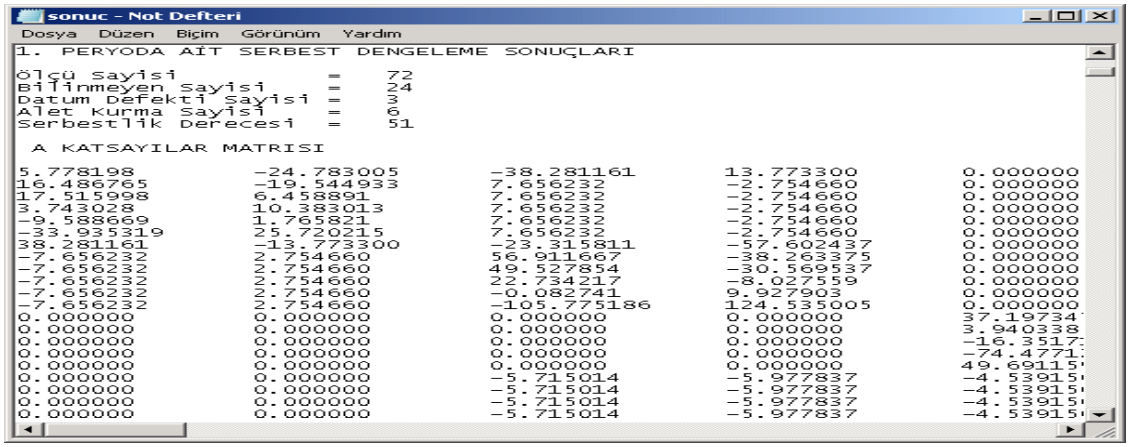
Program başlamadan önce Bilgisayarın C dizinde bir dosya açılarak sonuçların buraya kaydedilmesi, istenilen verilen bu konumdan çağırılması için bir dosya

oluşturuldu. Oluşturulan dosyanın içinde; programın çalışması için gerekli olan verileri alacağı Excel 97-2003 uyumlu bir dosya başka bir ifadeyle ".xls" uzantılı bir dosya gerekmekte (Şekil7.6) (Uzunoğlu ve ark., 2004), programın çalışması sırasında bazı işlemlerin yapılması için oluşturulan fonksiyon dosyaları (.m dosyası), işlem sonucunun kaydedildiği bir Not defteri dosyası yani ".txt" uzantılı bir dosya mevcut olacaktır. Bu dosyalardan Excel dosyasının içinde 1.ve 2.periyot ölçülerine ait doğrultu açı ölçümleri, doğrultu ölçümlerine ait bir alet kurmadaki ortalama hatalar, kenar ölçümleri ve kullanılan aletin kenar ölçme hassasiyetine bağlı olarak ortalama hatası, kullanacağımız noktalara ait koordinat bilgileri mevcuttur (Şekil 7.6.). Şekil 7.6.'da da görüldüğü üzere Excel dosyasının A sütununda Durulan Nokta, B sütununda Bakılan Nokta, C sütununda okunan doğrultu açısı (doğrultu1-2) ya da kenar uzunluğu (kenar1-2) ve D sütununda stokastik model sonucunda hesaplanan ağırlığı ve E sütununda bir alet kurmada ki ortalama hatalar bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 7.6.'de gösterildiği gibi beş adet farklı sheet tanımlanmıştır. Bunlardan ilk ikisi birinci periyot ölçülerine ait verileri, üçüncü ve dördüncüsü ise ikinci periyot ölçülerine ait verileri ve sonuncusu da noktaların yaklaşık koordinatlarını göstermektedir.



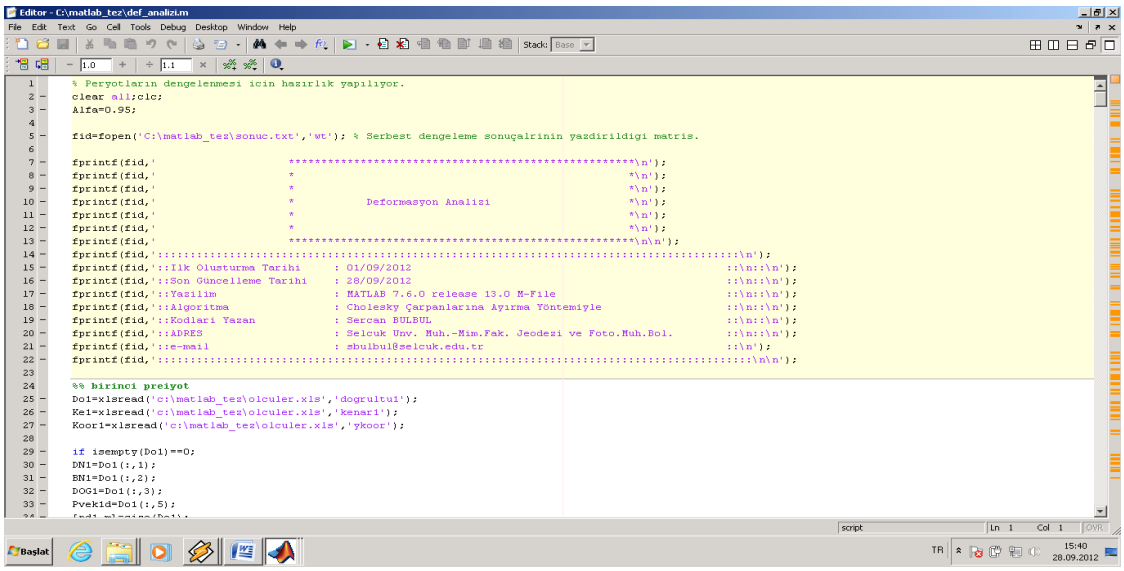
Şekil 7.6. Programın çalışması için oluşturulan excel dosyası

Sonuç dosyasının için birinci ve ikinci periyoda ait serbest dengeleme sonuçları, sabit noktalar için deformasyon analizi, obje noktaları için deformasyon analizini gösteren bilgiler mevcuttur.



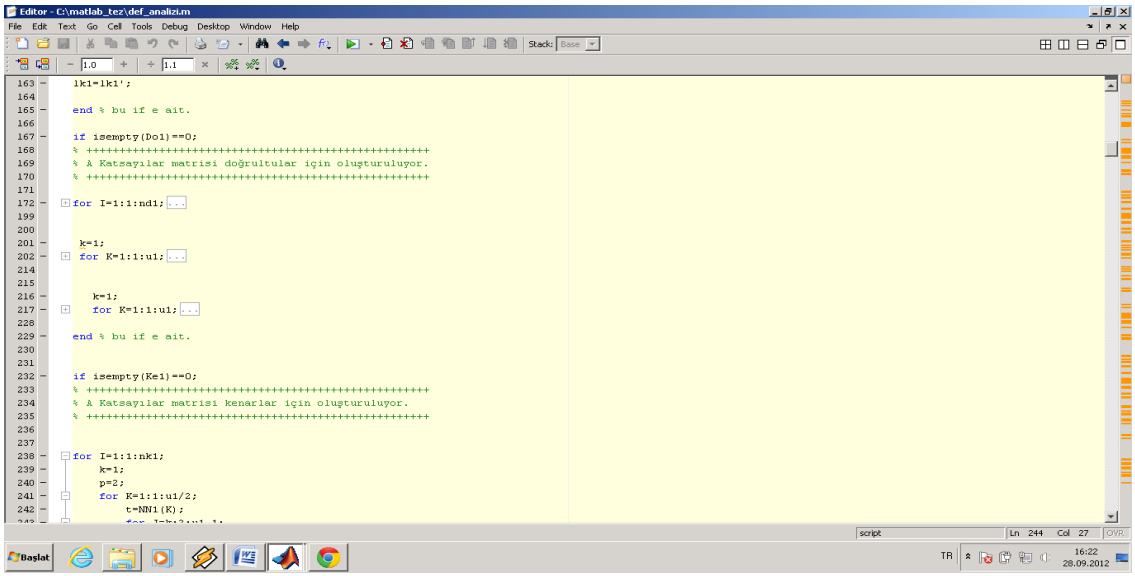
Şekil 7.7. Sonuç dosyasından bir ekran görüntüsü

Programın açıldıktan sonra c:\matlab_tez konumunda "def_analizi.m" dosyası seçilerek programın kod kısmı açılmış olur. Programın ilk aşamasında 1.periyoda ait veriler MATLAB derleyicisine aktarılması için gerekli kodlar yazıldı (Turcotte ve Wilson, 1998). Aktarım esnasında doğrultu ölçümleri, kenar ölçümleri ve bunlara ilişkin ortalama hatalar çağrıldı (Şekil 7.8.).

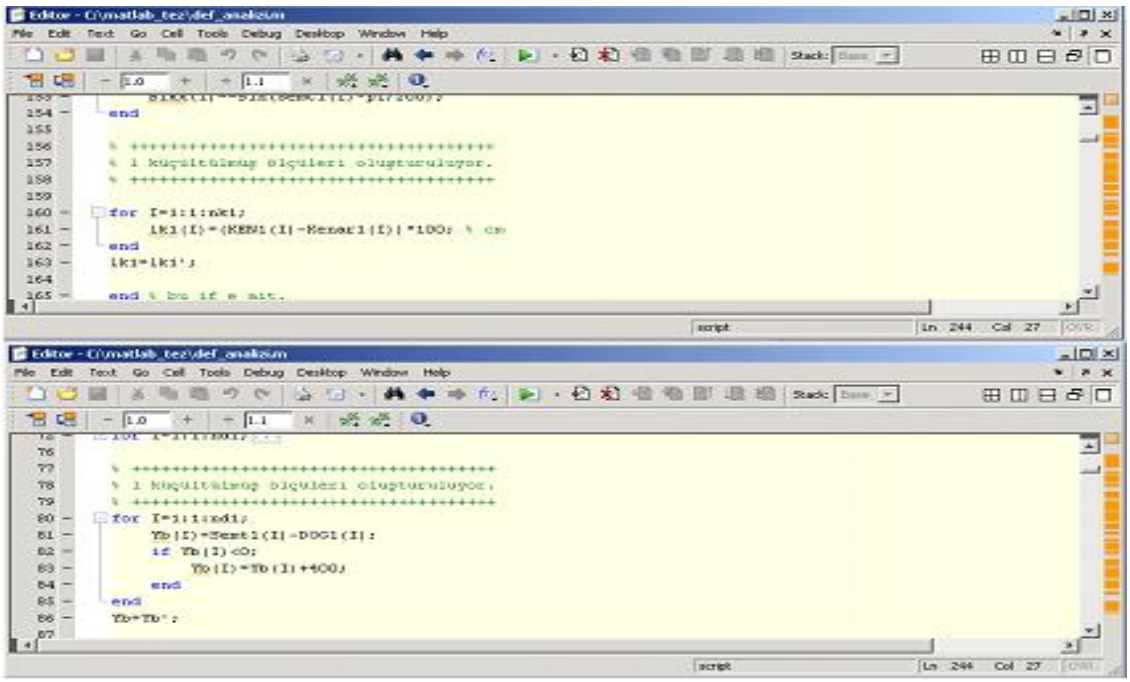


Şekil 7.8. MATLAB dosya çağırma ekranı

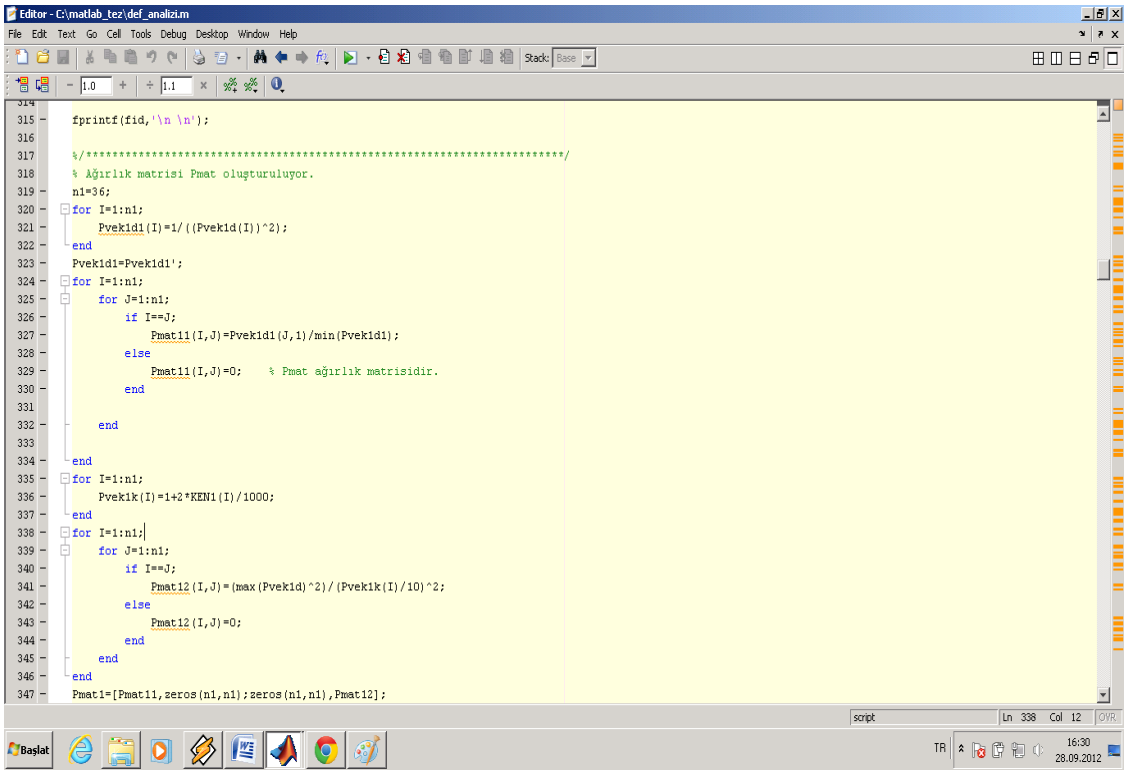
1.periyota ait veriler çağırıldıktan sonra birinci periyota ait veriler yardımıyla en küçük kareler yöntemine göre serbest dengeleme yapılması için gerekli olan katsayılar matrisi, ağırlık matrisi ve küçültülmüş ölçüler matrisinin oluşturulması için gerekli kodlar yazıldı (Şekil 7.9., Şekil 7.10. ve Şekil 7.11.).



Şekil 7.9. A katsayılar matrisi oluşturulması

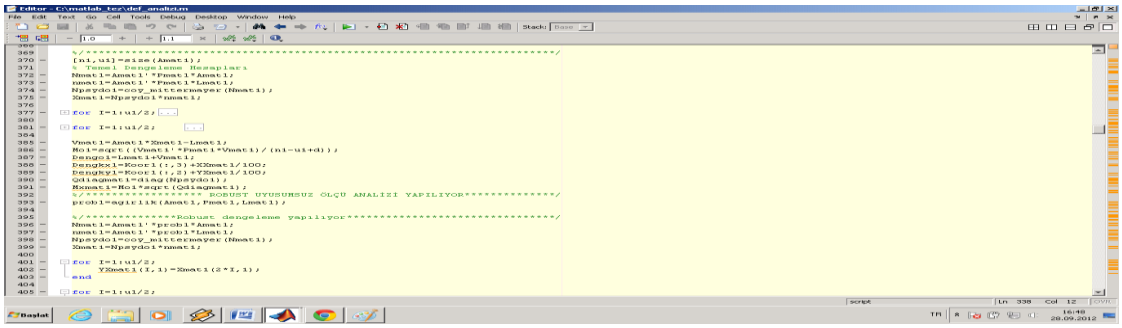


Şekil 7. 10. Küçültülmüş ölçü vektörünün oluşturulması



Şekil 7.11. P ağırlık matrisinin oluşturulması

Oluşturulan matris ve vektörlerden yararlanarak, serbest dengeleme için gerekli olan elemanlar hesaplatıldı (A, P, l) ve **EKKY'ne** göre serbest dengeleme yapılabilmesi için gerekli kodlar yazıldı. Daha sonra fonksiyonel model testi, stokastik model testlerinin uygulanması için gerekli olan kodlar yazıldı. Bu işlemlerle ölçüler arasında uyuşumsuz ölçü olabileceği düşünülerek uyuşumsuz ölçülerin ayıklanması için **robust kestirim yöntemi** kullanıldı ve her periyot ölçülerinin olabilecek uyuşumsuz ölçülerden arındırılması için Robust M kestirimi ile ilgili kodlar yazıldı ve bu kodlar program dosyasına fonksiyon dosyası olacak şekilde aktarıldı (Şekil 7.12.).

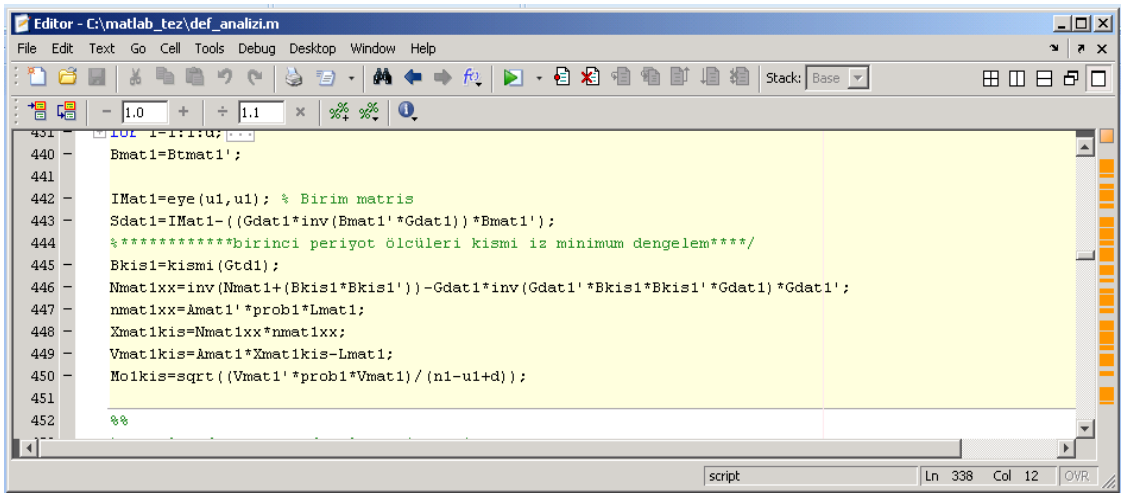


Şekil 7.12. Robust kestirimle uyuşumsuz ölçü ayıklanması

Uyuşumsuz ölçü analizi yapılması esnasında Ağın univaryant ağ olarak kalması sebebiyle Robust Yöntemi tercih edildi. **Uyuşumsuz ölçüler atılmaktan ziyade ağırlıkları düzenlendi.**

İkinci periyot ölçüleri için bölüm başında anlatılan işlemler 2.periyot ölçülerine göre düzenlenerek ikinci periyot ölçülerinin de EKKY'ne göre dengelenmesi, uyuşumsuz ölçülerin ağırlıklarının düzenlemesi için Robust kestirimi yapılmıştır. Robust yönteminden sonra da dengeleme işlemleri yapılarak ikinci periyot ölçüleri de dengelendi.

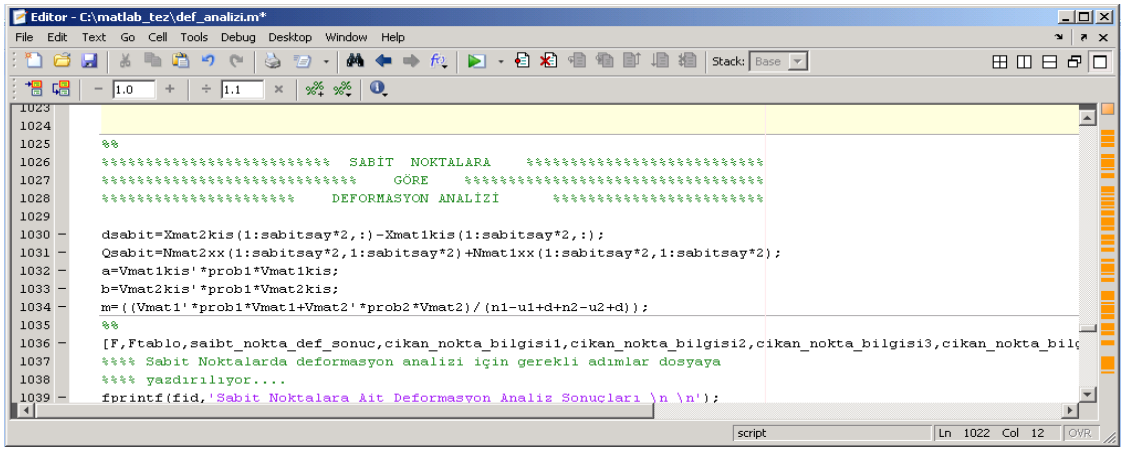
Dengeleme işlemleri tamamlandıktan sonra sabit olarak kaldığı tahmin edilen noktaların Cholesky Çarpanlarına Ayırma yöntemiyle deformasyon analizi işlemlerinin yapılabilmesi için sabit kaldığı varsayılan noktalara göre kısmi iz minimum yöntemine göre dengeleme yapılabilmesi için gerekli düzenlemeler yapılarak gerekli kodlar yazıldı (Şekil 7.13.).



Şekil 7.13. Sabit kaldığı tahmin edilen noktalara göre kısmi iz minimum dengeleme

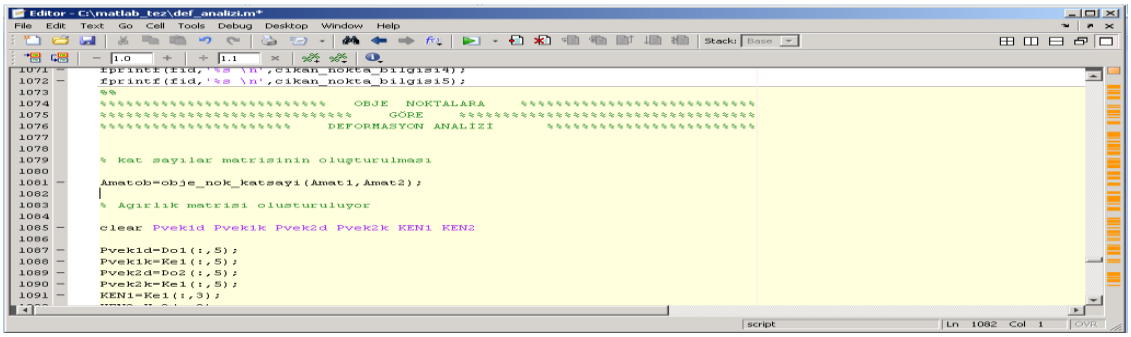
Sabit kaldığı tahmin edilen noktalara göre kimsi iz minimum yöntemine göre dengeleme için gerekli kodlar yazıldıktın sonra sabit kaldığı tahmin edilen noktalara ilişkin deformasyon analiz işlemine geçilmiştir. Bu noktalara göre deformasyon analizinin yapılması için ana program dosyası içinde bir fonksiyon dosyası oluşturuldu. Bu fonksiyon dosyasında kimsi iz minimum yöntemine göre dengeleme işlemleri sonucunda oluşturulan fark vektörü (**d**), varyans-kovaryans matrisi (**Q**) alınarak analiz işlerine başlanmış ve sonuç olarak hareket etmediği kabul edilen noktalar ve hareket

eden noktaları gösteren ve çıktı ürünün verilmesi için gerekli kodlamalar yapıldı (Şekil 7.14.).



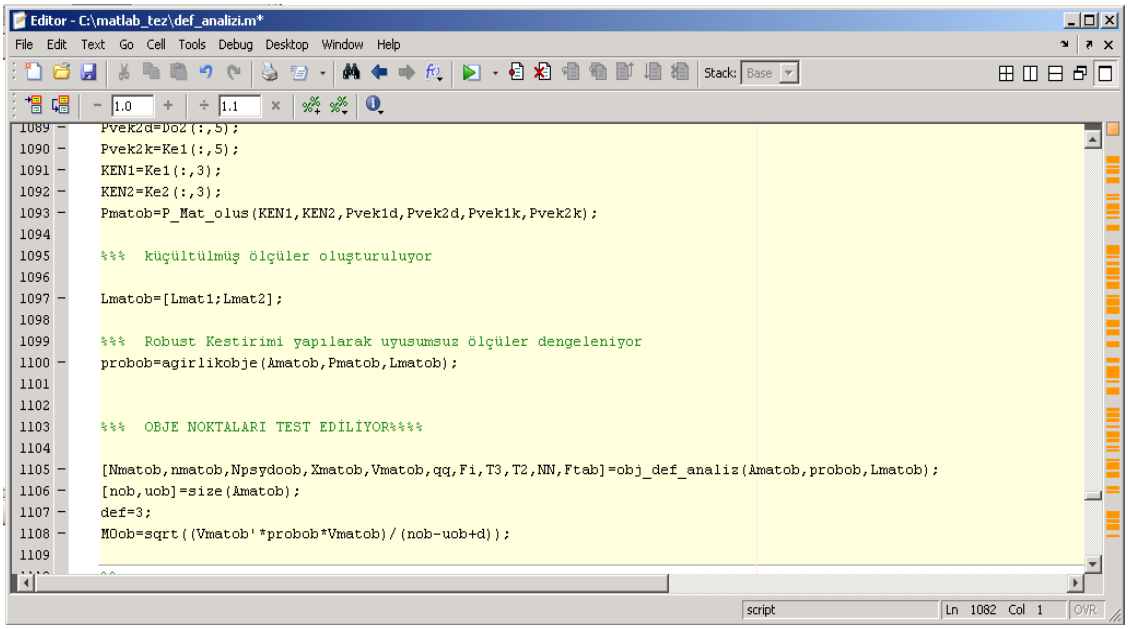
Şekil 7.14. Sabit noktaların analizi

Sabit olarak kalan ve hareket ettiği saptanan sabit noktalar belirlendikten sonra obje noktaları ve obje noktası olarak seçilen sabit noktaların deformasyon analizine geçilmiş ve deformasyon analizi için gerekli kodlar yazılmıştır. Obje noktaları için deformasyon analizi içinde bir fonksiyon dosyası oluşturulmuştur. Bu fonksiyon dosyası obje noktaları için deformasyon analizi aşamasında kullanılacak olan katsayılar matrisinin oluşturulması, **l** küçültülmüş ölçüler vektörünün oluşturulması, ağırlık katsayıları matrisinin oluşturulması ve sonrasında EKKY'e göre dengeleme yapması için gerekli kodlar yazıldı. Uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi için Robust M kestirimi yönteminin kodları yazıldı. Robust Yöntemi sayesinde uyuşumsuz ölçülerin ağırlık katsayılarının düzenlenmesi işlemleri için gerekli olan kodlar yazıldı (Şekil 7.15.).



Şekil 7.15. Obje noktalarının analizi

Dengeleme işlemleri tamamlandıktan sonra Cholesky Çarpanlara Ayırma Yöntemiyle Deformasyon Analizinde obje noktalarının değerlendirilmesi aşamasına geçilmiştir. Obje noktalarına göre deformasyon analizinin yapılması için bir fonksiyon dosyası oluşturuldu. Bu fonksiyon dosyası sayesinde obje noktalarında deformasyon olup olmadığının belirlenmesi için gerekli kodlar yazıldı ve obje noktalarına göre deformasyon analizi işleminin başlatılması sağlandı (Şekil 7.16.).



Şekil 7.16. Obje noktalarının test edilmesi

Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemiyle deformasyon analizi için gerekli olan bütün kodlar yazıldıktan sonra hesaplamalar sonucunda bulunan değerlerin bir dosyaya yazılması işlemine geçilmiştir. Dosyaya yazılacak veriler aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Birinci periyot ölçülerine ait dengeleme sonuçları
- İkinci periyot ölçülerine ait dengeleme sonuçları
- Sabit noktalara ait deformasyon analiz sonucu
- Sabit noktaların yerelleştirilmesi sonucu
- Birinci ve ikinci periyot ölçülerinin toplu dengelenmesine ait dengeleme sonuçları
- Obje noktalarına ait deformasyon analizi sonucu
- Obje noktalarına ait deformasyon analizinin yerelleştirilmesi

şeklinde sıralama yapılması amacıyla ilgili kodlar yazılmıştır.

Program yaklaşık olarak 45 saniye gibi kısa bir süre sonunda sonuca varmakta ve sonuçlar ".txt" uzantılı "sonuc.txt" dosyası şeklinde ilgili dizinin bulunduğu dosyaya kaydedilmektedir.

8. SONUÇLAR

Yerkabuğunda, yapılarda, makine tesislerinde meydana gelen deformasyonların araştırılması harita mühendisliğinin en önemli uygulama alanlarında biridir. Deformasyon belirleme amacıyla yapılan ölçmeler analiz yöntemleriyle değerlendirilir ve belli bir istatistik güvenle anlamlı deformasyon olup olmadığına karar verilir.

Deformasyon ölçülerinin değerlendirilmesinde farklı analiz yöntemleri kullanılır. Bu çalışmada deformasyon analizinde kullanılan **statik** değerlendirme yöntemlerinden **Cholesky Çarpanlarına Ayırma** ve **Bağıl Güven Elipsi** yöntemleri **teorik olarak incelenmiş** ve Ermenek Barajında yapılan iki periyot ölçünün değerlendirilmesi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi, ağda sabit ve hareketli noktalar başlangıçta biliniyorsa kolay uygulanabilir. Programlamaya uygun bir yöntemdir. Hareket analizi **korelasyonsuz** fark vektörü ile yapılabilmektedir. Bağıl güven elipsi yönteminde de sabit ve hareketli noktaların başlangıçta bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu yöntemde sabit nokta araştırması **benzerlik dönüşümü** ile yapılmaktadır. İrdelenecek olan iki periyotta en az dengelenen ağın boyutu kadar konumu değişmemiş noktanın bulunması gerekir. Nokta sayısının fazla olması durumda bu noktaların içinde test sınırına yakın olanlar obje noktası olarak düşünülebilir. Çünkü daha sonra bu noktalar tek tek irdeleme sırasında hareketsiz nokta olarak elde edilebilir. Yöntemin üstün özelliği hareket eden noktalar ve hareketin büyüklüğü görsel olarak gösterilebilir ve yorumlanabilir olmasıdır.

Yöntemleri karşılaştırma amacıyla Ermenek barajında yapılan iki periyot ölçü kullanılmıştır. Ağda altı nokta (**2**, **4**, **5**, **8**, **9**, **12**) referans noktası, üç nokta (**101**, **103**, **105**) obje noktası olarak ele alınmıştır. Her iki yöntemde de öncelikle periyot ölçüleri ayrı ayrı dengelenmiş, uyuşumsuz ölçüler **Robust Kestirim** ile ayıklanmıştır. Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemiyle yapılan analiz sonunda sabit nokta olarak düşünülen noktalardan **4**, **5** ve **12** noktalarının sabit kaldığı, diğer sabit olduğu düşünülen **2**, **8**, **9** noktaları ile **obje noktalarının** %95 istatistik güvenle deformasyona uğradığı sonucuna varılmıştır.

Bağıl güven elipsi yöntemiyle yapılan araştırmada ise sabit olduğu düşünülen **4**, **5** ve **12** noktaları ile **105** nolu obje noktasının deformasyona uğramadığı, diğer **sabit noktalar ile obje noktalarının** %95 istatistik güvenle deformasyona uğradığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 8-1 Ağ noktalarının iki yöntemle karşılaştırılması

Yöntem / Nokta No	Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntem	Bağıl Güven Elipsleri Yöntemi
2	+	+
4	-	-
5	-	-
8	+	+
9	+	+
12	-	-
101	+	+
103	+	+
105	+	-

Çizelge 8.1 ‘de görüldüğü gibi her iki yöntemle yapılan analizde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

10. KAYNAKLAR

Anonim1, 2012, Wep adresi URL : http://www.teknikinsanlar.com /index.php?topic=2864.5;wap2 (Ziyaret Tarihi 3 Mayıs 2012).

Anonim2,2012, Wep adresi URL : http://tr.wikipedia.org/wiki/ Ermenek_Baraj %C4%B1veHidroelektrik_Santrali (Ziyaret Tarihi 12 Haziran 2012).

Anonim3, 2012, Wep adresi URL : http://www.ermenekbaraji.com/ (Ziyaret Tarihi 14 Haziran 2012)Anonim4, 2012.

Anonim4, 2012, Wep adresi URL : www.kop.gov.tr/KOP-illeri-tanitim-genel-bilgiler-taslak.pdf (Ziyaret Tarihi 5 Temmuz 2012).

Anonim5, 2013, Wep adresi URL : http://www.neredennereye.com/harita/ (Ziyaret Tarihi 17.01.2013)

Anonymous, 2013, Wep adresi URL http://en.wikipedia.org/wiki/St._Francis_Dam (Ziyaret Tarihi 18.01.2013)

Atasoy V., Öztürk E., 2005, "**Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri ve Sonuçların Yorumu**", *Harita ve Kadastro Mühendisliği*, sayı: 50-51, sayfa:27-40, TMMOB-HKMO Yayını, Ankara, 1984.

Ayan, T., 1983, "**Bağıl Güven Elipsleri ile Deformasyon Analizi**", *Harita Dergisi,* Sayı: 91, sayfa 1-11, Ankara.

Ayan, T., 1993, "**Heyelan Hareketlerinin İncelenmesi için Bir Jeodezik Uygulama**" *Harita Kadastro Mühendisliği Dergisi*, Sayı 75, sayfa 55-68, Ankara.

Baarda, W., 1968, "**A Testing Procedure for Use in Geodetic Network**", *Netherlands Geodetic Commission* , 2, 5, sayfa:5-59.

Bektaş, S., 1998, "**Sayısal Çözümleme Ders Notları (basılmamış)** ", 19 Mayıs *Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,* Samsun.

Berber, M., 1997, "**Kenar Ağlarında Uyuşumsuz Ölçülerin Klasik Uyuşumsuz Ölçü Testleri ve M-kestirimi Yöntemiyle Belirlenmesi ve Karşılaştırılması**", *Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.Sayfa :109.

Caspary, W., Borutta, H., 1987, "**Robust Estimation in Deformation Models**", *Survey Review,* sayı/cilt 29/223, sayfa.: 29-45, Maney Publishing, Leek, U.K.

Demirel, H.,2009, "**Dengeleme Hesabı**", *Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Üniversite Yayın No: YTÜ.İN.DK-05.0735, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayım Merkezi,* İstanbul, *Sayfa: 167-176.*

Demirel, H., 1987, "**Jeodezik Ağlarda Datum Tanımları ve Dengeleme Sonuçlarına Etkileri**", *Prof. Burhan Tansuğ Fotogrametri ve Jeodezi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı,* sayfa: 269-277, Ankara.

Doğanalp, S., 2005, "**Kinematik Modelde Kalman Filtreleme Yöntemi ile Deformasyon Analizi**", *Yüksek Lisans Tezi,* Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya,s.148.

Erdoğan, H., 1998, "**Yapı Çevrelerinde Deformasyon Ölçmeleri ve Bir Model Üzerinde Uygulama**", *Yüksek Lisans Tezi,* Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü , İstanbul, sayfa : 77.

Hekimoğlu, S., Berber, M., 2003, "**Effectiveness of Robust Methods in Heterogenous Linear Models**", *Journal of geodesy,Sayı/cilt 76(11-12),* sayfa *706-713.*

Heunecke,O., Welsch,W.,2001, "**Terminology and Classification of Deformation Models in Engineering Surveys**", *Journal of Geospatial Engineering", Vol 2. No1, pp35-44,* Hong Kong.

Hoşbaş, R.,G., Erkaya, H., Gülal, E., 2003, "**Baraj Deformasyonlarının Üç Boyutlu Geometrik Modelle İrdelenmesi**"*, 1. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, sayfa: 160-79,* İstanbul.

İnal, C., 2010, "**Dengelemede Özel Konular Ders Notları (basılmamış)**", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,* Konya.

İnal, C., 2009, "**Mühendislik ölçmeler Ders Notları (basılmamış)**", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,* Konya.

İnal, C., 1998, "**Konya Alaeddin Camii'nin Deformasyon ve Deplasmanının Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi**", *Doktara Tezi, Y.T.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, *Sayfa :111*.

İnal, C., Baybura, T., 1995, "**Jeodezik Ağlarda Kalite Kontrolü**", *S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt.10,Sayfa.2*.

Kara, H.,H., 1998, "**Ölçülerin İteratif Çözüm Yöntemleri İle Belirlenmesinde Geleneksel En Küçük Kareler Yöntemi İle Değişik Robust Kestirim Yöntemlerinin Uygulanması ve Karşılaştırılması**", *Yüksek lisans Tezi, KTU Fen Bilimleri Enstitüsü,* Trabzon, sayfa: 155.

Kock, K., R., 1987, "**Parameterschaetzung und Hypothesentest in Linearen Modellen**", *Dümmlers Verlag,* Bonn.

Konak, H., 1994, " **Yüzey Ağlarının Optimizasyonu**", *Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü,* Trabzon. Sayfa: 174

Kuang, S., 1996, "**Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications**", *Ann Arbor Press, Ann Arbor,* Michigan.

Murle, M. ve Bill, R., 1997, "**Zuverlaessigkeit und Genauigkeitsuntersuchungebener Geodaetischer Netze**", *AVN 2.*

Olyazadeh, R., Setan, H., Fouladinejad, N., 2011, "**Network Adjustment Program using MATLAB**", *Geospatialworldforum, Hyderabad,* India.

Öztürk, E., 1987, "**Jeodezik Ağlarda Duyarlılık ve Güven Ölçütleri**", *Türkiye 1. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı,* Bildiriler Kitabı, Sayfa: 641-670, Ankara.

Öztürk, E., 1982, "**Jeodezik Ağlarda Güven Ölçütleri ve Ölçme Planının Uygunlaştırılması**", *K.T.Ü. Yayınları, No 39,* Trabzon.

Paper, R., Niemeier, W., 1983, "**Some Aspects of the Theory of Errors in Levelling Networks**", *The Workshop on Precise Leveling, , Precise Levelmg, Sayfa 295-314.*

Pilgrim, L., 1996, "**Robust Estimation Applied to Surface Matching**", *ISPRS Journal of Photogrammetry And Remote Sensing*, sayı 51, sayfa :*243257.*

Seemkooei, A.A. 2003, "**Formulation of L1 Norm Minimization in Gauss-Markov Models**", *Journal of Surveying Engineering* sayı 129(1) sayfa :37-43.

Strang, G., Borre, K., 1997, "**Linear Algebra**", *Geodesy and GPS.* Wellesley-Cambridge Press ,USA.

Uzunoğlu, M., Kızıl, A., Onar, Ç. Ö., 2003, "**Her Yönüyle MATLAB**", *Türkmen Kitabevi,ISBN: 975-6392-07-X,* İstanbul*, bölüm II, III, IV, V ve VI.*

Turcotte L.H., Wilson H. B., 1998, "**Computer Applications in Mechanics of Materials Using MATLAB***", Prentice Hall,ISBN-10/0137490607, ISBN-13/9780137490608,* England.

Yalçınkaya, M., 2000, "**Güncel Yerkabuğu Hareketlerinin Belirlenmesi**", *Harita Dergisi, Sayı 124,* Sayfa: 38-42, Ankara.

Yang, Y., 1999, "**Robust Estimation of Geodetic Datum Transformation**", *Journal of Geodesy, sayı: 73, sayfa: 268-274.*

Yalçınkaya, M., Tanır, E.,2001, "**Cholesky Çarpanlarına Ayırma ve Bağıl Güven Elipsi Yöntemleriyle Yatay Hareketlerin belirlenmesi**", *Harita Dergisi*, sayı *126, Sayfa 17-34,* Ankara.

Yalçınkaya M., Tanır, E., 2000, "**Deformation of Movements on Minning Areas by Static Deformation Models**", *11st ISM International Congress, Polond(Krakow).*

Yalçınkaya, M., Teke, K., Bayrak, T., 2003, "**GPS ile Ölçülen Ağlarda Duyarlık ve Güven Optimizasyonu**"*, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı,* Selçuk Üniversitesi, Sayfa 271-291, Konya.

Yetkin, M., 2008, "**GPS Ağlarının Optimal Tasarımı ve Robust İstatistik Yöntemlerin Kullanılabilirliği**", *Yüksek lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya,* sayfa :128.

10. EKLER

Ek.1 Hazırlanan Programın Kodları

```
% Peryotların dengelenmesi icin hazırlık yapılıyor.
clear all;clc;
Alfa=0.95;

fid=fopen('C:\matlab_tez\sonuc.txt','wt'); % Serbest dengeleme sonuçalrinin yazdirildigi
matris.

fprintf(fid,'
**********************************************************\n');
fprintf(fid,'                *                                    *\n');
fprintf(fid,'                *                                    *\n');
fprintf(fid,'                *        Deformasyon Analizi         *\n');
fprintf(fid,'                *                                    *\n');
fprintf(fid,'                *                                    *\n');
fprintf(fid,'
**********************************************************\n\n');
fprintf(fid,'::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::\n');
fprintf(fid,'::Ilk Olusturma Tarihi     : 01/09/2012                                    ::\n::\n');
fprintf(fid,'::Son Güncelleme Tarihi    : 05/12/2012
::\n::\n');
fprintf(fid,'::Yazilim                  : MATLAB 7.6.0 release 13.0 M-File
::\n::\n');
fprintf(fid,'::Algoritma                : Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemiyle
::\n::\n');
fprintf(fid,'::Kodlari Yazan            : Sercan BULBUL
::\n::\n');
fprintf(fid,'::ADRES                    : Selcuk Unv. Muh.-Mim.Fak. Jeodezi ve
Foto.Muh.Bol.       ::\n::\n');
fprintf(fid,'::e-mail                   : sbulbul@selcuk.edu.tr                         ::\n');
fprintf(fid,'::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::\n\n');

%% birinci preiyot
Do1=xlsread('c:\matlab_tez\olculer.xls','dogrultu1');
Ke1=xlsread('c:\matlab_tez\olculer.xls','kenar1');
Koor1=xlsread('c:\matlab_tez\olculer.xls','ykoor');

if isempty(Do1)==0;
DN1=Do1(:,1);
BN1=Do1(:,2);
DOG1=Do1(:,3);
Pvek1d=Do1(:,5);
[nd1,m]=size(Do1);
end

if isempty(Ke1)==0;
DNk1=Ke1(:,1);
BNk1=Ke1(:,2);
```

```
KEN1=Ke1(:,3);
Pvek1k=Ke1(:,5);
[nk1,m]=size(Ke1);
end

NN1=Koor1(:,1);
Y1=Koor1(:,2);
X1=Koor1(:,3);

[u1,m]=size(NN1);
u1=u1*2;

if isempty(Do1)==0;
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% Doğrultular için aik,bik ve li
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
for I=1:1:nd1;
k=find(NN1==DN1(I));
y1=Y1(k);
x1=X1(k);
j=find(NN1==BN1(I));
y2=Y1(j);
x2=X1(j);
[Semt1(I),Kenar1(I)]=angdist(x1,y1,x2,y2); % angdist fonksiyonuna gönderiliyor.
end

Semt1=Semt1';
Kenar1=Kenar1';
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% aik ve bik Katsayıları oluşturuluyor.
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++

for I=1:1:nd1;
Aik(I)=sin(Semt1(I)*pi/200)*20000/(Kenar1(I)*pi); % cc/cm
Bik(I)=-cos(Semt1(I)*pi/200)*20000/(Kenar1(I)*pi); % cc/cm
end

% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% l küçültülmüş ölçüleri oluşturuluyor.
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
for I=1:1:nd1;
Yb(I)=Semt1(I)-DOG1(I);
if Yb(I)<0;
Yb(I)=Yb(I)+400;
end
end
Yb=Yb';

% Alet Kurma sayısı bulunuyor.
Aks=1;k=0;
```

```
for I=1:1:nd1;
if I>=nd1;
break;
end
if DN1(I)~=DN1(I+1);
Aks=Aks+1;   % Alet kurma sayısı.
k=0;
else
k=k+1; % alet kurulan noktalardaki gözlenen istasyon sayısı.
end

Tyb(Aks)=I+1;
Tya(Aks)=k+1;
end


k=1;
for J=1:1:Aks;
Ybt(J)=0;
for I=k:1:nd1;
if I<=Tyb(J)
Ybt(J)=Ybt(J)+Yb(I)/Tya(J);
k=k+1;
end
end
end

k=1;
for J=1:1:Aks;
for I=k:1:nd1;
if I<=Tyb(J)
Yb(k)=(Yb(k)-Ybt(J))*10000;
k=k+1;
end
end
end
ld1=-Yb;

end % bu if e ait.


if isempty(Ke1)==0;
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% Kenarlar için aik,bik ve li
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++
clear Semt Kenar
for I=1:1:nk1;
k=find(NN1==DNk1(I));
y1=Y1(k);
x1=X1(k);
```

```
j=find(NN1==BNk1(I));
y2=Y1(j);
x2=X1(j);
[Semt1(I),Kenar1(I)]=angdist(x1,y1,x2,y2); % angdist fonksiyonuna gönderiliyor.
end
Semt1=Semt1';
Kenar1=Kenar1';
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% aik ve bik Katsayıları oluşturuluyor.
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++

for I=1:1:nk1;
Aikk(I)=-cos(Semt1(I)*pi/200);
Bikk(I)=-sin(Semt1(I)*pi/200);
end

% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% l küçültülmüş ölçüleri oluşturuluyor.
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++

for I=1:1:nk1;
lk1(I)=(KEN1(I)-Kenar1(I))*100; % cm
end
lk1=lk1';

end % bu if e ait.

if isempty(Do1)==0;
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% A Katsayılar matrisi doğrultular için oluşturuluyor.
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++

for I=1:1:nd1;
k=1;
p=2;
for K=1:1:u1/2;
t=NN1(K);
for J=k:2:u1-1;
if DN1(I)==t;
Amatd(I,J)=Aik(I);break;
elseif BN1(I)==t;
Amatd(I,J)=-Aik(I);break;
else
Amatd(I,J)=0;break;
end
end
k=k+2;
for J=p:2:u1;
if DN1(I)==t;
Amatd(I,J)=Bik(I);break;
```

```
elseif BN1(I)==t;
Amatd(I,J)=-Bik(I);break;
else
Amatd(I,J)=0;break;
end
end
p=p+2;
end
end


k=1;
for K=1:1:u1;
k=1;
for J=1:1:Aks;
Amatdt(J,K)=0;
for I=k:1:nd1;
if I<=Tyb(J)
Amatdt(J,K)=Amatdt(J,K)+Amatd(I,K)/Tya(J);
k=k+1;
end
end
end
end


k=1;
for K=1:1:u1;
k=1;
for J=1:1:Aks;
for I=k:1:nd1;
if I<=Tyb(J)
Amatdi(k,K)=(Amatd(k,K)-Amatdt(J,K));
k=k+1;
end
end
end
end

end % bu if e ait.


if isempty(Ke1)==0;
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% A Katsayılar matrisi kenarlar için oluşturuluyor.
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++


for I=1:1:nk1;
k=1;
```

```
p=2;
for K=1:1:u1/2;
t=NN1(K);
for J=k:2:u1-1;
if DNk1(I)==t;
Amatk(I,J)=Aikk(I);break;
elseif BNk1(I)==t;
Amatk(I,J)=-Aikk(I);break;
else
Amatk(I,J)=0;break;
end
end
k=k+2;
for J=p:2:u1;
if DNk1(I)==t;
Amatk(I,J)=Bikk(I);break;
elseif BNk1(I)==t;
Amatk(I,J)=-Bikk(I);break;
else
Amatk(I,J)=0;break;
end
end
p=p+2;
end
end

end % bu if e ait.

% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% A Katsayılar ve l matrisi birleştiriliyor.
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
if isempty(Do1)==0 && isempty(Ke1)==0;
n1=nd1+nk1;
Akk1=Aks;
d=3;
Amat1=[Amatdi;Amatk];
Lmat1=[ld1;lk1];
Pvek1=[Pvek1d;Pvek1k];
end
if isempty(Do1)==0 && isempty(Ke1)==1;
n1=nd1;
Akk1=Aks;
d=4;
Amat1=Amatdi;
Lmat1=ld1;
Pvek1=Pvek1d;
end
if isempty(Ke1)==0 && isempty(Do1)==1;
n1=nk1;
Akk1=0;
```

```
d=3;
Amat1=Amatk;
Lmat1=lk1;
Pvek1=Pvek1k;
end

fprintf(fid,'1. PERYODA AİT SERBEST DENGELEME SONUÇLARI \n \n');
fprintf(fid,'Ölçü Sayisi          = \t %i \n',n1);
fprintf(fid,'Bilinmeyen Sayisi    = \t %i \n',u1+Akk1);
fprintf(fid,'Datum Defekti Sayisi = \t %i \n',d);
fprintf(fid,'Alet Kurma Sayisi    = \t %i \n',Akk1);
fprintf(fid,'Serbestlik Derecesi  = \t %i \n \n',n1-u1-Akk1+d);

%/**********************************************************************
****/
% Katsayılar matrisi dosyaya yazdırılıyor.
fprintf(fid,' A KATSAYILAR MATRISI \n\n');
for I=1:n1;
for J=1:u1;
fprintf(fid,'%f \t',Amat1(I,J));
J=J+1;
end
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n');

%/**********************************************************************
*****/
% Ağırlık matrisi Pmat oluşturuluyor.
n1=36;
for I=1:n1;
Pvek1d1(I)=1/((Pvek1d(I))^2);
end
Pvek1d1=Pvek1d1';
for I=1:n1;
for J=1:n1;
if I==J;
Pmat11(I,J)=Pvek1d1(J,1)/min(Pvek1d1);
else
Pmat11(I,J)=0;    % Pmat ağırlık matrisidir.
end

end

end
for I=1:n1;
Pvek1k(I)=1+2*KEN1(I)/1000;
end
```

```
for I=1:n1;
for J=1:n1;
if I==J;
Pmat12(I,J)=(max(Pvek1d)^2)/(Pvek1k(I)/10)^2;
else
Pmat12(I,J)=0;
end
end
end
Pmat1=[Pmat11,zeros(n1,n1);zeros(n1,n1),Pmat12];

fprintf(fid,'\n \n');

%/**************************************************************************
****/
% Küçültülmüş ölçüler vektörü oluşturuluyor.

% Xx1=Ykoor1(:,2);
% Yy1=Ykoor1(:,3);
% Küçültülmüş ölçüler vektörü  dosyaya yazdırılıyor.
fprintf(fid,' l Küçültülmüs Olculer Vektoru \n\n');
for I=1:n1;
for J=1:1;
fprintf(fid,' %.3f',Lmat1(I,J));
J=J+1;
end
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n \n \n');

%/**************************************************************************
****/
[n1,u1]=size(Amat1);
% Temel Dengeleme Hesapları
Nmat1=Amat1'*Pmat1*Amat1;
nmat1=Amat1'*Pmat1*Lmat1;
Npsydo1=coy_mittermayer(Nmat1);
Xmat1=Npsydo1*nmat1;

for I=1:u1/2;
YXmat1(I,1)=Xmat1(2*I,1);
end

for I=1:u1/2;
XXmat1(I,1)=Xmat1(2*I-1,1);
end

Vmat1=Amat1*Xmat1-Lmat1;
```

```
Mo1=sqrt((Vmat1'*Pmat1*Vmat1)/(n1-u1+d));
Dengo1=Lmat1+Vmat1;
Dengkx1=Koor1(:,3)+XXmat1/100;
Dengky1=Koor1(:,2)+YXmat1/100;
Qdiagmat1=diag(Npsydo1);
Mxmat1=Mo1*sqrt(Qdiagmat1);
%/****************** ROBUST UYUSUMSUZ ÖLÇÜ ANALİZİ
YAPILIYOR**************/
prob1=agirlik(Amat1,Pmat1,Lmat1);

%/**************Robust dengeleme
yapılıyor*******************************/
Nmat1=Amat1'*prob1*Amat1;
nmat1=Amat1'*prob1*Lmat1;
Npsydo1=coy_mittermayer(Nmat1);
Xmat1=Npsydo1*nmat1;

for I=1:u1/2;
YXmat1(I,1)=Xmat1(2*I,1);
end

for I=1:u1/2;
XXmat1(I,1)=Xmat1(2*I-1,1);
end

Vmat1=Amat1*Xmat1-Lmat1;
Mo1=sqrt((Vmat1'*prob1*Vmat1)/(n1-u1+d));
Dengo1=Lmat1+Vmat1;
Dengkx1=Koor1(:,3)+XXmat1/100;
Dengky1=Koor1(:,2)+YXmat1/100;
Qdiagmat1=diag(Npsydo1);
Mxmat1=Mo1*sqrt(Qdiagmat1);
%S Transformasyonu için S matrisi belirleme adımları
%DATUM Belirleyici matris işlemleri

Evek3=Koor1(:,4);
J=1;
for I=1:2:u1;
Evek1(I,1)=Evek3(J,1);
I=I+1;
Evek1(I,1)=Evek3(J,1);
J=J+1;
end

Gdat1=coy_2dg(X1,Y1,d);
Gtd1=Gdat1';

for I=1:1:d;
for J=1:1:u1;
if Evek1(J,1)==0;
```

```
Btmat1(I,J)=0;
else
Btmat1(I,J)=Gtd1(I,J);
end
end
end
Bmat1=Btmat1';

IMat1=eye(u1,u1); % Birim matris
Sdat1=IMat1-((Gdat1*inv(Bmat1'*Gdat1))*Bmat1');
%************birinci periyot ölcüleri kismi iz minimum dengelem****/
Bkis1=kismi(Gtd1);
Nmat1xx=inv(Nmat1+(Bkis1*Bkis1'))-
Gdat1*inv(Gdat1'*Bkis1*Bkis1'*Gdat1)*Gdat1';
nmat1xx=Amat1'*prob1*Lmat1;
Xmat1kis=Nmat1xx*nmat1xx;
Vmat1kis=Amat1*Xmat1kis-Lmat1;
Mo1kis=sqrt((Vmat1'*prob1*Vmat1)/(n1-u1+d));

%%
%sonuçlar dosyaya yazdırılıyor 1. periyor
% Q Ters Agirlik Matrisi Yazdiriliyor.

fprintf(fid,' Q Matrisi \n\n');
for I=1:u1;
for J=1:u1;
fprintf(fid,'%.6f \t',Npsydo1(I,J));
J=J+1;
end
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n');

% X Matrisi Yazdiriliyor.

fprintf(fid,' X Matrisi (cm) \n\n');
for I=1:u1;
fprintf(fid,'%.3f \t',Xmat1(I,1));
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n');

% V Düzeltmeler Vektörü Yazdiriliyor.

ONmat1=[1:1:n1]'; % Ölçü No larini tutan matris.
fprintf(fid,'\t V Düzeltmeler Vektörü \n\n');
```

```
fprintf(fid,'Ölç.No \t Ölçü \t\t V \n\n');
for I=1:n1;
fprintf(fid,'%i \t\t %.4f \t\t %.3f ',ONmat1(I,1),Lmat1(I,1),Vmat1(I,1));
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n');

% Mo yazdiriliyor.
fprintf(fid,'Karesel Ortalama Hata >>>>>>>>>>>  ');
fprintf(fid,' Mo1= %.6f [cc veya cm]\n',Mo1);
fprintf(fid,'\n \n');

% Dengelenmis Yükseklikler ve KOH lari yazdiriliyor.

for I=1:u1/2;
Mxmaty1(I,1)=Mxmat1(2*I,1);
end

for I=1:u1/2;
Mxmatx1(I,1)=Mxmat1(2*I-1,1);
end

fprintf(fid,' Dengelenmis Koordinatlar ve Konum Hataları \n\n');
fprintf(fid,'NN \t Deng.X koord.(m) \t Mx (cm) \t Deng. Y koord.(m) \t My (cm) \n\n');
for I=1:u1/2;
fprintf(fid,'%i \t\t %.4f \t\t %.3f \t\t\t %.4f \t %.3f
',NN1(I,1),Dengkx1(I,1),Mxmatx1(I,1),Dengky1(I,1),Mxmaty1(I,1));
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n');
Qdat1=Sdat1*Npsydo1*Sdat1';
Xdat1=Sdat1*Xmat1;



%% ikinci periyot ölçüleri

%*************************************************************
%*************************************************************
%*************************************************************
%**************  2.PERİYOT ÖLÇÜLERİ DENGELENİYOR***********/
%*************************************************************
%*************************************************************
%*************************************************************
Do2=xlsread('c:\matlab_tez\olculer.xls','dogrultu2');
Ke2=xlsread('c:\matlab_tez\olculer.xls','kenar2');
```

```
Koor2=xlsread('c:\matlab_tez\olculer.xls','ykoor');

if isempty(Do2)==0;
DN2=Do2(:,1);
BN2=Do2(:,2);
DOG2=Do2(:,3);
Pvek2d=Do2(:,5);
[nd2,m]=size(Do2);
end

if isempty(Ke2)==0;
DNk2=Ke2(:,1);
BNk2=Ke2(:,2);
KEN2=Ke2(:,3);
Pvek2k=Ke2(:,5);
[nk2,m]=size(Ke2);
end
NN2=Koor2(:,1);
Y2=Koor2(:,2);
X2=Koor2(:,3);

[u2,m]=size(NN2);
u2=u2*2;

if isempty(Do2)==0;
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% Doğrultular için aik,bik ve li
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
for I=1:1:nd2;
k=find(NN2==DN2(I));
y1=Y2(k);
x1=X2(k);
j=find(NN2==BN2(I));
y2=Y2(j);
x2=X2(j);
[Semt2(I),Kenar2(I)]=angdist(x1,y1,x2,y2); % angdist fonksiyonuna gönderiliyor.
end
Semt2=Semt2';
Kenar2=Kenar2';
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% aik ve bik Katsayıları oluşturuluyor.
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++

for I=1:1:nd2;
Aik(I)=sin(Semt2(I)*pi/200)*20000/(Kenar2(I)*pi); % cc/cm
Bik(I)=-cos(Semt2(I)*pi/200)*20000/(Kenar2(I)*pi); % cc/cm
end

% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% l küçültülmüş ölçüleri oluşturuluyor.
```

```
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++
for I=1:1:nd2;
Yb(I)=Semt2(I)-DOG2(I);
if Yb(I)<0;
Yb(I)=Yb(I)+400;
end
end
Yb=Yb';

% Alet Kurma sayısı bulunuyor.
Aks=1;k=0;
for I=1:1:nd2;
if I>=nd2;
break;
end
if DN2(I)~=DN2(I+1);
Aks=Aks+1;   % Alet kurma sayısı.
k=0;
else
k=k+1; % alet kurulan noktalardaki gözlenen istasyon sayısı.
end

Tyb(Aks)=I+1;
Tya(Aks)=k+1;
end


k=1;
for J=1:1:Aks;
Ybt(J)=0;
for I=k:1:nd2;
if I<=Tyb(J)
Ybt(J)=Ybt(J)+Yb(I)/Tya(J);
k=k+1;
end
end
end

k=1;
for J=1:1:Aks;
for I=k:1:nd2;
if I<=Tyb(J)
Yb(k)=(Yb(k)-Ybt(J))*10000;
k=k+1;
end
end
end
ld2=-Yb';

end % bu if e ait.
```

```
if isempty(Ke2)==0;
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% Kenarlar için aik,bik ve li
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
clear Semt Kenar
for I=1:1:nk2;
k=find(NN2==DNk2(I));
y1=Y2(k);
x1=X2(k);
j=find(NN2==BNk2(I));
y2=Y2(j);
x2=X2(j);
[Semt2(I),Kenar2(I)]=angdist(x1,y1,x2,y2); % angdist fonksiyonuna gönderiliyor.
end
Semt2=Semt2';
Kenar2=Kenar2';
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% aik ve bik Katsayıları oluşturuluyor.
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++

for I=1:1:nk2;
Aikk(I)=-cos(Semt2(I)*pi/200);
Bikk(I)=-sin(Semt2(I)*pi/200);
end

% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% l küçültülmüş ölçüleri oluşturuluyor.
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++

for I=1:1:nk2;
lk2(I)=(KEN2(I)-Kenar2(I))*100; % cm
end
lk2=lk2';

end % bu if e ait.

if isempty(Do2)==0;
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% A Katsayılar matrisi doğrultular için oluşturuluyor.
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++

for I=1:1:nd2;
k=1;
p=2;
for K=1:1:u2/2;
t=NN2(K);
for J=k:2:u2-1;
if DN2(I)==t;
Amatd2(I,J)=Aik(I);break;
```

```
elseif BN2(I)==t;
Amatd2(I,J)=-Aik(I);break;
else
Amatd2(I,J)=0;break;
end
end
k=k+2;
for J=p:2:u2;
if DN2(I)==t;
Amatd2(I,J)=Bik(I);break;
elseif BN2(I)==t;
Amatd2(I,J)=-Bik(I);break;
else
Amatd2(I,J)=0;break;
end
end
p=p+2;
end
end


k=1;
for K=1:1:u2;
k=1;
for J=1:1:Aks;
Amatdt2(J,K)=0;
for I=k:1:nd2;
if I<=Tyb(J)
Amatdt2(J,K)=Amatdt2(J,K)+Amatd2(I,K)/Tya(J);
k=k+1;
end
end
end
end


k=1;
for K=1:1:u2;
k=1;
for J=1:1:Aks;
for I=k:1:nd2;
if I<=Tyb(J)
Amatdi2(k,K)=(Amatd2(k,K)-Amatdt2(J,K));
k=k+1;
end
end
end
end

end % bu if e ait.
```

```
if isempty(Ke2)==0;
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% A Katsayılar matrisi kenarlar için oluşturuluyor.
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++


for I=1:1:nk2;
k=1;
p=2;
for K=1:1:u2/2;
t=NN2(K);
for J=k:2:u2-1;
if DNk2(I)==t;
Amatk2(I,J)=Aikk(I);break;
elseif BNk2(I)==t;
Amatk2(I,J)=-Aikk(I);break;
else
Amatk2(I,J)=0;break;
end
end
k=k+2;
for J=p:2:u2;
if DNk2(I)==t;
Amatk2(I,J)=Bikk(I);break;
elseif BNk2(I)==t;
Amatk2(I,J)=-Bikk(I);break;
else
Amatk2(I,J)=0;break;
end
end
p=p+2;
end
end

end % bu if e ait.

% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
% A Katsayılar ve l matrisi birleştiriliyor.
% ++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
if isempty(Do2)==0 && isempty(Ke2)==0;
n2=nd2+nk2;
Akk2=Aks;
d=3;
Amat2=[Amatdi2;Amatk2];
Lmat2=[ld2;lk2];
Pvek2=[Pvek2d;Pvek2k];
end
if isempty(Do2)==0 && isempty(Ke2)==1;
n2=nd2;
```

```
Akk1=Aks;
d=4;
Amat2=Amatdi2;
Lmat2=ld2;
Pvek2=Pvek2d;
end
if isempty(Ke2)==0 && isempty(Do2)==1;
n2=nk2;
Akk2=0;
d=3;
Amat2=Amatk2;
Lmat2=lk2;
Pvek2=Pvek2k;
end

fprintf(fid,'2. PERYODA AİT SERBEST DENGELEME SONUÇLARI \n \n');
fprintf(fid,'Ölçü Sayisi          = \t %i \n',n2);
fprintf(fid,'Bilinmeyen Sayisi    = \t %i \n',u2+Akk1);
fprintf(fid,'Datum Defekti Sayisi = \t %i \n',d);
fprintf(fid,'Alet Kurma Sayisi    = \t %i \n',Akk1);
fprintf(fid,'Serbestlik Derecesi  = \t %i \n \n',n2-u2-Akk1+d);

%/*****************************************************************
****/
% Katsayılar matrisi dosyaya yazdırılıyor.
fprintf(fid,' A KATSAYILAR MATRISI \n\n');
for I=1:n2;
for J=1:u2;
fprintf(fid,'%f \t',Amat2(I,J));
J=J+1;
end
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n');

%/*****************************************************************
*****/
% Ağırlık matrisi Pmat oluşturuluyor.
n2=36;
for I=1:n2;
Pvek2d1(I)=1/((Pvek2d(I))^2);
end
Pvek2d1=Pvek2d1';
for I=1:n2;
for J=1:n2;
if I==J;
Pmat21(I,J)=Pvek2d1(J,1)/min(Pvek2d1);
else
```

```
Pmat21(I,J)=0;    % Pmat ağırlık matrisidir.
end

end

end
for I=1:n2;
Pvek2k(I)=1+2*KEN2(I)/1000;
end
for I=1:n2;
for J=1:n2;
if I==J;
Pmat22(I,J)=(max(Pvek2d)^2)/(Pvek2k(I)/10)^2;
else
Pmat22(I,J)=0;
end
end
end
Pmat2=[Pmat21,zeros(n2,n2);zeros(n2,n2),Pmat22];

fprintf(fid,'\n \n');

%/**********************************************************************
****/
% Küçültülmüş ölçüler vektörü oluşturuluyor.

% Xx1=Ykoor1(:,2);
% Yy1=Ykoor1(:,3);
% Küçültülmüş ölçüler vektörü  dosyaya yazdırılıyor.
fprintf(fid,' l Küçültülmüs Olculer Vektoru \n\n');
for I=1:n2;
for J=1:1;
fprintf(fid,' %.3f',Lmat2(I,J));
J=J+1;
end
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n \n \n');


%/**********************************************************************
****/
[n2,u2]=size(Amat2);
% Temel Dengeleme Hesapları
Nmat2=Amat2'*Pmat2*Amat2;
nmat2=Amat2'*Pmat2*Lmat2;
Npsydo2=coy_mittermayer(Nmat2);
Xmat2=Npsydo2*nmat2;
```

```
for I=1:u2/2;
YXmat2(I,1)=Xmat2(2*I,1);
end

for I=1:u2/2;
XXmat2(I,1)=Xmat2(2*I-1,1);
end

Vmat2=Amat2*Xmat2-Lmat2;
Mo2=sqrt((Vmat2'*Pmat2*Vmat2)/(n2-u2+d));
Dengo2=Lmat2+Vmat2;
Dengkx2=Koor2(:,3)+XXmat2/100;
Dengky2=Koor1(:,2)+YXmat2/100;
Qdiagmat2=diag(Npsydo2);
Mxmat2=Mo2*sqrt(Qdiagmat2);
%/****************** ROBUST UYUSUMSUZ ÖLÇÜ ANALİZİ
YAPILIYOR**************/
prob2=agirlik2(Amat2,Pmat2,Lmat2);

%/**************Robust dengeleme
yapılıyor*******************************/
Nmat2=Amat2'*prob2*Amat2;
nmat2=Amat2'*prob2*Lmat2;
Npsydo2=coy_mittermayer(Nmat2);
Xmat2=Npsydo2*nmat2;

for I=1:u2/2;
YXmat2(I,1)=Xmat2(2*I,1);
end

for I=1:u2/2;
XXmat2(I,1)=Xmat2(2*I-1,1);
end

Vmat2=Amat2*Xmat2-Lmat2;
Mo2=sqrt((Vmat2'*prob2*Vmat2)/(n2-u2+d));
Dengo2=Lmat2+Vmat2;
Dengkx2=Koor2(:,3)+XXmat2/100;
Dengky2=Koor2(:,2)+YXmat2/100;
Qdiagmat2=diag(Npsydo2);
Mxmat2=Mo2*sqrt(Qdiagmat2);
%S Transformasyonu için S matrisi belirleme adımları
%DATUM Belirleyici matris işlemleri

Evek4=Koor2(:,4);
J=1;
for I=1:2:u2;
Evek2(I,1)=Evek4(J,1);
I=I+1;
```

```
Evek2(I,1)=Evek3(J,1);
J=J+1;
end

Gdat2=coy_2dg(X2,Y2,d);
Gtd2=Gdat2';

for I=1:1:d;
for J=1:1:u2;
if Evek2(J,1)==0;
Btmat2(I,J)=0;
else
Btmat2(I,J)=Gtd2(I,J);
end
end
end
Bmat2=Btmat2';

IMat2=eye(u2,u2); % Birim matris
Sdat2=IMat2-((Gdat2*inv(Bmat2'*Gdat2))*Bmat2');

%**********ikinci periyot ölcüleri kismi iz minimum dengelem****/
Bkis2=kismi2(Gtd2);
Nmat2xx=inv(Nmat2+(Bkis2*Bkis2'))-
Gdat2*inv(Gdat2'*Bkis2*Bkis2'*Gdat2)*Gdat2';
nmat2xx=Amat2'*prob2*Lmat2;
Xmat2kis=Nmat2xx*nmat2xx;
Vmat2kis=Amat2*Xmat2kis-Lmat2;
Mo2kis=sqrt((Vmat2'*prob2*Vmat2)/(n2-u2+d));

%%
%%sonuclar dosyaya yazdırılıyor 2. periyot

% Q Ters Agirlik Matrisi Yazdiriliyor.

fprintf(fid,' Q Matrisi \n\n');
for I=1:u2;
for J=1:u2;
fprintf(fid,'%.6f \t',Npsydo2(I,J));
J=J+1;
end
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n');

% X Matrisi Yazdiriliyor.

fprintf(fid,' X Matrisi (cm) \n\n');
```

```
for I=1:u2;
fprintf(fid,'%.3f \t',Xmat2(I,1));
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n');

% V Düzeltmeler Vektörü Yazdiriliyor.

ONmat2=[1:1:n2]'; % Ölçü No larini tutan matris.
fprintf(fid,'\t V Düzeltmeler Vektörü \n\n');
fprintf(fid,'Ölç.No \t Ölçü \t\t V \n\n');
for I=1:n2;
fprintf(fid,'%i \t\t %.4f \t\t %.3f ',ONmat2(I,1),Lmat2(I,1),Vmat2(I,1));
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n');

% Mo yazdiriliyor.
fprintf(fid,'Karesel Ortalama Hata >>>>>>>>>>>  ');
fprintf(fid,' Mo2= %.6f [cc veya cm]\n',Mo2);
fprintf(fid,'\n \n');

% Dengelenmis Yükseklikler ve KOH lari yazdiriliyor.

for I=1:u2/2;
Mxmaty2(I,1)=Mxmat2(2*I,1);
end

for I=1:u2/2;
Mxmatx2(I,1)=Mxmat2(2*I-1,1);
end

fprintf(fid,' Dengelenmis Koordinatlar ve Konum Hataları \n\n');
fprintf(fid,'NN \t Deng.X koord.(m) \t Mx (cm) \t Deng. Y koord.(m) \t My (cm) \n\n');
for I=1:u2/2;
fprintf(fid,'%i \t\t %.4f \t\t %.3f \t\t\t %.4f \t %.3f
',NN2(I,1),Dengkx2(I,1),Mxmatx2(I,1),Dengky2(I,1),Mxmaty2(I,1));
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n');
Qdat2=Sdat2*Npsydo2*Sdat2';
Xdat2=Sdat2*Xmat2;
```

```
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  SABİT  NOKTALARA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%    GÖRE
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%    DEFORMASYON ANALİZİ
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

[B,F11,Ftablo1,sabitsnc,sabitsnc1,F12,Ftablo2,sabitsnc2,F13,Ftablo3,sabitsnc3,F14,Fta
blo4,sabitsnc4,F15,Ftablo5,sabitsnc5]=sbt_def_analiz(Amat1,Lmat1,Pmat1,Amat2,Pma
t2,Lmat2,Bkis1)

% %%%% Sabit Noktalarda deformasyon analizi için gerekli adımlar dosyaya
% %%%% yazdırılıyor....
fprintf(fid,'Sabit Noktalara Ait Deformasyon Analiz Sonuçları \n \n');
sabitsay=6
fprintf(fid,'Sabit Nokta sayısı          = \t %i \n',sabitsay);

% fprintf(fid,'\n\nd Matrisi \n');
% fprintf(fid,'%.3f \n ',dsabit);
% %%%%%%%  Sabit noktalar için Q matrisi yazdırılıyor%%%%%%%
%
% fprintf(fid,' \n\n Q Matrisi \n');
% for I=1:sabitsay*2;
%     for J=1:sabitsay*2;
%       fprintf(fid,'%.6f \t',Qsabit(I,J));
%        J=J+1;
%     end
%     fprintf(fid,'\n');
%     I=I+1;
% end
%
fprintf(fid,'\n\n\n SABİT NOKTALAR İÇİN DEFORMASYON SONUCU\n');
%
%
fprintf(fid,'Test Büyüklüğü \t Tablo değeri \t Sonuç \n ');
for I=1:1;
if Ftablo1>F11(I);
fprintf(fid,'%10.4f \t  %10.4f \t [SABİT NOKTLARDA DEFORMASYON
YOK]\n',F11(I),Ftablo1);
else Ftablo1<F11(I);
fprintf(fid,'%10.4f \t %10.4f \t [SABİT NOKTALARDA DEFORMASYON
VAR]\n',F11(I),Ftablo1);
end
end
fprintf(fid,'\n\n\n SABİT NOKTALAR İÇİN DEFORMASYONUN
YERELLEŞTİRME SONUÇLARI \n\n');
fprintf(fid,'%s \n',sabitsnc1);
fprintf(fid,'%s \n',sabitsnc2);
```

```
fprintf(fid,'%s \n',sabitsnc3);
fprintf(fid,'%s \n',sabitsnc4);
fprintf(fid,'%s \n',sabitsnc5);
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  OBJE  NOKTALARA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  GÖRE
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  DEFORMASYON ANALİZİ
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%


% kat sayılar matrisinin oluşturulması

Amatob=obje_nok_katsayi(Amat1,Amat2);

% Agırlık matrisi olusturuluyor

clear Pvek1d Pvek1k Pvek2d Pvek2k KEN1 KEN2

Pvek1d=Do1(:,5);
Pvek1k=Ke1(:,5);
Pvek2d=Do2(:,5);
Pvek2k=Ke1(:,5);
KEN1=Ke1(:,3);
KEN2=Ke2(:,3);
Pmatob=P_Mat_olus(KEN1,KEN2,Pvek1d,Pvek2d,Pvek1k,Pvek2k);

%%%  küçültülmüş ölçüler oluşturuluyor

Lmatob=[Lmat1;Lmat2];

%%%  Robust Kestirimi yapılarak uyusumsuz ölçüler dengeleniyor
probob=agirlikobje(Amatob,Pmatob,Lmatob);


%%%  OBJE NOKTALARI TEST EDİLİYOR%%%%

[Nmatob,nmatob,Npsydoob,Xmatob,Vmatob,qq,Fi,T3,T2,NN,Ftab]=obj_def_analiz(A
matob,probob,Lmatob);
[nob,uob]=size(Amatob);
def=3;
M0ob=sqrt((Vmatob'*probob*Vmatob)/(nob-uob+d));

%%
%%Obje noktalarına ait sonucların yazılması
NN=char(NN);
[ww,ee]=size(NN);
fprintf(fid,'\n\n OBJE NOKTALARINA AİT SERBEST DENGELEME SONUÇLARI
\n \n');
```

```
fprintf(fid,'Ölçü Sayisi          = \t %i \n',nob);
fprintf(fid,'Bilinmeyen Sayisi    = \t %i \n',uob);
fprintf(fid,'Datum Defekti Sayisi = \t %i \n',d);
fprintf(fid,'Serbestlik Derecesi  = \t %i \n \n',nob-uob+d);


fprintf(fid,'OBJE NOKTLARIMA AİT KATSAYILAR MATRISI \n\n');
for I=1:nob;
for J=1:uob;
fprintf(fid,'%.5f \t',Amatob(I,J));
J=J+1;
end
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n \n \n');

fprintf(fid,' l Küçültülmüs Olculer Vektoru \n\n');
for I=1:nob;
for J=1:1;
fprintf(fid,' %.3f',Lmatob(I,J));
J=J+1;
end
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n \n \n');

% Q Ters Agirlik Matrisi Yazdiriliyor.

fprintf(fid,' Q Matrisi \n\n');
for I=1:uob;
for J=1:uob;
fprintf(fid,'%.6f \t',Npsydoob(I,J));
J=J+1;
end
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n');

% X Matrisi Yazdiriliyor.

fprintf(fid,' X Matrisi (cm) \n\n');
for I=1:uob;
fprintf(fid,'%.3f \t',Xmatob(I,1));
fprintf(fid,'\n');
```

```
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n');

% V Düzeltmeler Vektörü Yazdiriliyor.

ONmatob=[1:1:nob]'; % Ölçü No larini tutan matris.
fprintf(fid,'\t V Düzeltmeler Vektörü \n\n');
fprintf(fid,'Ölç.No \t Ölçü \t\t V \n\n');
for I=1:nob;
fprintf(fid,'%i \t\t %.4f \t\t %.3f ',ONmatob(I,1),Lmatob(I,1),Vmatob(I,1));
fprintf(fid,'\n');
I=I+1;
end

fprintf(fid,'\n \n');

% Mo yazdiriliyor.
fprintf(fid,'Karesel Ortalama Hata >>>>>>>>>>>  ');
fprintf(fid,' Moob= %.6f [cc veya cm]\n',M0ob);
fprintf(fid,'\n \n');


fprintf(fid,' \n \n OBJE NOKTALARINDA Kİ DEFORMASYONUN
DEFORMASYON \n ');

fprintf(fid,' Nokta numarası \t\t Test Büyüklüğü \t\t Tablo değeri \t\t Sonuç \n ');
for I=1:ww;
for J=1:ee;
fprintf(fid,'%c',NN(I,J));
end
if T3>Fi(I);
fprintf(fid,'\t\t\t\t\t %10.4f \t\t\t %10.4f \t\t [Nokta deformasyona
ugramamıştır!!]\n',Fi(I),T3);
else T3<=Fi(I);
fprintf(fid,'\t\t\t\t\t %10.4f \t\t\t %10.4f \t\t [Nokta deformasyona
ugramıştır.]\n',Fi(I),T3);
end
end

%%
fprintf(fid,'\n(::) _____SELÇUK ÜNİVERSİTESİ_MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ_____ (::)');
fprintf(fid,'\n(::) ___________________HARİTA
MÜHENDİSLİĞİ_________________(::)');
fprintf(fid,'\n(::) ___________________ÖLÇME TEKNİĞİ
A.B.D_________________(::)');
fprintf(fid,'\n(::) _____________YÜKSEK LİSANS TEZ
ÇALIŞMASI_____________(::)');
```

```
clc;
% Sonuçlarin yazdirildigi dosya kapatiliyor.
status=fclose(fid);
open('c:\matlab_tez\sonuc.txt')
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Sercan BÜLBÜL
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Trabzon / 22.01.1987
Telefon	**:**	0536 572 76 39
Faks	**:**	
e-mail	**:**	sbulbul@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Yabancı Dil Ağırlıklı Maçka Lisesi, Maçka, TRABZON	2004
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2009
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2012

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2007-2008	Fu-Ka Mühendislik	Harita Müh.
2008-2009	Maçka Tapu-Kadastro Müdürlüğü	Harita Müh.
2010-2011	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	Arş.Gör.
2011-	Selçuk Üniversitesi	Arş. Gör.

UZMANLIK ALANI

Ölçme Bilgisi, Deformasyon Analizi, Cholesky Çarpanlara Ayırma Yöntemiyle Deformasyon Analizi, Bağıl Güven Elipsleri Yöntemiyle Deformasyon Analizi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

BULBUL, S., AVCI, C.,2012, **"*The Applicability Of The Model Tree Dimensional Surveying For Yhe Protection Of Historical And Cultural Heritage: An Axample Of The Province Of Konya Sille*"**, 12th International Multidisciplinary Scientific GeoCongerence SGEM 2012, Albena, Bulgaria.