

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEFORMASYON ANALİZİNDE STATİK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Harita Müh. Emine TANIR

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19.07.2000
Tezin Savunma Tarihi : 29.08.2000

96774

Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Mualla YALÇINKAYA

Mualla

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Celalettin KARAALİ

C. Karaali

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Fikri BULUT

f. Bulut

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

A. Kadioğlu

Trabzon 2000

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖNSÖZ

"Deformasyon Analizinde Statik Değerlendirme Yöntemleri" adlı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmanın verilmesi, seyri ve sonuçlandırılması hususunda yakın ilgi, teşvik ve kıymetli önerilerini esirgememiş bulunan Sayın Hocam Yrd.Doç.Dr. Mualla YALÇINKAYA'ya şükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışmamın önemli bir bölümünü teşkil eden verilerin elde edilmesinde yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Yrd.Doç.Dr. Veysel ATASOY'a ve çalışmam sırasında önerilerde bulunan Sayın Hocam Doç.Dr. Haluk KONAK'a teşekkürlerimi sunarım. Tezimin uygulama ve yazım kısmında bana büyük desteği olan Arş. Gör. Temel BAYRAK, Arş.Gör. Halil AKINCI, Arş.Gör. Hasan Tahsin BOSTANCI, Arş.Gör. Recep NİŞANCI, Arş.Gör. Ayşe YAVUZ, Arş.Gör. Faruk YILDIRIM, Arş.Gör. Hazan ALKAN, Arş.Gör. Faik Ahmet SESLİ ve diğer tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Trabzon, Temmuz 2000

Emine TANIR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Deformasyon Analizinin Uygulama Alanları.....	2
1.3. Ülkemizde Yapılan Deformasyon Araştırma Çalışmalarına Bazı Örnekler	3
1.4. Jeodezik Ağ Yöntemi ile Deformasyonların Belirlenmesi	5
1.4.1. Deformasyon Ağının Oluşturulması.....	5
1.4.2. Ölçülerin Yapılması.....	7
1.4.3. Ölçülerin Değerlendirilmesi	8
1.4.4. Deformasyon Analizi.....	9
1.5. Jeodezik Ağlarda Datum Tanımları.....	11
1.5.1. Serbest Ağ Dengelemesi	14
1.5.1.1. Kısmi İz Minimum.....	17
1.5.1.2. Tüm İz Minimum.....	19
1.6. Model Hipotezinin Testi	20
1.7. Model Hataları ve Uyuşumsuz Ölçüler Testi.....	23
1.7.1. Data-Snooping Yöntemi.....	25
1.7.2. Tau-Testi	26
1.7.3. t-Testi	27
1.8. Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Ölçütleri	28
1.8.1. Duyarlık Ölçütleri.....	29
1.8.2. Güven Ölçütleri	35
1.9. Jeodezik Ağların Optimizasyonu.....	38
1.10. Deformasyon Araştırma Modelleri.....	41

1.10.1. Statik Değerlendirme Yöntemleri.....	43
1.10.1.1. θ^2 -Ölçütü ile Deformasyon Analizi.....	44
1.10.1.2. Genelleştirme Yöntemi ile Deformasyon Analizi.....	51
1.10.1.3. Bağlı Güven Elipsleri ile Deformasyon Analizi.....	55
1.10.1.4. Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi ile Deformasyon Analizi.....	61
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	71
2.1. Deformasyon Ağının Tanıtılması.....	71
2.2. Deformasyon Ölçülerinin Değerlendirilmesi.....	72
2.3. θ^2 -Ölçütü ile Deformasyon Analizi.....	73
2.4. Genelleştirme Yöntemi ile Deformasyon Analizi.....	78
2.5. Bağlı Güven Elipsleri ile Deformasyon Analizi.....	82
2.6. Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi ile Deformasyon Analizi.....	86
3. BULGULAR.....	88
4. İRDELEME.....	91
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	94
6. KAYNAKLAR.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	105

ÖZET

Bu çalışmada, deformasyon analizinde kullanılan statik değerlendirme yöntemlerinden uygulamada en çok kullanılan yöntemler incelenmiştir. Sayısal uygulamada da bu yöntemler kullanılmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Yapılan sayısal uygulamada, bir galeride oluşan hareketleri belirlemek amacıyla galeri ve çevresini kapsayan alan üzerinde kurulan deformasyon ağında yapılan doğrultu-kenar ölçüleri veri olarak kullanılmıştır. Deformasyon ağında Eylül 1998 ve Mayıs 1999 dönemlerinde yapılan iki periyotluk doğrultu ve kenar ölçüleri, serbest ağ yöntemiyle ayrı ayrı dengelenmiş, uyumsuz ölçüler testi yapılmıştır. Dengeleme hesabı sonucunda elde edilen değerler kullanılarak, θ^2 -Ölçütü, Bağlı Güven Elipsleri, Genelleştirme Yöntemi, Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemleri ile deformasyon analizi yapılmıştır.

Çalışmanın amacı, statik modelle deformasyonların belirlenmesinde kullanılan yöntemleri inceleyerek bu yöntemlerin birbirlerine göre üstünlüklerini ya da dezavantajlarını belirlemektir. Böylece uygulayıcıya, statik modelle deformasyonları belirlemede kullanması gereken en uygun yöntem önerilmek istenmektedir. Çalışmada, bir jeodezik deformasyon ağında sözü edilen statik yöntemlerle hareketin nasıl belirleneceği, yorumlamanın nasıl yapılacağı açıklanmış ve yöntemlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Statik Model, θ^2 -ölçütü, Bağlı Güven Elipsleri, Genelleştirme Yöntemi, Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi, Deformasyon

SUMMARY

Static Methods Used In Deformation Analysis

In this study, the most used static deformation methods used in deformation analysis, were examined. In digital application these methods were used and calculated results were researched. In digital application, the edge-direction measurements belonging to the deformation network which was established on a gallery and its vicinity used as data to research the movements in a gallery. In deformation network, edge and direction measurements were done in September 1998 and May 1999, the measurements were adjusted individually according to free network method and outlier measurements test was done. The deformation analysis was done by using the results and θ^2 -criterion, relative confidence ellipse, generalization method, Cholesky factoring method.

The aim of study is to determine the advantages and disadvantages of the methods used to find deformations by static method. In this way, the best method is wanted to be suggested to the users. In the study, it's showed how to determine the movement in a geodesic deformation network by static methods and how to interpret the results.

Key Words: Static Model, θ^2 -Criterion, Relative Confidence Ellipse, Generalization Method, Cholesky Factoring Method, Deformation.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. θ^2 -Ölçütü ile deformasyon analizi iş akış şeması	50
Şekil 2. Genelleştirme yöntemi ile deformasyonanalizi iş akış şeması	55
Şekil 3. Bağıl güven elipsleri ile deformasyon analizi iş akış şeması	60
Şekil 4. Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemi ile deformasyon analizi iş akış şeması	70
Şekil 5. Deformasyon ağı	72
Şekil 6. θ^2 -Ölçütü ile belirlenen hareketler	78
Şekil 7. Genelleştirme yöntemi ile belirlenen hareketler	82
Şekil 8. Obje noktalarındaki fark vektörleri ve bağıl güven elipsleri	85
Şekil 9. Cholesky yöntemi ile belirlenen hareketler	87

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Eylül 1998-Mayıs 1999 dönemlerine ait ölçülerin dengeleme sonuçları	73
Tablo 2. θ^2 -Ölçütü ile deformasyon analizi	74
Tablo 3. Genelleştirme yöntemi ile deformasyon analizi	79
Tablo 4. Referans ve obje noktalarının testi	83
Tablo 5. Bağlı güven elipslerine göre hareket ettiği belirlenen noktalar ve hareket büyüklükleri	84
Tablo 6. Objelerindeki fark vektörleri ve bağlı güven elipsleri elemanları	85
Tablo 7. Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemi ile deformasyon analizi	87
Tablo 8. Statik değerlendirme yöntemleri ile hesaplanan hareketli noktalar ve hareket büyüklükleri	89
Tablo 9. Uygulamada kullanılan analiz sonuçlarının karşılaştırılması	96
Tablo 10. Deformasyon noktaları ve ortalama deformasyon büyüklükleri	98

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Tektonik levha hareketleri, kara parçalarının kayması, yer çekirdeğinin yer değiştirmesi, gel-git olayları, atmosferdeki olaylar ve insan eliyle oluşturulan yapay olaylar nedeniyle yer kabuğunun bazı bölgelerinde oluşan şekil değişimleri ile barajlar, asma köprüler, asma yollar v.b. gibi büyük mühendislik yapılarında ya da bunların yakın çevrelerinde meydana gelen şekil değişimlerine genel anlamda deformasyon denilmektedir [1]. Bu şekil değişimlerinin jeodezik olarak belirlenmesi ve izlenmesi için farklı periyotlarda yapılan ölçmelere deformasyon ölçmeleri denir. Farklı periyotlarda yapılan ölçülerin değerlendirilerek yer, zaman ve değişik fiziksel parametrelere göre değişikliklerin belirlenmesi ve yorumlanmasına da deformasyon analizi denilmektedir.

Nokta konumu belirlemenin yanında, jeodezinin temel ödevlerinden biri de iki ölçme dönemi arasında varsa konum değiştiren noktaların deformasyon vektörlerinin yönünü ve büyüklüğünü belirlemektir [2]. Bu anlamda deformasyon analizinin jeodezi biliminde çok önemli bir yeri vardır. Jeodezik olarak deformasyon analizinde, noktalardaki konum değişimi değişik fiziksel parametrelere ve zamana bağlı olarak belirlenir.

Deformasyon araştırmasında veriler, doğal olarak ölçülerden elde edilmektedir. Bir nesnedeki deformasyonun varlığının belirlenebilmesi için değişik faktörlere ait etkilerin göz önüne alındığı ölçme yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar genelde fiziksel ve jeodezik ölçme yöntemleri olarak adlandırılır. Hem yapıda hem de çevresinde meydana gelen deformasyonun belirlenmesine olanak sağlaması ve güvenilir olması nedeniyle jeodezik yöntemler yaygın uygulama alanı bulmaktadır [3]. Jeodezik deformasyon analizinin amacı deformasyona konu olan yapı veya bölgede, etrafındaki jeolojik, jeofiziksel etkilerle meydana gelen hareketleri belirlemektir. Objedeki veya arazideki deformasyonları belirlemek amacıyla bir jeodezik kontrol ağı kurulur ve ağda farklı periyotlarda jeodezik gözlemler yapılır. Sonra her bir periyoda ait gözlemler, ayrı ayrı serbest dengelenerek ağ noktalarının koordinatları ve varyans-kovaryans matrisleri hesaplanır. Dengeleme sonuçları veri olarak kullanılarak farklı deformasyon analizi yöntemleri ile deformasyon belirlenmesi yapılır [4].

Bu çalışmanın amacı, deformasyon analizinde kullanılan statik değerlendirme yöntemlerini inceleyerek, bu yöntemleri uygulama kolaylığı, sonuçların güvenilirliği açısından birbirleri ile karşılaştırmaktır. Bunun için en çok kullanılan statik deformasyon analizi yöntemlerinden olan Θ^2 -Ölçütü, Genelleştirme Yöntemi, Bağlı Güven Elipsleri, Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemleri inceleme konusu olarak ele alınmıştır. Sayısal uygulamada, maden araştırmak amacıyla açılan bir galeri ve çevresini kapsayacak şekilde kurulan jeodezik deformasyon ağına ait iki periyotta yapılmış doğrultu, kenar ölçüleri veri olarak kullanılmıştır. Her iki periyottaki ölçüler ayrı ayrı serbest dengelenmiştir. Hesaplanan nokta koordinatları sözü geçen statik yöntemlerde veri olarak kullanılarak, oluşan hareketler belirlenmiştir. Bu yöntemler karşılaştırılmıştır ve kullanılması en uygun olacağına karar verilen statik yöntem saptanmıştır.

1.2. Deformasyon Analizinin Uygulama Alanları

Deformasyon araştırması çok farklı alanlarda karşımıza çıkmaktadır. Örneğin büyük yapılarda, teknik tesislerde, yapay veya doğal objelerde, depremlerin kestiriminde, madencilik, tünel açımı ve benzeri çalışmalar sonucu meydana gelen kaymaların belirlenmesi gibi konularda bu yolla çözümler aranmaktadır. Deformasyon araştırmasının uygulama alanlarını aşağıdaki ana başlıklara göre özetleyebiliriz.

- **Deprem Kestirimi Çalışmalarında:** Jeodezi, bir depremden önce, deprem sırasında ve depremden sonra yeryuvarı ve gravite alanının zamana bağlı değişimlerini (deformasyon) belirler. Bu değişimler yardımıyla deprem sırasında ortaya çıkan yer kabuğu gerilimlerinin yapısına ilişkin bilgiler kazanılmaya çalışılır. Bu amaçla deformasyon ağları, öncelikle tektonik etkinlik alanları boyunca depremden etkilenen bölgelere ilişkin bilgiler verebilir. Depremin ne zaman olacağı konusunda bilgiler içermezler [5].
- **Mühendislik Yapılarındaki Şekil Değişiminin Belirlenmesinde:** Jeodezik ölçmelerin bir başka uygulama alanı da mühendislik yapılarındaki şekil ve konum değişikliklerinin belirlenmesidir [6]. Ülkemizde mühendislik yapılarındaki deformasyon araştırmaları ya ihmal edilmiş ya da yapının inşaatı bittikten sonra başladığından deformasyonlar hakkında kesin bilgiler elde edilememiştir. Oysa bu araştırma çalışmaları, büyük yapıların ve çevrelerinin hareketleri hakkında bilgi vererek zamanında önlem alınmasına katkıda bulunurlar. Ayrıca büyük zararları önleyerek ulusal servetin korunmasını sağlayan işlemlerin de temel dayanağını oluştururlar [2].

- **Heyelanlı Alanlardaki Ölçümlerde:** Heyelanlı alanlarda da yapılan ölçmeler jeodezik deformasyon araştırmalarının konusu kapsamındadır. Heyelana karşı en etkin ve uygun önlemleri tasarlayabilmek ve gerçekleştirmek, zeminin jeolojik yapısını iyi tanımak yanında, heyelan bölgelerindeki zemin hareketlerini, hareket henüz gözle fark edilemeyecek büyüklükte örneğın 1-2 cm düzeyinde iken, hareketin gerçek yerinin, sınırlarının, yönünün ve büyüklüğünün somut olarak saptanabilmesine bağlıdır [7].
- **Güncel Yerkabuğu Hareketlerinin Belirlenmesinde:** Aktif deprem bölgelerinde ortaya çıkan yatay ve düşey yöndeki kabuk hareketleri, güncel yerkabuğu hareketleri olarak adlandırılır. Genellikle 1-2 cm/yıl hızındaki güncel kabuk hareketlerini belirleyebilmek için yüksek duyarlıklılı jeodezik ölçüler gereklidir [8], [3].

Aktif deprem bölgelerinde ve fay kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde, mühendislik yapılarının (baraj, köprü) kontrolü, fay haritalarının kesin bir biçimde oluşturulması, deprem araştırma projelerine altlık sağlaması amacıyla, jeodezik deformasyon ölçü ve analizlerinin sürekli olarak yapılması, sonradan ortaya çıkabilecek hasarların azaltılması için önlem alabilme açısından yararlı olacaktır [3].

1.3. Ülkemizde Yapılan Deformasyon Araştırma Çalışmalarına Bazı Örnekler

Bu bölümde, ülkemizde şimdiye kadar yapılmış deformasyon araştırma çalışmalarından bazıları hakkında kısa bilgiler verilmektedir. Jeodezik deformasyon ölçmeleri ve ölçülerin değerlendirilme konusu mühendislik ölçmelerinin önemli bir bölümünü kapsar. Bu konuda karşılaşılan sorunlar UNESCO, FIG, Uluslararası Büyük Barajlar Komitesi v.b. kuruluşlar aracılığı ile uluslararası düzeyde de tartışılmıştır [1].

Türkiye'de yerkabuğu hareketlerini belirlemeye yönelik jeodezik çalışmalara 1970'li yıllarda başlanmıştır. 1980 'li yılların ilk yarısından başlayarak genellikle yerli ve yabancı yerbilimcilerle ortak projeler uyarınca gerçekleştirilen deprem kestirimi araştırmaları vardır. Bu amaçla yapılan jeodezik çalışmalar özellikle Kuzey Anadolu Fay Kuşağının batı kesiminde (Adapazarı, Sapanca, İznik) yoğunlaşmıştır [5], [9]. Ülkemizde değişik alanlarda yapılan deformasyon analiz çalışmalarına aşağıdaki örnekler verilebilir.

a) MTA Jeodezi Grubunun 1976 yılında kurup 1979 yılında genişlettiği Akyazı-Dokurcun Jeodezik Ağında yatay doğrultular karşılıklı olarak 12 dizi, düşey açılar karşılıklı 4 dizi, kenarlar karşılıklı olarak 12 kez ölçülmüş ve ağ dengelemesi sonucunda ortalama koordinat duyarlığı $m_x, m_y = \pm 2$ cm olarak elde edilmiştir. Ağda 1976- 1986

yılları arasında yapılan 6 periyot ölçülerinin değerlendirilmesi sonucunda noktalarda 1.6- 2 cm/yıl hızında anlamlı yatay konum değişiklikleri gözlenmiştir [3].

b) Büyük mühendislik yapısı grubuna giren barajlarda, ülkemizde günümüze kadar bir çok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan biri Alibey Barajındaki defomasyon araştırma çalışmalarıdır. Baraj, İstanbul'un su ihtiyacını karşılamak üzere 1983 yılında tesis edilmiştir. İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Uygulama Araştırma Merkezine 3 yıl süreyle sunulan, DSI 14. Bölge Müdürlüğü tarafından malzeme ve araç yönünden ve Araştırma Merkezince parasal olarak desteklenen projeye, 1987 yılında başlanmıştır. Bu proje çerçevesinde baraj alanında bir mikrojeodezik ağ kurularak 1987 yılı içinde farklı periyotlarda ölçüler yapılmıştır. Bu ölçüler değerlendirilerek yatay ve düşey yöndeki deformasyon analizi yapılmıştır [10]. Barajlarla ilgili yapılan bir diğer çalışma Oymapınar Barajında yapılan deformasyon analizi çalışmasıdır. Antalya'nın Manavgat ilçesine 18 km uzaklıkta kurulan Oymapınar Barajı, beton kemer baraj olması nedeniyle önemli bir mühendislik yapısıdır. Barajın yapı olarak güven içerisinde olup olmadığını belirlemek, baraj çevresindeki arazi davranışlarını kontrol altında tutmak için mikrojeodezik deformasyon ağı kurulmuştur. 08.08 1983 ve 07.03.1984 tarihleri arasında 17 dönem gözlem yapılmıştır. Gözlemlerin ilki baraj rezervuarının dolumu sırasında yapılmıştır. Bir Alman firması tarafından desteklenen proje daha sonra Y.T.Ü. Araştırma Grubu tarafından yürütülmüştür. Bir deformasyon ağının GPS ile ölçülmesi ilk olarak bu çalışma grubu tarafından yapılmıştır [6].

c) 1991-1992 yıllarında Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde tesis edilmiş olan Gerede ve Taşkesti Mikrojeodezik deformasyon ağlarındaki noktalar arasındaki düşey farkların belirlenmesi için düşey açılar da ölçülmüş ve düşey deformasyon analizi yapılmıştır. Bu çalışmaya konu olan Gerede Kontrol Ağı, çok disiplinli bir çalışma olarak 1981 de Deprem Araştırma Dairesi' nin desteği ile başlatılan Depremlerin Önceden Haber Alınması ve Hasarlarının Azaltılması Ulusal Projesi kapsamında 1982' de kurulmuş bir mikrojeodezik ağıdır. Bu ağda 1985 yılına kadar İTÜ Jeodezi Çalışma Grubu tarafından, yalnızca yatay konumdaki nokta hareketlerini belirlemek amacı ile jeodezik ölçmeler ve değerlendirmeler yapılmıştır ve bu çalışmalar 1988' den sonra Volkswagen Vakfı'nın da parasal desteği ile İTÜ ve Berlin Teknik Üniversitesi arasındaki işbirliği protokolü çerçevesinde BTÜ-Jeodezi Enstitüsü ile ortaklaşa sürdürülmüştür [8].

d) Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Jeodezi Anabilim Dalı 1990 ve 1994 yılları arasında Akyazı'da İznik'de ve Sapanca'da 3 mikrojeodezik ağ kurmuştur. Bu alanda yersel ve uzay teknikleri ile gözlemler yapıp sonuçları yorumlanmıştır [11].

e) Yeraltından cevher çıkarılması sonucunda ortaya çıkan yüzey hareketlerinin jeodezik yöntemlerle izlenmesi amacıyla, Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş. tarafından Çayeli Madenli Bölgesinde oluşturulan deformasyon ağında çalışmalar yapılmaktadır [12].

f) Boğaziçi Üniversitesi Araştırma Fonu desteği ile Kuzey Anadolu Fay Hattı Batı kesimi üzerine deformasyon belirleme amaçlı proje yürütülmektedir. Bu proje ile İznik, Sapanca, Akyazı Mikrojeodezik Ağlarının Marmara Sürekli GPS Ağına bağlanması, fay hattı üzerindeki noktaların sürekli gözlenmesi, mevcut nokta sayısının artırılarak, deformasyon analizi yapılacak alanın genişletilmesi amaçlanmıştır [13].

1.4. Jeodezik Ağ Yöntemi ile Deformasyonların Belirlenmesi

Baraj, köprü gibi mühendislik yapıları ve yerkabuğunda oluşan hareketlerinin jeodezik yöntemlerle belirlenmesinde yaygın olarak uygulanan yöntem, jeodezik ağ yöntemidir. Bu yöntemde, hareketi belirlenecek bina veya bölge ile çevrelerini kapsayacak şekilde bir jeodezik deformasyon ağı kurulur. Ağ noktaları, jeofizik, jeolojik ve jeodezik açıdan amaca uygun olarak seçilen yerlerde tesis edilir. Ağda belli aralıklarla yapılan ölçülerden, her periyot için nokta koordinatları hesaplanır. Ağ noktalarının değişik periyotlardan hesaplanan koordinatları karşılaştırılarak, matematik istatistik testlerle nokta hareketleri yönünden yorumlanır ve deformasyon anlamında değerlendirilir [8]. Jeodezik ağ yöntemi, jeodezik amaçlı denetlemeler için günümüze kadar uygulanmış diğer yöntemlere göre en güvenilir olanıdır [14].

Hareketlerin belirlenmesinde uygulanan jeodezik ağ yöntemi, deformasyon ağının tesisi, ağın periyodik olarak ölçmesi ve ölçülerin değerlendirilmesi ile deformasyon analizi aşamalarından oluşmaktadır [15].

1.4.1. Deformasyon Ağının Oluşturulması

Deformasyonun söz konusu olduğu bina veya bölge ile çevresini kapsayacak şekilde bir jeodezik ağ kurulur. Bu ağa jeodezik deformasyon ağı ya da kontrol ağı denilmektedir.

Jeodezik deformasyon ağını oluştururken, ağ noktalarının deformasyona konu olan bina veya bölgeyi en iyi şekilde temsil eden noktalar olmasına dikkat edilmelidir. Çünkü deformasyon analizi sonucunda bu noktalara ait konum bilgileri çeşitli şekillerde yorumlanıp o bölgede deformasyon vardır ya da yoktur kararı verilmektedir. Yapıyı veya araziyi iyi bir şekilde temsil etmeyen noktalara yapılan irdelemeyle belki de o bölge hakkında yanlış bir karara varılabilir. Bu nedendir ki deformasyon ağının oluşturulması bütün analiz işlemlerinin iskeletini oluşturan önemli bir adımdır.

Deformasyon bölgesinde ağ, en çok hareket beklenen ve hiç hareket beklenmeyen yerlerde seçilen noktalardan oluşacak şekilde tesis edilir. Noktalar, üzerinde presizyonlu ölçme olanakları sağlayan beton pilyelerden oluşur. Bu noktaların seçiminde arazinin jeolojik yapısı ve ön zemin etütleri önemli bir rol oynamaktadır. Hareket beklenmeyen yerlerde seçilen noktalar tercihen deformasyon bölgesi dışında sağlam zeminde seçilmeli ve sonuçta bu noktaların çoğunluğunun gerçekten hareket etmeyen noktalar olması sağlanmalıdır. Bu noktalar “sabit noktalar” olarak adlandırılır. Sabit noktaların bir kısmının inceleme süresince zemin hareketine maruz kalması araştırma yöntemi açısından bir sakınca oluşturmamasına rağmen, araştırmada dayanak noktası görevini üstlenecek sabit noktaların sayısı önemli olmaktadır. Bu noktalara referans noktaları da denilmektedir. Sabit noktaların, deformasyon bölgesi dışında bulunması da zorunlu değildir. Deformasyon bölgesi içinde hareketsiz kalacağı düşünülen, veya ön zemin etütlerinde az hareket edeceği varsayılan yerlerde de sabit nokta seçilebilir. Çünkü bu noktaların gerçekten sabit olup olmadıkları belirlenmesi analizin ilk adımını oluşturmaktadır. Hareket beklenen yerlerde seçilen noktaların da, deformasyon karakteristiklerini özetleyebilmesi ve jeolojik yapının hareket parametrelerini temsil etme özelliğine sahip olması gerekmektedir. Bu noktalarda “Deformasyon Noktası” veya “Objekt Noktası” olarak adlandırılırlar. Sonuçta bu noktalarda saptanacak hareket vektörleri ile arazideki zemin hareketlerinin genelleştirilerek yorumlanması mümkün olmalıdır. Bu noktalar da sabit noktalar gibi arazide pilyelerle donatılır [1], [16], [7].

Deformasyon, yatay ve düşey yöndeki konum ya da şekil değişimlerine hepsine verilen isimdir. Bu nedenle deformasyon analizi yapılırken yatay, düşey ya da her üç yönde inceleme yapılabilir. Yatay konumdaki hareketler, yersel olarak kurulan doğrultu-kenar ağları ya da uzay tekniğine dayalı kurulan uydu jeodezik ağları yardımıyla saptanmaktadır. Büyük kara parçalarını kapsayan hareketlerin belirlenmesi için, ülke nirengi ağları ya da bunların bir birim sistemde birleştirilmesi ile oluşturulacak dünya

ağlarından yararlanılması önerilmektedir [17]. Daha dar alanlardaki yatay hareketlerin belirlenmesi amacıyla yüksek duyarlıklı yerel ağlar kurulmaktadır. Yatay Kontrol Ağı ya da Mikro-Geodezik Ağ olarak adlandırılan bu ağlar, yüksek konum duyarlığına ulaşmak için Doğru-Kenar Ağı olarak kurulmaktadır. Düşey konumdaki değişimleri saptamak amacıyla kurulan Mikro-Gravite Ağları'nda özenle ölçülen farkların dikkatle indirgenmeleri durumunda 1 cm' den daha büyük düşey hareketler saptanabilmektedir. Duyarlıklı nivelman ağlarının yineleme ölçülerinin değerlendirilmesi sonucunda 0.5 mm/yıl hızındaki düşey hareketler ortaya çıkabilmektedir [1].

Yatay kontrol ağında, amaçlanan nokta konum presizyonunu verecek bir ölçme planı ve düşey kontrol ağında amaçlanan nokta yükseklik presizyonunu verecek halkalardan oluşan bir nivelman ağı seçilmelidir. Seçim aşamasında olası nokta yerleri yaklaşık belirlendikten sonra, mevcut ölçme donanımından elde edilebilecek ölçme doğruluğuna göre, bir yatay kontrol ağı ve düşey kontrol ağı optimizasyonu yapılmalıdır. Optimizasyon sonucu belirlenen en uygun ağ geometrisi gerçekleştirilmelidir.

1.4.2. Ölçülerin Yapılması

Deformasyon ağının kurulmasından sonra farklı periyotlarda ölçüler yapılır. Deformasyonlar belirli bir zaman aralığında gerçekleşir. Bu nedenle deformasyon belirleme amaçlı bir analiz için altlık oluşturacak bilgiler farklı periyotlarda yapılan ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilirler. Bunun için farklı zamanlarda yapılan ölçülere ait oldukları zamanı ifade eden isimler verilir. Ağın ilk konumunu belirlemek için yapılan ölçülere referans ölçüsü, sıfır ölçüsü veya t_0 zamanı ölçüsü denilmektedir. Değişik zaman aralıkları ile yapılan diğer ölçüler de t_1 , t_2 zamanı ölçüleri ya da ölçü yapılan zamanı belirten, 1998 bahar ölçüleri, 1998 Nisan ölçüleri gibi isimler alırlar. Periyotlar arasındaki zaman aralığı deformasyonun hızına bağlıdır. Deformasyon hızlı ise zaman aralığı kısa, deformasyon yavaş ise zaman aralığı uzun seçilir. Yineleme ölçüleri süresince deformasyon ağı aynı kalmışsa, yani

- a) ağdan bazı noktalar eksilmemiş,
- b) ağa bazı noktalar eklenmemiş,
- c) ölçü planı değişmemiş,
- d) presizyon aynı kalmışsa

deformasyon ağı Univaryat Dizayn' ıdır denir. Ölçü grupları arasında geçen zaman içinde ağın bazı noktaları kaybolmuş veya ağa yeni noktalar eklenmişse, I. Derece Multivaryat Dizayn; ağ noktalarının aynı kalmasına karşın ağın ölçü planı, iki nokta arasındaki gözleme olanağının ortadan kalkmasıyla değişmişse II. Derece Multivaryat Dizayn' dan söz edilir. Multivaryat dizaynli kontrol ağları ile deformasyon analizi için izlenen yol, univaryat dizaynli kontrol ağları ile deformasyon analizi için izlenen yoldan ayrıdır [16].

Yerkabuğu hareketleri, bilindiği gibi, yersel ve uzay teknikleri ya da bunların birlikte uygulanması ile belirlenebilmektedir. Yersel tekniklerde Doğrultu–Kenar nirengi ağlarındaki periyodik ölçü ve hesaplamalarla, öncelikle kabuk hareketlerinin yatay bileşeni; Nivelman-Gravimetri ağlarındaki periyodik gözlemlerle de düşey kabuk hareketleri saptanmaktadır. Bu yöntemlere eğim ve gerilim ölçüleri ile deniz yüksekliği değişimi belirlemeleri de katılabilir. Uzay tekniğinde ise Uydu–Lazer ölçüleri; çok uzun bazlı interferometri ve Global Konum Belirleme Sistemi (GPS) yöntemleri sayılabilir [18], [19]. Mühendislik yapılarının deformasyonlarının belirlenmesinde Fotogrametrik Teknikler kullanılır.

1.4.3. Ölçülerin Değerlendirilmesi

Deformasyon araştırmasının son bölümünü verilerin değerlendirilmesi (jeodezik verilerin analizi) ve bunların yorumunu oluşturmaktadır. Tüm ölçümlerde, herhangi bir kaba hatanın varlığı, öncelikle ölçme sırasında kontrol edilmelidir. Açık ölçülerinin kontrolü, istasyon dengelemelerinin ve üçgen kapanmalarının arazide hesaplanması ile yapılabilir. En az uyumsuz ölçü kümelerinin elde edilmesi, arazide yapılacak özenli ve dikkatli ölçmeye ve kontrollere bağlıdır. Ölçülerdeki kontrol edilemeyen kaba gözlem hataları, deformasyon ağının geometrik değişimine neden olur ve deformasyon olarak yorumlanabilir [18]. Bu nedenle kaba gözlem hatalarının belirlenmesi ve ayıklanması için yapılan uyumsuz ölçüler testi deformasyon analizinde önemli bir konudur.

Deformasyon analizinde, kaba hatalı ölçülerin ayıklanmasına ek olarak, dengelemenin fonksiyonel modelinin istatistiksel anlamda tam olması, ele alınan karşılaştırma periyotlarındaki deneysel varyansların istatistiksel anlamda uyumlu olması ve dengeleme hesapları sonucunda elde edilen karesel ortalama hataların, hareket bileşenlerinden küçük olması önemli bir konudur [20]. Deformasyon analizinde, varsayımlardan mümkün olduğu kadar sakınmak ilkesine uygun olarak, ağın

konumlandırılması, yöneltilmesi ve ölçeklendirilmesi yani ağın datumu üzerinde varsayımlara meydan vermeyen ve ağın iç presizyonunu gerçekçi biçimde yansıtan serbest ağ dengelemesi uygulanır [16]. Bu demek oluyor ki deformasyon ağının kurulması, ölçülerin yapılması ve ölçülerin değerlendirilmesi deformasyon araştırmasında çok önemli bir adımdır. İstenilen doğrulukta olmayan ölçülerle yapılan bir deformasyon analizi ile belki de çok sağlıklı sonuçların elde edilme şansı azaltılmış olur.

1.4.4. Deformasyon Analizi

1965 yılına kadar deformasyonlar, basit sayısal çözümler ya da grafik yöntemlerle belirlenmiştir. Değerlendirmedeki ölçüt, iki ölçü arasındaki fark, ortalama hatanın üç katından fazla ise o noktada deformasyon olduğu şeklindeydi. Univaryat ve multivaryat modellerin gündeme gelmesi ile istatistiksel analiz dönemine girilmiştir. Bilgisayarların yardımı ile daha hızlı ve doğru işlem yapma olanağı doğmuş ve deformasyonların belirlenmesinde daha gerçekçi yaklaşımlar kullanılmaya başlanmıştır [2]. Jeodezik deformasyon analizinin ana problemi, ölçülerdeki ayıklanamayan kaba hatalardan meydana gelen konum değişimleri ile ölçme noktalarının gerçek yer değiştirmelerini birbirinden ayırmaktır. Yani burada esas soru, gözlenen elemanların değişimlerinin (ağı oluşturan noktaların hesaplanmış koordinat farklarının) iki veya daha fazla ölçme dönemi arasında yapılan gözlemlerden saptanan verilerle belirlenip belirlenmediğidir. Günümüzde deformasyon analizi ile kaçınılmaz ölçü hatalarının ayırt edilebilmeleri, istatistik bilimi ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda önemli ölçüde kolaylaşmıştır.

Jeodezik deformasyon analizi çalışmalarının temeli, matematik istatistiğin bir parçası olan istatistik hipotez testi kuramına dayanır. İstatistik test işlemi, özellikle Baarda'nın başlattığı çalışmalarla jeodezik ağların analizine girmiştir. İstatistiksel yaklaşımların deformasyon ölçümlerinin analizinde kullanılması özellikle Pelzer ve Mierlo'nun çabalarıyla gerçekleşmektedir [20]. Tarihsel süreç içinde jeodezik deformasyon araştırmaları ilk olarak basit sayısal çözümlerle ya da yarı grafik yolla, doğrudan ölçülerin karşılaştırılmasına dayanan Lang-Lazzarini Ölçütü, Nabla Ölçütü ile yapılmakta idi. Sonraları ölçülerin tamamının değerlendirileceği istatistiksel testlere dayalı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, Pelzer tarafından geliştirilen θ^2 -Ölçütü ile Heck, Kuntz ve Niemeier tarafından geliştirilen ve noktaların analitik yoldan irdelenmesini sağlayan Analitik Yöntem uygulamada çokça kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden başka Mierlo

tarafından geliştirilen Mierlo Yöntemi, Caspary–Schwintzer tarafından geliştirilen Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi gibi yöntemler de vardır.

Deformasyon analizinde, karşılaştırılan periyotlarda hesaplanmış dengeli koordinatların aynı datumda olmaları gerekir. Burada irdelenecek olan, deformasyon ağındaki herhangi bir P noktasının t_1 zamanındaki konumu x_1 , t_2 zamanındaki konumu x_2 , olmak üzere

$$d = x_2 - x_1 \quad (1)$$

şeklinde oluşturulan fark vektörüdür. (d) fark vektörüne çeşitli yöntemlerle uygulanan anlamlılık testi ile d'nin deformasyon vektörü olarak ele alınıp alınamayacağı irdelenir. Fark yada deformasyon vektörü(d), genelde

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \quad (2)$$

şeklinde üç bileşenden oluşur. Bu eşitlikte; d_1 , noktadaki olası deformasyonu; d_2 , noktanın yerel kayıklığını; d_3 , rasgele ölçü hataları sonucunda oluşan farkı gösterir. d_2 içindeki yerel kayıklıklar ya da ölçü hataları, sonuçların yorumlanmasında etkili olmalarına rağmen gerçek deformasyonlar olarak alınmamalıdır. Örneğin, kurulan modelin uygun olmamasından kaynaklanabilirler ve bölgesel deformasyonlar olarak hesaplanan farklara doğrudan etki ederler. Yine pilyelere yapılan dış zorlamalar, merkezleştirme hataları vb. olaylar sonucunda oluşan değişimler d_2 vektörü içinde ele alınırlar. Jeodezik olarak deformasyon analizinde koordinat farklarından hesaplanan d fark vektörünün içinde d_1 değeri grafik ya da çeşitli matematik yöntemlerle belirlenir [21], [22].

Deformasyonlar, problemin şekline, kapsamına, uygulanan ölçme yöntemlerinin türüne, bir periyotluk ölçme süresince hareketin zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olup olmamasına ve etkiyen kuvvetlerin değişken kabul edilip edilmemesine göre değişik modeller içinde incelenir. Bu modeller dinamik, kinematik ve statik deformasyon modeli olarak isimlendirilir [19].

Deformasyon analizi çalışmalarında önemli olan problemin şekline göre en uygun ölçme, değerlendirme ve analiz yöntemini kullanmaktır. Bu nedenle bu konuda yapılan bilimsel amaçlı çalışmaların amacı en uygun yöntemin araştırılması olmalıdır. Bu yolla uygulamadaki çalışmalara bir ışık tutulmalıdır.

1.5. Jeodezik Ağlarda Datum Tanımları

Bir nirengi ağının Gauss-Markoff modelinde dengelenmesi için dengelemenin matematik modeli aşağıdaki gibi kurulur.

$$\text{Fonksiyonel Model} + \text{Stokastik Model} = \text{Matematik Model} \quad (3)$$

$$\underline{v} = \underline{A} \underline{x} - \underline{l} \quad \text{Fonksiyonel Model} \quad (4)$$

$\underline{P} = \underline{Q}_{ii}^{-1}$ olmak üzere

$$\underline{K}_{ii} = s_0^2 \underline{Q}_{ii} \quad \text{Stokastik Model} \quad (5)$$

Burada,

- \underline{A} : katsayılar matrisi,
- \underline{l} : ölçüler vektörü,
- \underline{x} : bilinmeyenler vektörü,
- \underline{Q}_{ii} : ölçülerin ters ağırlık matrisi ,
- \underline{K}_{ii} : ölçülerin varyans –kovaryans matrisi,
- s_0^2 : birim ölçünün öncül varyansı
- \underline{P} : ölçülerin ağırlık matrisidir.

Bu dengeleme probleminde, düzeltmelerin kareleri toplamının minimum olmasını öngören Genelleştirilmiş En Küçük Kareler Yöntemini (EKK)

$$\underline{v}^T \underline{P} \underline{v} = \min \quad (6)$$

esas alınır. Gauss'un en küçük kareler ilkesine göre, normal Denklemler

$$\underline{A}^T \underline{P} \underline{A} \underline{x} - \underline{A}^T \underline{P} \underline{l} = \underline{0} \quad (7)$$

biçiminde elde edilir. Normal denklemlerin çözümü sonucunda, dengeleme bilinmeyenleri

$$\underline{x} = (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^{-1} (\underline{A}^T \underline{P} \underline{l}) \quad (8)$$

bağıntısı ile elde edilir. Bu bağıntıya genel hata yayılma kuralı uygulanarak, bilinmeyenlerin ters ağırlıkları

$$\underline{Q}_{xx} = (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^{-1} \quad (9)$$

elde edilir. Bilinmeyenler, fonksiyonel modelde yerine konularak düzeltmeler,

$$\underline{v} = \underline{A} \underline{x} - \underline{l} \quad (10)$$

eşitliğinden elde edilir. Düzeltme denklemlerine hata yayılma kuralı uygulayarak, düzeltmelerin ters ağırlık matrisi,

$$\underline{Q}_w = \underline{P} - \underline{A} \underline{Q}_{xx} \underline{A}^T \quad (11)$$

elde edilir. Dengeleme sonucunda, birim ölçünün karesel ortalama hatası

$$m_0^2 = \frac{\underline{v}^T \underline{P} \underline{v}}{n - u} \quad (12)$$

olarak elde edilir. Burada, n, ölçü sayısı ve u, bilinmeyen sayısıdır.

Bir jeodezik ağda yapılan yatay doğrultu gözlemleri, düşey açı ölçümleri, eğik uzunluklar ve yükseklik farkları yardımıyla ağ noktalarının karşılıklı konumları belirlenebilir. Bu veriler, ağ noktalarının belirli bir koordinat sistemindeki yerleri ve ağın yönü konusunda bilgi taşımazlar. Hiçbir kenar ya da yükseklik farkının ölçülmediği durumlarda ağın ölçeği de belirsiz kalır. Jeodezik ağlarda ölçülerin dışındaki bir kaynaktan elde edilmeleri gereken bu bilgilere datum parametreleri denir. Datum parametrelerinin bir kısmı eksik olursa datum bozukluğu oluşur. Bu tür ağlarda, bir koordinat sistemiyle

bağlantı için gerekli bilgi noksan olduğundan, tüm ağ noktalarının koordinat bilinmeyenlerin sayısı u ile gösterilirse, A katsayılar matrisi ve $(u \times u)$ boyutlu normal denklem katsayılar matrisi (N) tekil olur. N normal denklem katsayılar matrisinin rangı (bağımsız satır veya sütunlarının sayısı) r ile gösterilirse,

$$d = u - r \quad (13)$$

farkına datum defekti denir [23].

Datum defektinin büyüklüğü, ağıın boyutuna ve ağda gözlenen elemanların türüne bağlıdır. 2 boyutlu bir konum ağıında yalnız doğrultular ölçülmüşse $d=4$ (x ve y eksenleri yönünde öteleme, bir dönüklük ve bir ölçek faktörü), yalnız kenarlar ya da doğrultu ve kenarlar ölçülmüşse ölçek faktörü ortadan kalkar. Buna göre, $d=3$ olur. d sayıda serbest datum parametreleriyle, iç ağ geometrisinin bir koordinat sisteminde hareket olanakları tanımlanır.

Bir jeodezik ağda koordinat bilinmeyenleri, duyarlık ve güvenilirlik ölçütleri dengeleme modeli yanında datum seçimine bağlı olarak değişen büyüklüklerdir. Bu nedenle ağların tasarımında ve niteliklerini ölçmede, deformasyon analizlerinde, ağ sıkılaştırmalarında, vb., ödevlerde uygun datum tanımları (serbest ağ dengelemesi türleri) kaçınılmaz olmaktadır. Serbest ağ dengelemesi türleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- a) Kısmi iz minimum
- b) Tüm iz minimum
- c) Klasik dengeleme

Kısmi iz minimum çözümünde, küçültülmüş koordinat bilinmeyenleri vektörünün (x) bir bölümünün normu ve ağırlık katsayıları matrisinin (Q_{xx}) bu noktalara (datum noktalarına) karşılık alt matrisinin izi minimum yapılıır. Tüm iz minimum çözümünde, tüm ağ noktaları datum tanımı için öngörülür. Buna göre, koordinat bilinmeyenleri vektörünün normu ve bunların kofaktör matrisinin izi minimum yapılıır. Normu minimum yapılan parametre sayısı, defekt sayısına eşit ise, kısmi iz minimum çözümünün özel hali olan, defekt sayısı kadar parametrenin sabit alındığı klasik dengeleme modeli elde edilir [24], [25].

1.5.1 Serbest Ağ Dengelemesi

Dolaylı ölçüler dengelemesine göre bilinmeyenleri bulabilmek için, uygulamada ağın dış parametre sayısına eşit büyüklük hatasız alınır. Bir başka çözüm yolu ise, tüm büyüklükleri hatalı kabul edip, $v^T v = \min.$ koşulunun yanında,

$$x^T x = \min. \quad (14)$$

bilinmeyenlerin kareleri toplamı minimumdur, koşulunu da işleme sokup, serbest ağ dengelemesi yapmaktır [26].

Dengelemede, datum parametrelerin önceden belirlendiği durumlarda dayalı dengeleme söz konusu olmaktadır. Bu parametrelerin önceden belirlenmesi için hatasız oldukları varsayılan koordinat ve ölçü değerleri, gerçekte bir takım hatalarla yüklü olduklarından, dengeleme sonuçlarının da bu hatalarla yüklü olacakları açıktır. Jeodezik ağın dayalı olarak dengelenmesi halinde ölçüler üzerinde zorlayıcı etkiler oluşur. Dengeleme sonrası hesaplanan ağırlık katsayıları matrisi, ağın iç duyarlılığı hakkında gerçek bilgileri içermez. Sabit noktalardan uzaklaştıkça nokta hataları ve hata elipsleri büyür. Bundan dolayı deformasyon araştırması amacıyla kurulan ağlarda, dış parametreleri bir takım varsayımlara dayanmayan ve ağın iç duyarlılığını gerçekçi biçimde yansıtan serbest ağ dengelemesi yapılır. İşte dayalı dengelemenin bu sakıncalı yönü ağın dış parametrelerinin de dengeleme hesabı içinde belirlendiği serbest ağ dengelemesi ile giderilmektedir. Serbest ağ dengelemesi sonucu bulunan düzeltmeler dayalı dengelemedekilerle aynıdır. Fakat hiçbir zorlama olmaksızın yalnızca ölçü değerlerinden elde edilen bilinmeyenler ve duyarlık değerleri dayalı dengeleme sonuçlarından farklı olup, gerçek değerler olarak hesaplanır.

Serbest ağ dengelemesinde tüm ölçme noktalarının koordinatları bilinmeyen olarak alındığından çözümde, konum belirsizliği, yöneltme ve ölçek sorunu oluşur. Bu durumda normal denklem katsayılar matrisi N tekil olur. Yani matrisin determinantı

$$\det N = 0 \quad (15)$$

sıfır olur. Tekil matrislerin tersleri, alışlagelen Cayley matris cebri ile hesaplanamaz. Tekil normal denklem katsayılar matrisinde d sayıda datum parametresinin belirsizliği nedeniyle

oluşan bu olumsuzluklar, ağ noktalarından birine ilişkin d sayıda koordinat sabit (değişmez) alınarak giderilebilir. Çözüm genelleştirilmiş inversin özel bir şekli olan Moore-Penrose invers alma yöntemi kullanılarak sağlanır. Jeodezik ağın yaklaşık koordinat değerleri ile kurulabilen G matrisi yardımıyla normal denklem katsayılar matrisinin Moore-Penrose tersi

$$N^+ = (N + G G^T)^{-1} - G G^T \quad (16)$$

bağıntısı ile bulunur. G matrisi, yaklaşık koordinatlardan elde edilen ortogonal özellikli matristir.

$$\underline{G}^T \underline{G} = \underline{E} \quad (17)$$

E ; birim matristir. G matrisinin kondüsyonunu sağlamak için koordinat sisteminin başlangıcı, sistemin ağırlık merkezine kaydırılır. x_i, y_i yaklaşık koordinatlar ve n nokta sayısı olmak üzere, ağırlık merkezinin koordinatları,

$$x_s = \frac{[x_i]}{n}, \quad y_s = \frac{[y_i]}{n} \quad (18)$$

sistemin ağırlık merkezine kaydırılmış koordinatları,

$$x'_i = x_i - x_s, \quad y'_i = y_i - y_s \quad (19)$$

normlandırma elemanı,

$$c = \frac{1}{\sqrt{[x^2 + y^2]}} \quad (20)$$

ve normlandırılmış koordinatlar,

$$\vec{x}_i = c \vec{x}_i, \quad \vec{y}_i = c \vec{y}_i \quad (21)$$

biçiminde elde edilen koordinatlardan yararlanarak, G matrisi, defekt sayısı $d=4$ olan doğrultu ağları için

$$\underline{G}^T = \begin{vmatrix} 1/\sqrt{n} & 0 & 1/\sqrt{n} & 0 & \dots & 1/\sqrt{n} & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{n} & 0 & 1/\sqrt{n} & \dots & 0 & 1/\sqrt{n} \\ -\vec{y}_1 & \vec{x}_1 & -\vec{y}_2 & \vec{x}_2 & \dots & -\vec{y}_n & \vec{x}_n \\ \vec{x}_1 & \vec{y}_1 & \vec{x}_2 & \vec{y}_2 & \dots & \vec{x}_n & \vec{y}_n \end{vmatrix} \quad (22)$$

defekt sayısı $d=3$ olan doğrultu-kenar ağları için

$$\underline{G} = \begin{vmatrix} 1/\sqrt{n} & 0 & -\vec{y}_1 \\ 0 & 1/\sqrt{n} & \vec{x}_1 \\ 1/\sqrt{n} & 0 & -\vec{y}_2 \\ 0 & 1/\sqrt{n} & \vec{x}_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ 1/\sqrt{n} & 0 & -\vec{y}_n \\ 0 & 1/\sqrt{n} & \vec{x}_n \end{vmatrix} \quad (23)$$

biçiminde oluşturulur [25]. G matrisi,

$$\underline{G}^T \underline{x} = \underline{0} \quad (24)$$

$$\underline{A} \underline{G} = \underline{0} \quad (25)$$

$$\underline{G}^T \underline{n} = \underline{0} \quad (26)$$

$$\underline{Q}_{xx} \underline{G} = \underline{0} \quad (27)$$

koşullarını sağlar. Pseudo (Moore-Penrose) inversi de

$$N^+ N N^+ = N^+ \quad (28)$$

$$N N^+ N = N \quad (29)$$

$$(N N^+)^T = N N^+ \quad (30)$$

$$(N^+ N)^T = N^+ N \quad (31)$$

koşullarını sağlamaktadır. Aynı zamanda pseudo inversi ile hesaplanan N^+ matrisinin izi her zaman minimumdur [23].

Deformasyon analizi işlemlerinde varsayımlardan mümkün olduğu kadar sakınmak gerekir. Bu ilkeye uygun olarak, ağın konumlandırılması, yöneltilmesi ve ölçeklendirilmesi üzerindeki varsayımları ortadan kaldıran, gözlemlerin kendi aralarındaki tutarlıkları ve noktaların konum duyarlıklarını gerçekçi biçimde yansıtan serbest ağ dengelemesi yöntemi kullanılır [26].

1.5.1.1. Kısmi İz Minimum

Kısmi iz minimum çözümü, bilinmeyenlerin bir kısmının kareleri toplamının minimum olması istendiği durumlarda yapılır. Bu durumlarda, (4) fonksiyonel modeli defekt sayısı kadar

$$\underline{B}^T \underline{x} = \underline{0} \quad (32)$$

koşul denklemiyle genişletilerek, bilinmeyenleri arasında koşul denklemleri bulunan dolaylı ölçüler dengelemesine dönüşen

$$\left| \begin{array}{c|c} \underline{N} & \underline{B} \\ \hline \underline{B}^T & \underline{0} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \underline{x}_b \\ \underline{k} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c} \underline{n} \\ \underline{0} \end{array} \right| \quad (33)$$

regüler normal denklem sistemi elde edilir. Burada \underline{x}_b , \underline{x} , bilinmeyenler vektörünün B matrisine bağlı kestirim değeri ve k, korelat bilinmeyenleri anlamındadır.

E matrisi, köşegeni üzerinde datumu belirleyen nokta koordinatlarına karşılık 1, ötekiler için 0 değerini içeren bir köşegen matris olmak üzere B matrisi,

$$\underline{B} = \underline{E} \underline{G} \quad (34)$$

eşitliği ile tanımlanır. (33) normal denklemlerden

$$\begin{vmatrix} \underline{N} & \underline{B} \\ \underline{B}^T & \underline{0} \end{vmatrix}^{-1} = \begin{vmatrix} \underline{Q}_b & \underline{G} (\underline{B}^T \underline{G})^{-1} \\ (\underline{G}^T \underline{B})^{-1} \underline{G}^T & \underline{0} \end{vmatrix} \quad (35)$$

$$\underline{N} \underline{Q}_b = \underline{I} - \underline{B} (\underline{G}^T \underline{B})^{-1} \underline{G}^T \quad (36)$$

$$\underline{Q}_b = (\underline{N} + \underline{B} \underline{B}^T)^{-1} - \underline{G} (\underline{G}^T \underline{B} \underline{B}^T \underline{G})^{-1} \underline{G}^T \quad (37)$$

(I= birim matris) olması nedeniyle (24), (25), (26), (27) özellikleri de göz önünde tutularak

$$\begin{aligned} \underline{x}_b &= \underline{Q}_b \underline{n} = (\underline{N} + \underline{B} \underline{B}^T)^{-1} \underline{n} \\ \underline{k} &= 0 \end{aligned} \quad (38)$$

bulunur. (37) eşitliği sağdan B ile çarpılırsa ,

$$\underline{Q}_b \underline{B} = \underline{0} \quad (39)$$

olduğu görülür. Korelat bilinmeyenleri sıfır çıktığından (33) normal denklem sistemi korelatlardan bağımsız

$$\underline{N} \underline{x}_b = \underline{n} \quad (40)$$

sistemine dönuşür. B matrisinin seçimine bağlı olarak (37) ile (38) `dan farklı çözümler elde edilir. Bunlardan her biri (40) denklem sistemini sağladığından çözüm açık değildir. (34)`e göre B matrisi, G matrisinde datum tanımına girmeyen noktalara ilişkin satır elemanları sıfır yapılarak elde edilmektedir. x bilinmeyenler vektörünün datumu belirleyen bölümü x_1 , ötekiler x_2 ile gösterilirse

$$\underline{x}_1^T \underline{x}_1 = \min \quad (41)$$

özelliği geçerli olur.

$$\underline{Q}_b = \underline{N}^{-1} \quad (42)$$

biçiminde gösterilir. Bu matrisin yalnızca datum noktalarına (x_1 koordinat bilinmeyenlerine) karşılık alt matrisinin izi minimumdur.

1.5.1.2. Tüm İz Minimum

Tüm iz minimum çözümünde, datum ağın tüm noktalarından belirlenir. Yani $\underline{B}=\underline{G}$ alınır. Buna göre (34), (35), (36), (37), (38), (39), (40) B matrisi yerine G matrisi koyularak işlem yapılır. Sonuçta \underline{x}_g ve \underline{Q}_g çözümleri elde edilir. Koordinat bilinmeyenlerinin \underline{Q}_g ağrlık katsayıları matrisi, \underline{N} matrisinin Moore-Penrose tersi,

$$\underline{Q}_g = \underline{N}^+ = (\underline{N} + \underline{G} \underline{G}^T)^{-1} - \underline{G} (\underline{G}^T \underline{G} \underline{G}^T \underline{G})^{-1} \underline{G}^T \quad (43)$$

biçiminde hesaplanır. bu matrisin izi ve koordinat bilinmeyenlerinin normu için

$$\text{iz } \underline{Q}_g = \min \quad (44)$$

$$\underline{x}_g^T \underline{x}_g = \min \quad (45)$$

özellikleri geçerlidir. Kısmi iz minimum çözümünde bilinmeyenler vektörünün yalnızca datum noktalarına karşılık bir bölümünün normu ve ağırlık katsayılar matrisinin bu noktalara karşılık alt matrisinin izi minimum olduğundan

$$\text{iz} \underline{Q}_g < \text{iz} \underline{Q}_b \quad (46)$$

$$\underline{X}_g^T \underline{X}_g < \underline{X}_b^T \underline{X}_b \quad (47)$$

eşitsizlikleri yazılabilir [24].

1.6. Model Hipotezinin Testi

Deformasyonların analizine geçilmeden önce model hipotezinin testi yapılmalıdır. Bu bölümde bir yandan ölçülerdeki kaba hataların ayıklanması sağlanmakta diğer yandan da dengelemenin dayandığı matematiksel ve stokastik modelin geçerli olup olmadıkları kontrol edilmektedir. Ayrıca bu modellerin geçerli olmaması durumunda geçerli modellerin nasıl elde edileceği de gösterilmektedir.

Dengelemenin birinci ilkesi varsayımlardan mümkün olduğu kadar sakınmak ise, ikinci ilkesi de kaçınılmaz varsayımların test edilmesidir. Bu nedenle dengelemenin içindeki varsayımlar da test edilmelidir [16], [27].

Dengeleme hesabının matematik modelinin ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkilere uygun olup olmadığı, ölçülerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıtmayı yansıtmadığı Model Hipotezinin Testi yoluyla denetlenir. Model testi için hipotez olarak, matematik modelin, ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkiler ile ölçülerin stokastik özelliklerini doğru ve noksansız olarak tanımladığı ileri sürülür. Bu hipotezin geçerliliğini test etmek için dengeleme öncesi (a priori) varyans ile dengeleme sonrası varyans karşılaştırılır.

Aynı koşullarda yapılan benzer türden ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda, dengelemeden önce elde edilen ve gözlemlerin ağırlıklarının belirlenmesinde yararlanılan birim ölçünün ortalama hatasının öncül değeri (a priori) s_0 ile gösterilirse, dengeleme hesabı sonucunda bulunan m_0 büyüklüğü birim ölçünün ortalama hatasının soncul (a posteriori) değeri olur. Model hipotezinin testi için sıfır hipotezi,

$$H_0 : E \{ m_0^2 \} = E \{ s_0^2 \} \quad (48)$$

biçiminde kurulur. Seçenek hipotezleri tek yönlü testlerde,

$$H_{s1} : E \{ m_0^2 \} < E \{ s_0^2 \} \quad (49)$$

veya

$$H_{s1} : E \{ m_0^2 \} > E \{ s_0^2 \} \quad (50)$$

biçiminde kurulur. Çift yönlü testlerde,

$$H_{s2} = E \{ m_0^2 \} \neq E \{ s_0^2 \} \quad (51)$$

biçiminde oluşturulur. Dengeleme hesabının serbestlik derecesi,

$$f = n - u \quad (52)$$

şeklinde hesaplanır. Bu hipotezin testi için test büyüklüğü,

$$T = \frac{m_0^2}{s_0^2} \quad (53)$$

olarak hesaplanır. İstatistik bir büyüklük olan bu değer Fisher-Dağılımına uyar. Test büyüklüğünün, F-Dağılım tablolarından

$$\alpha = 1 - s \quad (54)$$

yanılma olasılığı ve payın serbestlik derecesi f ve paydanın serbestlik derecesi f_f ye göre alınan

$$q_1 = F_{f, f_f, 1-\alpha} \text{ ya da } q_2 = F_{f, f_f, 1-\frac{\alpha}{2}} \quad (55)$$

değerlerinin hangisi ile karşılaştırılacağı H_s seçenek hipotezinin kurulmasına göre tayin edilir. Seçenek hipotezi H_{s1} ise tek yönlü test söz konusudur. Karşılaştırma değeri q_1 olarak alınır. Seçenek hipotezi H_{s2} ise çift yönlü test söz konusu olur. Karşılaştırma değeri q_2 olarak alınır. Test büyüklüğü tablo değerinden küçük ise,

$$T < q \quad (56)$$

Sonuç: Dengeleme modeli geçerlidir.

Yorum: Kurulan fonksiyonel model, gözlemler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkilere uygundur. Stokastik model, gözlemlerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıtmaktadır.

$$T > q \quad (57)$$

Sonuç: Dengeleme modeli geçersizdir.

Yorum: Ölçülerin birinde ya da birkaçında kaba hatalar vardır, ölçüler yanlış indirgenmiştir, aletlerde ayar hataları vardır [28].

Deformasyon analizinde diğer bir önemli konu da karşılaştırılan periyotlardaki deneysel varyansların birbirleriyle uyumlu olmasıdır. Bunun için varyansların uyum testinin yapılması deformasyon analizinin önemli bir bölümünü oluşturur. m_{0i} , karşılaştırma periyotlarına ait deneysel varyans; f_i , karşılaştırma periyotlarına ait serbestlik derecesi ve $i=1, 2, \dots, n$ (periyot numarası) olmak üzere, karşılaştırılan iki periyotun deneysel varyansların birbirine eşit olup olmadığını irdelemek için sıfır hipotezi,

$$H_{0U} : E \{ m_{01}^2 \} = E \{ m_{02}^2 \} \quad (58)$$

ve seçenek hipotezi

$$H_{SU} : E \{ m_{01}^2 \} \neq E \{ m_{02}^2 \} \quad (59)$$

biçiminde kurulur. Hipotezleri test etmek için test büyüklüğü

$$T_U = \frac{m_{01}^2}{m_{02}^2} \quad (60)$$

şeklinde hesaplanır.

$T_U < F_{f_1, f_2, 1-\alpha}$ ise sıfır hipotezi geçersiz sayılamaz. Karşılaştırılan periyotlara ait deneysel standart sapmalar birbirine eşdeğerdir.

1.7. Model Hataları ve Uyuşumsuz Ölçüler Testi

Mühendislik yapılarında ve yeryüzünün belirli bölgelerinde ortaya çıkması beklenen geometrik değişimlerin saptanması için tesis edilen jeodezik deformasyon ağlarında ölçüler, son derece özenli yapılmasına rağmen yine de bazı hataların sonuçları olumsuz yönde etkilemeleri önlenemez ve hatalı gözlemler oluşur. Hatalı gözlemler ayıklanmalı ya da yeniden ölçülmelidir. Hatalı ölçüler, düzeltilemez ya da dengeleme işlemi sırasında ortaya çıkarılamaz ise bu hatalar deformasyonlar olarak görüleceklerinden yanlış yorumlamalara neden olurlar [25], [16]. Bilindiği gibi jeodezik bir ağın ölçülmesi ve hesaplanması işlemlerinde herhangi bir ölçüde oluşabilecek hatalar; düzensiz (rasgele), düzenli (sistematik) ve kaba hatalar olarak ifade edilir.

Rasgele hatalar, kaçınılmaz özelliktedir. Jeodezik ağların bütün ölçülerinde farklı büyüklükte dağılmış olan bu hatalar ağların presizyonunu belirler.

Sistematik hataların oluşma nedenleri bilinebildiğinden, hata etkilerini giderici ölçme yöntemleri kullanılarak ya da ölçüler indirgenerek düzeltilirler.

Kaba hatalar, ölçülerdeki yanlışlıkları gösterirler. Okuma yazma hataları, aletlerin hatalı merkezlendirilmesi ya da yanlış hedefe gözlem yapma gibi nedenlerle ortaya çıkan kaba hataların büyük bir bölümü, düzeltme denklemlerinin kurulması sırasında sabit terimlerde kendini gösterirler. Jeodezik ağlarda bu tür hatalardan kurtulmak için hataya neden olan kaba hatalı ölçülerin tespit edilip işlemlerden çıkartılması veya yinelenmeleri gerekir. Kaba hatalı ölçülerin tespit edilip ölçülerden çıkarılmasında bir yöntem, ölçü anında kaba hatalı ölçüleri belirleyebilecek ölçü tekniğinin kullanılması ya da ölçüleri yaparken kaba hatalı ölçüleri süzecek hata sınırlarının kullanılmasıdır. Ancak bu şekilde yapılan işlemlerde kaba hatalı ölçülerin tam ayıklandığı söylenemez. Hala rasgele hatalara yakın, miktarca kaba hata sayılabilen bazı kaba hatalı (uyuşumsuz) ölçüler bulunabilir. Böyle ölçüler, dengeleme sonuçlarını ters yönde etkileyeceklerinden, bunlara kaba hatalı

ölçüler, kısaca uyuşumsuz ölçüler denir. Bunlar jeodezik ağlarda ancak, ağın geometrisine uygun ölçü planının ve hesaplama yöntemlerinin kullanılması ile denetlenip ayıklanabilir. Uyuşumsuz ölçüler, dengeleme hesabı tamamlandıktan sonra uygulanan uyuşumsuz ölçüler testi yardımı ile belirlenebilirler [29].

Uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesinde, geleneksel uyuşumsuz ölçü test yöntemleri ve Robust Kestirim yöntemleri olmak üzere iki yaklaşım bulunmaktadır. Bu uygulamada geleneksel uyuşumsuz ölçü test yöntemleri açıklanmıştır. Geleneksel uyuşumsuz ölçü testleri jeodezi ve fotogrametride uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Uyuşumsuz ölçü testleri bir anda tek uyuşumsuz (düzeltmesi en büyük) ölçüyü belirlemeye yatkındır. Bir uyuşumsuz ölçü belirlenir ve atılır. Daha sonra EKK yöntemi geri kalan ölçülere yeniden uygulanır. Uyuşumsuz ölçü kalmayınca kadar bu işlemlere devam edilir [28].

Uygulamada en çok kullanılan klasik uyuşumsuz ölçü testleri Data-Snooping Testi, Tau-Testi ve t- Testi 'dir.

Bir l_i ölçüsünde Δ_i kadar, rasgele ölçü hataları sınırından büyük bir hata varsa bu ölçü kümesi normal dağılıma uymaz ve Δ_i hatası düzeltmeler vektörü v 'yi etkiler. Bir ölçüdeki Δ_i hata varsayımı ile ölçüler vektörü

$$l' = l + e_i \cdot \Delta_i \quad (61)$$

l' : hatalı ölçü, l : hatasız ölçü ve e_i : i inci terimi 1 diğer terimleri 0 olan vektördür.

$$e_i^T = [0 \ 0 \ \dots \ 1 \ \dots \ 0 \ 0] \quad (62)$$

Bir ölçüdeki hatayı belirlemek için onun tüm dengeleme sonuçlarına, özellikle düzeltmelerin kareleri toplamı $v^T P v$ 'ye olan etkisini araştırmak gerekir. Söz konusu kaba hata Δ_i 'nin dengeleme sonuçlarına etkisi, aşağıdaki yolla denetlenir. Dengeleme modelinden l_i ölçüsüne ait düzeltme denklemi çıkarılarak kalan düzeltmeler vektörü v_1 , l_i dışında kalan ölçülere ilişkin ağırlık katsayıları matrisi P_{11} ile gösterilerek ölçülerin korelasyonsuz olduğu varsayımı ile

$$\Omega_1 = v_1^T P_{11} v_1 \quad (63)$$

yazılabilir. Buradan l_i ölçüsünün düzeltmeler toplamına etkisi

$$\Omega = v^T P v = l^T P Q_w P l \quad (64)$$

$$\Omega - \Omega_1 = \frac{v_i^2}{q_{v_i v_i}} \quad (65)$$

bağıntısıyla bulunabilir. Buradan Ω_1 yeni bir dengeleme yapılmadan

$$\Omega_1 = \Omega - \frac{v_i^2}{q_{v_i v_i}} \quad (66)$$

şeklinde elde edilir. $q_{v_i v_i}$, düzeltmelerin ters ağırlık matrisi Q_w 'nin i . köşegen elemanıdır.

Hatalı kabul edilen l_i ölçüsünün bulunmadığı modelden dengeleme sonrası varyans

$$s_0^2 = \frac{\Omega_1}{f_1} \quad (67)$$

hesaplanabilir [27].

1.7.1.1. Data-Snooping Yöntemi

Gözlemlerdeki bir çok hata, Baarda'nın B-Metodu testini uygulayarak keşfedilir. Bu yöntem için gözlemlerin kovaryans matrisi genellikle uygulamadan elde edilir. Hatalı ölçünün ortaya çıkarılması için n sayıda ölçünün her biri sıfır hipotezi

$$H_0 : E \{ \Delta_i \} = 0 \quad (68)$$

ve seçenek hipotezi

$$H_s : E \{ \Delta_i \} \neq 0 \quad (69)$$

ile test edilir. n sayıda hipotezin her biri için ölçülerin korelasyonsuz olduğu varsayımı ile

$$W_i = \frac{|v_i|}{\sigma_{v_i}} = \frac{|v_i|}{\sigma_0 \sqrt{q_{v_i v_i}}} \approx N_{1-\frac{\alpha_0}{2}} \quad (70)$$

test büyüklüğü kullanılır. Bu test büyüklüğü Baarda tarafından Data-Snooping değeri olarak adlandırılmıştır. σ , teorik ortalama hatayı göstermektedir. W_{\max} , W_i değerlerinden en büyüğü olmak üzere,

$$W_i = W_{\max} > \sqrt{F_{(1, \infty, 1-\alpha_0)}} = N_{1-\frac{\alpha_0}{2}} \quad (71)$$

i. ölçü uyuşumsuzdur. Uyuşumsuz olan ölçü atılır veya yeniden ölçülür. Bu işleme uyuşumsuz ölçü kalmayncaya kadar devam edilir. $\alpha_0=0.001$ için $\sqrt{F_{(1, \infty, 1-\alpha_0)}} = 3.29$ ve $|v_i| > 3.29 \sigma_{v_i}$ olan ölçü, (düzeltmesi, standart sapmasının üç katı olan ölçü) uyuşumsuz ölçü olarak kabul edilir [30].

1.7.1.2. Tau-Testi

Dengeleme öncesi teorik standart sapma σ_0 , yeterli yaklaşıkla bilinmiyorsa, test için uyuşumsuz ölçülerin de fonksiyonu olan dengeleme sonrası birim ölçünün ortalama hatası m_0 kullanılabilir. (68) ve (69) eşitliklerine göre sıfır ve seçenek hipotezi kurularak, tau testi için test büyüklüğü

$$T_i = \frac{|v_i|}{m_{v_i}} = \frac{|v_i|}{m_0 \sqrt{q_{v_i v_i}}} \quad (72)$$

biçiminde oluşturulur. Tau test büyüklüğü f serbestlik dereceli Tau- dağılımındadır. Tau- dağılımının sınır değeri C_s ise, T_i 'nin C_s dağılımından büyük olma olasılığı aşağıdaki biçimde hesaplanır. Yanılma olasılığı $\alpha = 0.05$ olarak alınır, toplam olasılık,

$$\alpha = 1 - (1 - \alpha_0)^n \quad (73)$$

olur. α_0 bir tek ölçünün testi için yanılma olasılığıdır. Toplam olasılık α verilirse

$$\alpha_0 = 1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{n}} \approx \frac{\alpha}{n} \quad (74)$$

elde edilir. Ölçü sayısı arttığında öngörülen α değerine göre hesaplanan α_0 çok küçük çıkabilir ve test duyarlı olmaz. Bu durumda α_0 sabit alınarak ($\alpha_0 = 0.001$) gerekirse toplam olasılık α 'yı buna göre hesaplamak uygun olur.

Tau- Dağılımının sınır değeri,

$$C_s = \tau_{f,1-\alpha_0} \quad (75)$$

olmak üzere test büyüklüğünün en büyüğü $T_{\max} > C_s$ ise ilgili ölçü uyuşumsuzdur. Bu ölçü atılır ya da yenilenir. Bu işleme, Data-Snooping yöntemindeki gibi ardışık dengelemelerle uyuşumsuz ölçü kalmayıncaya kadar devam edilir [27], [30], [31].

1.7.1.3. t- Testi

Eğer l_i ölçüsünde Δ_i kadar bir kaba hata varsa, geçerli olmayan dengeleme modelinden hesaplanan m_0 değerinin test işlerinde kullanılması doğru değildir. Tam doğrusu yapılmak istenirse m_0 değeri model hatalarından arındırılmış düzeltmelerden hesaplanmalıdır. Dengelemeyi yenilemeden model hatalarından arındırılmış birim ölçünün varyansı

$$s_0^2 = \frac{1}{f-1} \left(f m_0^2 - \frac{v_i^2}{q_{v,v_i}} \right) \quad (76)$$

hesaplanabilir [30]. Test büyüklüğü

$$t_i = \frac{|v_i|}{s_0 \sqrt{q_{v_i, v_i}}} \approx t_{f-1} \quad (77)$$

$$t_{\max} > t_{f-1, 1 - \frac{\alpha_0}{2}} \quad (78)$$

ise ilgili ölçü uyumsuzdur. Bu ölçü atılır ya da yenilenir. Dengeleme işlemine diğer testlerde olduğu gibi uyumsuz ölçü kalmayınca kadar devam edilir.

τ ve t testlerindeki, m_0^2 ve s_0^2 varyansları kaba hataların varolmasından dolayı etkilenir. Bu yüzden datalardaki uyumsuz hataların miktarı büyüdükçe, varyans da büyür; buna karşılık test büyüklüğü küçülür. Böyle durumlarda τ ve t -testlerinin hassaslığının azalması bu testlerin sakıncalarıdır

Yukarıdaki ölçütlerden herhangi biri kullanılarak her bir adımda belirlenen maksimum test büyüklüğüne karşılık gelen i ölçüsünün uyumsuz olduğuna karar verilir. Serbestlik ölçüsü (redundanz payı) yeterli ise i . ölçü gözlem planından çıkarılır. Aksi durumda ise hatalı gözlemlerin yinelenmesi gerekir. Belirlenen uyumsuz ölçülerden gerekli olanları yinelenerek dengeleme işlemine katılması ağın duyarlık yönünden iyileştirilmesi yönünden zorunludur [32]. Uyumsuz ölçü gözlem planından çıkarılmadan önce bu ölçünün çıkarılmasının ağın şeklini bozup bozmadığına dikkat edilmelidir.

Serbestlik dereceleri uygun büyüklükte olan ağlar için yukarıda sözü edilen ölçütlerden herhangi birinin kullanılmasında hiçbir sakınca yoktur [33].

Çok büyük serbestlik derecelerinde testler duyarsızlaşmaktadır. Bu durumlarda dengeleme problemi parçalara ayrılarak uyumsuz ölçülerin ayıklanması yoluna gidilir [30]. Ölçü sayısı büyük olduğu zaman, serbestlik derecelerinde τ ve t -dağılımları normal dağılıma dönüşecektir. s_0^2, m_0^2, σ_0^2 yaklaşık olarak birbirine eşit olurlarsa, aynı α olasılığı için her üç test benzer sonuçlar verir. Buna karşın küçük serbestlik derecelerinde de, $(f(10))$ τ ve t -testleri etkisiz kalmaktadır [31].

1.8. Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Ölçütleri

Yeryüzünün bütününün veya bir bölümünün ölçülmesinde, bazı sanat yapılarının sürekli denetlenmesinde ya da bir çok jeodezik araştırma ve inceleme faaliyetlerinin

sürdürülmesinde temel iskelet görevini üstlenen jeodezik ağlardan faydalanılmaktadır. Böyle çalışmaların doğruluğu için, her şeyden önce bu ağların, teorik yönden eksiksiz, doğru, geometrik ve fiziksel gerçekleri yansıtacak şekilde kurulmuş olmaları gerekir. Örneğin kentsel teknik hizmetler ve kadastral amaçlara yönelik temel haritaların üretilmesi amacıyla kurulan jeodezik ağların, kendilerinden beklenen işlevleri yerine getirmeleri için duyarlık yönünden homojen olmaları istenir. Buna karşın büyük mühendislik yapılarında (barajlar, asma yol ve köprüler, tüneller vb.) ve bunların çevrelerinde oluşan deformasyonları belirlenmek ya da yerkabuğu hareketlerini izlemek amacıyla kurulan ağlarda konuma ya da doğrultuya bağlı duyarlık istekleri söz konusudur [29], [34].

Bir ağın dengelenmesi için kurulan fonksiyonel ve stokastik modeller, fiziksel ve geometrik ilişkilerin tümünü kapsamalı ve ölçülerin stokastik özelliklerini de tam olarak yansıtılabilmelidir. Çünkü dengeleme işlemi sonucunda hesaplanan büyüklüklerin duyarlılıkları, kurulan model geçerli ise gerçeğe uygundur. Bu nedenle kurulan stokastik ve fonksiyonel modeller denetlenir ve varsa model hataları giderilir. Jeodezik ağlarda duyarlık ve güven ölçütleri, gerçekleştirilen dengeleme modelinin, gerçeğe uygun olup olmadığı ve dengeleme sonuçlarının istenilen duyarlılıkta elde edilip edilmediğini denetleyen bir kontrol mekanizmasıdır. Şöyle ki yapılan dengelemenin fonksiyonel modelinin, ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkileri doğru ve tam kapsayıp kapsamadığı ve stokastik modelin de ölçülerin duyarlılıklarının ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıtıp yansıtmadığı Güven Ölçütleri ile denetlenir. Duyarlık Ölçütleri ise geçerli bir dengeleme modeli ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilirse gerçekçi olurlar. Nirengi ağlarının kalitesi duyarlık ölçütleri ile, bu ağlarda ulaşılabilecek model hataları da güven ölçütleri ile denetlenmektedir. Duyarlık ve güven ölçütleri ile ilgili hesaplamalar bir dengeleme işlemi sonucunda hesaplanan koordinat bilinmeyenleri, koordinatların ortalama hatası, birim ölçünün ortalama hatası, ölçülere ait düzeltme ve ters ağırlık matrisinden yararlanarak yapılır.

1.8.1. Duyarlık Ölçütleri

Nirengi ağlarının kullanma amaçları için yeterli olup olmadıkları, duyarlık ölçütleri ile denetlenir. Duyarlık kavramını simgeleyen ortalama hata (deneysel standart sapma) kaba ve sistematik hatalardan arındırılmış ölçülerle yapılan bir dengeleme sonucunda, rasgele ölçü hataları ve ağın geometrik şeklinin etkisiyle oluşan istatistiksel bir

büyüküktür. Jeodezik ağlar için tanımlanan duyarlık ölçütlerinin büyük bir çoğunluğu, ağın dış parametrelerinin (konum, ölçek, yöneltme) seçimine bağlıdır [25].

Duyarlık ölçütleri, ancak geçerli bir dengeleme modeli ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilirse gerçekçi olurlar. Buna karşın ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkileri doğru ve tam olarak kapsamayan bir fonksiyonel model ya da gözlemlerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıtmayan bir stokastik model ile yapılan hesaplamalar, model hatalarına neden olurlar.

Deformasyon ağlarında elde edilen sonuçların gözlem zamanına bağımlı olması, kontrol ya da deformasyon noktalarının ayırımının önemliliği nedeniyle üzerinde durulması gereken ölçütler, ağ noktalarına göre değil de bunların fonksiyonlarının duyarlıklarına ilişkin olmalıdır.

Her ölçmeci, ölçüm yapılan bölgenin topoğrafik yapısına ve meteorolojik koşullarına göre eldeki aletlerle hangi duyarlıkta ölçü yapılabileceğini önceden tahmin edebilir. Ağın geometrik şekli ve ölçülerin kuramsal varyanslarından yararlanarak hesaplanan

$$\underline{\Sigma}_{xx} = s_0^2 \underline{Q}_{xx} \quad (79)$$

kuramsal varyans-kovaryans matrisi, duyarlık ölçütlerinin ulaşılabilecek değerlerini hesaplamaya yarar. Burada, \underline{Q}_{xx} matrisi, bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi ve s_0^2 öncül varyanstır. Dengeleme sonunda bulunan birim ölçünün soncul varyansı m_0^2 le hesaplanan

$$\underline{K}_{xx} = m_0^2 \underline{Q}_{xx} \quad (80)$$

deneysel varyans-kovaryans matrisi, duyarlık ölçütlerinin gerçekleştirilen değerini bulmaya yarar. Kuramsal varyans-kovaryans matrisi $\underline{\Sigma}_{xx}$ den yararlanarak hesaplanan büyüklüklerin güven aralıkları, f serbestlik derecesi olmak üzere χ_f^2 , (Chi-kare) dağılımından yararlanarak bulunur. Buna karşın deneysel varyans-kovaryans matrisi \underline{K}_{xx} in kullanıldığı ölçütler için F-Dağılımı (Fisher Dağılımı) geçerlidir [34],[35]. Bu şekilde elde edilmiş varyans-kovaryans matrisleri, nirengi ağlarının nokta konum duyarlığını belirlemektedir. Ancak, nirengi ağlarında nokta konum duyarlığı için böyle bir gösterim şekli kullanılmamaktadır. Bunun yerine, \underline{K}_{xx} matrisinden elde edilen bazı büyüklükler

kullanılır. Bunlar, nirengi ağlarının duyarlık (precision) ölçütlerini meydana getirir [36]. Nirengi ağlarında duyarlık ölçütleri aşağıdaki gibi gruplara ayrılır.

a) Noktalara Göre Tanımlanan Duyarlık Ölçütleri: Jeodezik ağlar için tanımlanan duyarlık ölçütlerinin büyük bir bölümünü noktalara göre tanımlanan duyarlık ölçütleri oluşturur [32]. Nokta konum duyarlığı, noktalardaki Helmert hata ve güven elipsinin sınır değerleri hesaplanarak ağ noktalarının gerçek yerlerinin hangi sınırlar arasında kalacağı belirlenir.

- **Konum Hatası:**

$$m_{pi} = \sqrt{m_{xi}^2 + m_{yi}^2} = m_0 \sqrt{q_{xixi} + q_{yiyi}} \quad (81)$$

$$m_{pi} = m_0 \sqrt{\lambda_A + \lambda_B} \quad (82)$$

olarak hesaplanır. Burada, q_{xixi} ve q_{yiyi} , ters ağırlık matrisinde ilgili elemanlar; λ_A ve λ_B , ters ağırlık matrisinin özdeğerleridir.

- **Werkmeister Nokta Konum Hatası:**

$$w_{pi} = m_0^2 \sqrt{q_{xixi} q_{yiyi} - q_{xiyi}^2} = m_0 \sqrt{\lambda_A \lambda_B} \quad (83)$$

- **Hata ve Güven Elipsi:** Ağ noktalarından herhangi biri olan P_i noktasına ilişkin koordinat bilinmeyenleri

$$\underline{x}_i = \begin{vmatrix} x_i \\ y_i \end{vmatrix} \quad (84)$$

ve koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisi,

$$\underline{Q}_{ii} = \begin{vmatrix} q_{xixi} & q_{xiji} \\ q_{yixi} & q_{yiji} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} q_{xx} & q_{xy} \\ q_{yx} & q_{yy} \end{vmatrix} \quad (85)$$

eşitliği ile tanımlanabilir.

Helmert Hata elipsinin elemanları

$$A_H = m_0 \sqrt{\frac{1}{2} (q_{xx} + q_{yy} + W)} \quad (86)$$

$$B_H = m_0 \sqrt{\frac{1}{2} (q_{xx} + q_{yy} - W)} \quad (87)$$

$$\Theta_H = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2q_{xy}}{q_{xx} - q_{yy}} \right) \quad (88)$$

$$W = \sqrt{(q_{xx} - q_{yy})^2 + 4q_{xy}^2} \quad (89)$$

bağıntılarından hesaplanır. Buradan; A_H , hata elipsinin büyük yarı eksen; B_H , hata elipsinin küçük yarı eksen ve Θ_H , hata elipsinin büyük yarı ekseninin doğrultusudur. Hata elipsinin elemanlarından yararlanarak güven elipsinin elemanları

$$A_G = \sqrt{2 F_{2, \xi, 1-\alpha}} A_H \quad (90)$$

$$B_G = \sqrt{2 F_{2, \xi, 1-\alpha}} B_H \quad (91)$$

$$\Theta_G = \Theta_H \quad (92)$$

biçiminde elde edilir. elde edilir. Burada, A_G , güven elipsinin büyük yarı eksen, B_G , güven elipsinin küçük yarı eksen ve Θ_G , güven elipsinin büyük yarı ekseninin doğrultusudur.

b) Lokal Duyarlık Ölçütleri: Herhangi iki ağ noktasının birbirine göre konumları, koordinatların farklarının bir fonksiyonu olarak düşünüldüğünde, bağıl hata kavramından söz edilir. Hesaplanan hata ya da güven elipslerinin geometrik yeri, iki noktayı birleştiren doğrunun orta noktası olarak düşünülür. P_i ve P_k noktalarının koordinat farkları \underline{d} vektöründe toplanırsa,

$$\underline{d} = \begin{bmatrix} x_k - x_i \\ y_k - y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ x_k \\ y_k \end{bmatrix} \quad (93)$$

fark vektörünün kısa gösterimi,

$$\underline{d} = \underline{F} \underline{x} \quad (94)$$

şeklinde elde edilir. Koordinat farklarının ters ağırlık matrisi (Q_{dd}) aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\underline{Q}_{dd} = \underline{F} \underline{Q}_{xx} \underline{F}^T \quad (95)$$

$$\underline{Q}_{xx} = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{ii} & \underline{Q}_{ik} \\ \underline{Q}_{ki} & \underline{Q}_{kk} \end{bmatrix} \quad (96)$$

$$\underline{Q}_{ii} = \begin{bmatrix} q_{xixi} & q_{xiyi} \\ q_{yixi} & q_{yiyi} \end{bmatrix}$$

$$\underline{Q}_{ik} = \begin{bmatrix} q_{xixk} & q_{xiyk} \\ q_{yixk} & q_{yiyk} \end{bmatrix} \quad (97)$$

$$\underline{Q}_{kk} = \begin{bmatrix} q_{kxkx} & q_{kxky} \\ q_{kykx} & q_{kyky} \end{bmatrix}$$

$$\underline{Q}_{dd} = \underline{Q}_{ii} + \underline{Q}_{kk} - 2 * \underline{Q}_{ik} = \begin{vmatrix} q_{dxdx} & q_{dxdy} \\ q_{dydx} & q_{dydy} \end{vmatrix} \quad (98)$$

\underline{Q}_{dd} matrisinden yararlanarak (86), (87), (88), (89),(90), (91), (92) eşitliklerine benzer şekilde Helmert bağıl hata ve güven elipsinin elemanları hesaplanır [25].

c) Global Duyarlık Ölçütleri: Ağın tamamı için tanımlanan duyarlık ölçütleri için koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrisinin tümünden yararlanır. Bir jeodezik ağın güvenilir olabilmesi için dengeleme sırasında kaba ve sistematik ölçü hatalarının belirlenmesi, tanımlanan duyarlık ve güven ölçütleri ile ağın tamamına veya bir bölümüne egemen olan model hatalarının belirlenmesi amaçlanır. Genelde, bu ölçütlerle fonksiyonel model hataları denetlenir [32].

Aşağıda verilen ölçütlerin hepsi ağın tümü için duyarlık ölçütleridir.

- **Varyans Ölçütü:** Varyans-kovaryans matrisinin ana köşegen elemanlarının toplamından oluşan ölçüttür.

$$\text{iz} \{ \underline{K}_{xx} \} = m_0^2 \text{iz} (\underline{Q}_{xx}) = m_0^2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_{2p}) \quad (99)$$

- **Hacim Ölçütü:** Güven hiperoelipsoidlerinin hacimleri ile ilgili ölçüttür.

$$\det \{ \underline{K}_{xx} \} = m_0^2 \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{2p} \quad (100)$$

- **Ortalama Koordinat Duyarlığı:**

$$m_x, m_y = \sqrt{\frac{\text{iz} (\underline{K}_{xx})}{2p}} = m_0 \sqrt{\frac{\text{iz} (\underline{Q}_{xx})}{2p}} \quad (101)$$

- **Özdeğer Ölçütü:** Varyans- Kovaryans matrisinin en büyük (λ_{\max}) ve en küçük (λ_{\min}) özdeğerlerinden oluşturulan amaç fonksiyonlarının her biri homojen ve izotrop bir ağı gösterir. Bu amaç fonksiyonları,

$$\lambda_{\max} \cong \lambda_{\min} \quad (102)$$

$$\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} = 1 \quad (103)$$

$$\lambda_{\max} - \lambda_{\min} = 1 \quad (104)$$

şeklindedir.

1.8.2. Güven Ölçütleri

Bir ağın güvenilirliği, ağ geometrisine, ölçü duyarlığına ve istatistik test yöntemine bağlı olarak duyarlık gibi daha tasarım aşamasında bir ön dengeleme ile kestirilebilir. Duruma göre ağ geometrisi ya da öngörülen ölçü duyarlığı değiştirilerek amaçlanan duyarlık sağlanır [24]. Güven, ağın geometrik yapısının model hatalarına karşı duyarlılığıdır. Model hatalarının ortaya çıkarılmasına uygun yapıdaki ağlar güvenilir ağlar olarak adlandırılır. Yani model hatalarının ortaya çıkarılması ağın geometrik yapısına bağlıdır

Jeodezik ağların kalitesini gösteren duyarlık ölçütleri, dengeleme modelinin geçerli olduğu durumlarda gerçeğe uygun bilgi verirler. Başka bir deyişle, dengelemenin fonksiyonel modelinin ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkilere uygun olduğu, stokastik modelin ölçülerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıttığı durumlarda hesaplanan büyüklükler, gerçeğe uygun olurlar. Buna karşın ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkileri gösteren fonksiyonel modelin gerçeğe uygun olmaması ya da gözlemlerin birkaçında oluşan kaba yanlışlar veya ölçü ağırlıklarının hatalı seçilmesi gibi durumlarda model hataları ortaya çıkar. Bir ağ dengelemesi için kurulan matematik modelin gerçeğe uygun olup olmadığı Güven Ölçütü ile denetlenir [34]. Ağın güvenilirliği, kaba hatalar karşısında ölçülerin kontrol edilebilirliğini gösteren fazla ölçü sayıları (kısmi redundanz) ile değerlendirilir. Bir jeodezik ağın iç güvenilirliği, ölçülerdeki kaba hatanın kontrol edilebilirliği anlamına gelmekte ve model hataları için belli bir test gücü ile açığa çıkarılabilecek en küçük sınır değerler olarak tanımlanmaktadır. Jeodezik ağların dış güvenilirliği, sıfır hipotezi neticesinde ölçülerden ayıklanamamış kaba hataların dengeleme hesabının matematik

modelinde bilinmeyen seçilen parametrelerin üzerindeki etkileri olarak tanımlanmaktadır [29], [37].

l_i ölçüsünde yapılan Δl_i kaba hatasının geçerli bir model ile yapılan dengeleme sonucunda bulunan ve düzeltmelere etkisi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir. Geçerli bir dengeleme işleminde matematik model, (3), (4), (5)' e göre kurulur. Düzeltmeler,

$$\underline{v} = -\underline{Q}_{vv} \underline{P} \underline{l} \quad (105)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Geçersiz bir dengeleme modelinde genişletilmiş fonksiyonel model,

$$\underline{l} + \underline{v} = \underline{l}' - \underline{\Delta l} + \underline{v} = \underline{A} \underline{x} \quad (106)$$

şeklinde olur. Düzeltmeler,

$$\underline{v} = \underline{v} + \underline{\Delta v} \quad (107)$$

$$\underline{\Delta v} = -\underline{Q}_{vv} \underline{P} \underline{\Delta l} \quad (108)$$

$$\Delta v_i = -(\underline{Q}_{vv} \underline{P})_{ii} \Delta l_i = -r_i \Delta l_i \quad (109)$$

bağıntısından hesaplanır.

$$\text{İz}(\underline{Q}_{vv} \underline{P}) = r = \sum r_i = n - u \quad (110)$$

olduğu düşünülürse serbestlik ölçütü r_i , fazla ölçü sayısıdır ve r içinde i . ölçünün payı (redundanz) anlamına gelir. r_i büyüklüğü ağırların geometrisini tanımlar ve ölçüdeki sistematik veya kaba hatanın v_i düzeltilmesi içindeki payını verir. Jeodezik ağlarda ölçülerin redundanz payları önemli bir güven ölçütüdür. Bunlar herhangi bir ölçüde yapılacak kaba hatanın yüzde kaçının, bu ölçüye ilişkin düzeltmeye yansıtacağını gösterirler. Başka bir deyişle redundanz payı, bir ölçünün diğer ölçüler yardımı ile kontrol edilebilir olmasının

ölçütüdür. Bu nedenle, ölçülerin birbirini karşılıklı kontrol edebilmeleri için redundanz paylarının %100'e yakın olmaları istenir.

- **İç güven ölçütü:** İç güven ölçütü, bir ölçüdeki kaba hatanın model hipotezinin genel testi ya da model hatalarının genel testi yöntemlerinin biriyle açığa çıkarılabilmesi için en az ne büyüklükte bir değere ulaşması gerektiğini gösterir. l_i ölçüsünde yapılan Δl_i kadar bir hatanın (70) bağıntısında verilen Baarda test büyüklüğüne etkisi

$$\Delta w_i = \frac{\Delta v_i}{\sigma_0 \sqrt{q_{vvi}}} = \sqrt{r_i} \frac{\Delta l_i}{\sigma_{li}} \quad (111)$$

eşitliği ile hesaplanır. $\sigma_{li} = \frac{\sigma_0}{\sqrt{P_i}}$, l_i ölçüsünün ortalama hatasıdır. Δl_i hatasının büyüklüğü

bilinmediğinden $s = 1 - \alpha_0$ için hangi büyüklükte bir hatanın, γ_0 test gücü ile ortaya çıkarılabileceği sorusuna yanıt aranır. Hatanın alt sınır değeri (111)'den hesaplanır. İç güven ölçütleri

$$\Delta_{oi} = \sigma_{li} \sqrt{\frac{w_0}{r_i}} \quad (112)$$

$$\Delta_{oi} \leq 8 \text{ m}_i$$

sınır değerlerini aşmamalıdır. İyi kontrol edilebilir bir ağda iç güven ölçütleri birbirine yakın ve olabildiğince küçük değerler olmalıdır [25], [38], [27].

Ölçü hatalarının hepsi karşılıklı olarak birbirini ve dengeleme modelini etkilediklerinden önce iç güven ölçütü Δ_{oi} değerinin en büyük olduğu l_i ölçüsü ayıklanıp gereğinde yinelendikten sonra yeni bir dengeleme yapılır ve yine geçersiz bir model elde edilirse her dengeleme işleminden sonra yalnız bir ölçünün ayıklanması işlemine model hipotezi geçerli oluncaya kadar devam edilir [34].

- **Dış Güven Ölçütü:** Ağın dış güvenliği, ortaya çıkarılmayan ölçü hatalarının dengeleme sonuçlarına olan etkileri ile açıklanır. Deformasyon ölçülerinde koordinatlar üzerinde keşfedilemeyen hataların etkisinin hesaba katılması önemli bir konudur [39].

Ortaya çıkarılmayan bir model hatasının koordinat bilinmeyenlerine etkisi, bunun dengeli ölçülere etkisinden çok daha önemlidir. Ağın dış güveni için datuma bağlı olmayan dış güven ölçütü,

$$\delta_{oi}^2 = \frac{1-r_i}{r_i} \cdot W_0 \quad (113)$$

olarak hesaplanır. İyi kontrol edilebilir bir ağda δ_{oi} değerinin olabildiğince küçük olması istenir. Hataların koordinatlara etkime katsayıları δ_{oi} ' nin 6 ya da 10 sınırları arasında kalması gerekir [25].

1.9. Jeodezik Ağların Optimizasyonu

Jeodezik ağların yapısı ile kuruluş amaçları arasında sıkı bir ilişki olduğundan ağlar planlama aşamasında amaca uygun hale getirilirler. Ağın duyarlılığı, güvenilirliği veya maliyeti gibi ölçütlere bağlı olarak saptanan bir amaç fonksiyonu, ağın en uygun konumu, ölçü planı veya ölçü ağırlıkları gibi parametreler cinsinden belirlenerek ağlar henüz planlama aşamasında amaca uygun hale getirilebilirler [40]. Jeodezik ağların tasarımı, geliştirilmesi ya da iyileştirilmesi sırasında bir amaç fonksiyonu seçilerek ağın datumunun, geometrik şeklinin, ölçü duyarlıklarının ya da noktaların konumlarının en uygun biçimde belirlenmesi işlemine jeodezik ağların optimizasyonu denilmektedir. Sözelimi bir nirengi ağındaki doğrultu, kenar, enlem, boylam, azimut ölçülerinin sayılarının ve bunların ağ içindeki dağılımlarının belirlenmesi, ölçü elemanlarının duyarlıklarının saptanması nirengi ağının tasarımı (dizayn, design) olarak bilinmektedir. Jeodezik ağın tasarımında optimizasyon son derece önemlidir. Çünkü geometrik şekil hataları, kalıcı hatalar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Optimizasyon işleminin amacı; tasarlanan ölçme planına ilişkin verileri, henüz arazide tesis ve ölçüm işlemleri yapmadan, ağ noktalarının yaklaşık koordinatlarından yararlanarak simülasyon yöntemi ile üretmek, en uygun ölçme planı ve ağırlık dağılımını belirlemek, tasarlanan ağı geliştirmek ve iyileştirmektir [34]. Ağ optimizasyonunun sınıflandırılması aşağıdaki gibi yapılabilir.

- **Seçilen Amaç Fonksiyonlarına Göre**
Duyarlık Optimizasyonu
Güven Optimizasyonu
Matematiksel optimizasyon
- **Optimum Hale Getirilmek İstenen Parametrelere Göre**
Sıfıncı Derece Optimizasyon (datum optimizasyonu)
Birinci Derece Optimizasyon (şekil optimizasyonu)
İkinci Derece Optimizasyon (ağırlık optimizasyonu)
Üçüncü Derece Optimizasyon
- **Çözüm Yöntemlerine Göre**
Analitik Yöntemler
Simülasyon Yöntemleri

a) **Duyarlık Optimizasyonu:** Optimizasyon işleminde duyarlık ölçütlerinden herhangi biri amaç fonksiyonu olarak seçilebilir. Amaç fonksiyonu olarak noktalara göre tanımlanan duyarlık ölçütleri (koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hatası, helmert ortalama hata elipslerinin yarı eksenleri), lokal duyarlık ölçütleri (bağlı hata ya da güven elipsleri) ya da global duyarlık ölçütleri (hacim ölçütü, güven hiperelipsoidinin yarı eksenleri) kullanılabilir [33]. Duyarlık optimizasyonu için amaç fonksiyonu seçmek amacı ile kullanılan duyarlık ölçütleri aşağıdaki gibi verilebilir.

- **Varyans Ölçütünden Türetilen Amaç Fonksiyonu:** Amaç fonksiyonu, (99) bağıntısında verilen varyans- kovaryans matrisinin izinin minimum olmasını öngörür (A-Optimal Ağlar).

$$\text{iz} \{ K_{xx} \} \rightarrow \min \quad (114)$$

- **Hacim Ölçütünden Türetilen Amaç Fonksiyonu:** Amaç fonksiyonu, (100) bağıntısında verilen varyans- kovaryans matrisinin determinantının minimum olmasını öngörür (D-Optimal Ağlar).

$$\det \{ K_{xx} \} \rightarrow \min \quad (115)$$

- **Özdeğer Ölçütünden Türetilen Amaç Fonksiyonu:** En büyük özdeğerin minimum olması ağın duyarlık yönünden homojen ve izotrop olduğunu gösterir (E- Optimal Ağlar).

$$\lambda_1 \approx \lambda_2 \approx \lambda_3 \dots \dots \dots \approx \lambda_{2p} \quad (116)$$

Amaç fonksiyonu, (104) bağıntısında verilen en büyük ve en küçük özdeğer arasındaki farkın minimum olmasını öngörür (S- Optimal Ağlar).

$$\lambda_{\max} - \lambda_{\min} \rightarrow \min \quad (117)$$

Amaç fonksiyonu, (103) bağıntısında verilen en büyük özdeğerin, en küçük özdeğere oranının 1'e yakın olmasını öngörür (I- Optimal Ağlar).

$$1 - \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} \rightarrow \min \quad (118)$$

b) Güven Optimizasyonu: Bir jeodezik ağa ilişkin dış ya da iç güven ölçütleri amaç fonksiyonu olarak ele alınırsa güven optimizasyonu söz konusu olur. Bir l_i ölçüsünün diğer ölçüler tarafından kontrol edilebilirliğini diğer bir deyişle ağın tüm serbestlik derecesinden (fazla ölçü sayısı $f=n-u$ dan) aldığı payı 0 ile 1 değerleri arasında ifade eden kısmi serbestlik derecesinin (r_i) büyük olması amaç fonksiyonu olarak alınabilir. Güven ölçütlerinden türetilen amaç fonksiyonları aşağıdaki gibi verilebilir.

$$r_i = (\underline{Q}_{vv} \underline{P})_{ii} > 0.5 \text{ ya da } 0.3 \quad (119)$$

$$\Delta_{oi} \leq 8 m_i \quad (120)$$

$$\delta_{oi} \cong 6 - 10 \quad (121)$$

c) Maliyet Optimizasyonu: Amaç fonksiyonu, belli bir maliyete, maximum duyarlık sağlamak veya belli duyarlıkları minimum maliyete sağlamak biçiminde ele alınır. [33], [25].

Tasarım Parametrelerine Göre Optimizasyon: Jeodezik ağların optimizasyonu belirlenmesi gereken tasarım parametrelerine göre şöyle adlandırılır.

- Duyarlık Optimizasyonu probleminde amaç fonksiyonunu gerçekleştirme için ağın datumunun en uygun biçimde belirlenmesi işlemi 0. Derece Optimizasyon adını alır.
- Ağın datumu, duyarlıklarının ve gözlem planının bilindiği varsayılırsa en uygun yaklaşık koordinatların belirlenmesi işlemi I. Derece Optimizasyon adını alır.
- Ağın datumu, geometrik yapısı ve ölçü duyarlıklarının bilindiği durumlarda amaç fonksiyonu, gerçeğe en uygun gözlem planının belirlenmesi ya da en uygun ağırlık dağılımının belirlenmesi işlemleri II. Derece Optimizasyon adını alır.
- Belirlenen duyarlık ve güven ölçütlerine uygun olmayan bir jeodezik ağın seçilen amaç fonksiyonunu sağladığı için geliştirilip iyileştirilmesi işlemlerine III. Derece Optimizasyon denir.

1.10. Deformasyon Araştırma Modelleri

Jeodezik deformasyon ölçüleri ve analizi son yıllarda giderek artan bir anlam kazandı. Elde edilen sonuçların kalitesi ve yorumlanması temel olarak seçilen deformasyon modeline bağlıdır.

Deformasyonlar problemin şekline ve kapsamına, uygulanan ölçme yöntemlerinin türüne, bir periyotluk ölçme süresine, hareketin zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olup olmamasına ve etkiyen kuvvetlerin değişken kabul edilip edilmemesine göre değişik modeller içinde incelenir. Bu modeller, dinamik, kinematik ve statik deformasyon modelleri olarak isimlendirilirler.

Aşağıda deformasyon modellerinin başlıca özellikleri verilmektedir.

- **Statik Deformasyon Modelleri**

Objeler periyodik olarak ya da sürekli ölçülür.

Ölçülen nokta hareketlerinin anlamlılığı istatistiksel olarak araştırılır.

Hareket süreci göz önüne alınmaz.

Harekete neden olan kuvvetler göz önüne alınmaz.

- **Kinematik Deformasyon Modelleri**

Obje periyodik olarak ya da sürekli ölçülür.

Hareketin, hız ve ivme gibi kinematik parametreleri zamana bağlı olarak belirlenir.

Harekete neden olan kuvvetler göz önüne alınmaz.

- **Dinamik Deformasyon Modelleri**

Obje periyodik olarak ya da sürekli ölçülür.

Objeye etkiyen büyüklükler ölçülür.

Hareket, zamana ve etki eden dış kuvvetlere bağlı olarak belirlenir.

Dinamik model, yalnız geometrik değişimleri değil, deformasyona neden olan kuvvetlerin zamana ve dış etkenlere bağlı olarak değişimini ve birbirleriyle ilişkilerinin yanında bu kuvvetlerin deformasyon sonucunun doğurduğu dönüşüm fonksiyonu araştırır.

Kinematik model, üzerinde deformasyon incelemesi yapılan bölgenin karakteristik noktalarının hareketlerini, hareketin hızını ve ivmesini zamanın fonksiyonu olarak hesaplar.

Statik model, deformasyon incelemesine konu bölge veya yapının karakteristik noktalarının deformasyon vektörünü, zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olarak belirler. Bu modelde tüm sistemin bir kez ölçülmesi sırasında noktaların sabit kaldığı varsayılır.

Statik nokta alanında noktaların konumları yer merkezli bir koordinat sisteminde değişmez olarak

$$x = \text{sabit}$$

(122)

kabul edilir. Statik nokta alanı özellikle ülke ve arazi ölçmelerinde ortaya çıkmaktadır. Nokta hareketleri, bir nokta alanının tekrarlı ölçümleri ile iki periyot arasında konum değişimlerinden belirlenmektedir. Statik davranışlı deformasyon modelinde, obje periyodik olarak ölçülür ve ortaya çıkan nokta hareketlerinin istatistiksel anlamlılığı analiz edilip yorumlanır [42].

1.10.1. Statik Değerlendirme Yöntemleri

Jeodezik ağ noktalarının periyotlar arasında hareket edip etmediğinin ve varsa hareketin belirlenmesi için uygulanan deformasyon analizinin esasını, Gauss-Markoff Modelinde EKK Yöntemiyle Parametre Tahmini konusuna dayanan Lineer Hipotez Testi oluşturmaktadır [43].

Köprü, baraj gibi büyük yapılardaki değişimlerle, yerkabuğu hareketlerinin belirlenip izlenmesi için kurulan özel ağlarda periyodik ölçmelerle belirlenen nokta konumlarının periyotlar arasındaki farklılığının nokta hareketinden kaynaklanıp kaynaklanmadığının irdelenmesi için önce global test yapılarak, periyotlar arasında geçen süre içinde noktalarda hareket olup olmadığı irdelenir. Bunun için sıfır hipotezi, t_1 anındaki koordinat bilinmeyenleri (x_1) ile t_2 anındaki koordinat bilinmeyenleri (x_2) arasındaki fark sıfırdır şeklinde aşağıdaki gibi kurulur.

$$H_0 : x_2 - x_1 = 0 \quad (123)$$

Doğrusal hipotez, matris gösterimiyle

$$\underline{B} \underline{x} = \underline{W} \quad (124)$$

biçiminde olur. H_0 hipotezinin doğru olup olmadığını test etmek için problemin yapısına göre uygun bir test değeri hesaplanır. Sonra önceden seçilmiş bir α yanılma olasılığı için F-Dağılım sınır değeri hesaplanır. Test değeri ile F-Dağılım sınır değeri arasındaki anlamlılık ilişkisi araştırılır. H_0 hipotezinin red ya da kabul durumuna göre, periyotlar arasındaki koordinat farklarının deformasyon olarak yorumlanıp yorumlanamayacağına karar verilir [44].

Statik değerlendirme yöntemlerinden en çok kullanılanları aşağıdaki yöntemlerdir.

- θ^2 -Ölçütü ile Deformasyon Analizi
- Genelleştirme Yöntemi ile Deformasyon Analizi
- Bağlı Güven Elipsleri ile Deformasyon Analizi
- Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi ile Deformasyon Analizi

1.10.1.1. θ^2 -Ölçütü ile Deformasyon Analizi

İki ölçme periyodu arasında geçen sürede hiçbir noktada deformasyon olmasa bile kaçınılmaz ölçü hataları nedeniyle, bu ölçülerden elde edilen nokta kümeleri arasında kesin bir eşdeğerlik beklenemez. İki nokta kümesinin birbiri üzerine çakıştırılması sonucunda bazı noktalar az çok farklılıklar gösterecektir. İki ölçü periyodu arasında geçen sürede nokta kümeleri arasında bir değişim olup olmadığına eşdeğerlik testi ile karar verilir.

Tüm periyotlardaki ölçüler ayrı ayrı dengelenerek, dengeli koordinatlar vektörü \underline{x} , düzeltmelerin kareleri toplamı $\underline{v}^T P \underline{v}$, bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi Q_{xx} hesaplanır. İki periyot arasında anlamlı nokta hareketi olup olmadığını belirlemek için, periyotlardan elde edilen dengeli koordinatların farkları (\underline{d}) hesaplanır. \underline{d} fark vektörünün geometrik anlamı da vardır. İki ölçüden bulunan dengelenmiş koordinatlar Helmert dönüşümü ile birbiri üzerine çakıştırıldığında ortak noktadaki fark doğrudan doğruya \underline{d} vektörünün elemanını verir [14], [46]. İki periyot için fark vektörü,

$$\underline{d} = \underline{x}_2 - \underline{x}_1 \quad (125)$$

olarak hesaplanır. Ağın herhangi bir noktasında deformasyon olup olmadığını araştırmak için, sıfır hipotezi hiçbir noktada deformasyon yoktur şeklinde (123)'e göre kurulur [46]. H_0 hipotezi (124) genel gösterimine benzetilirse,

$$H_0 : \begin{bmatrix} -\underline{I} & \underline{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{x}_1 \\ \underline{x}_2 \end{bmatrix} = \underline{0} \quad (126)$$

olarak elde edilir. Buradan

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} -\underline{I} & \underline{I} \end{bmatrix}, \quad \underline{x} = \begin{bmatrix} \underline{x}_1 \\ \underline{x}_2 \end{bmatrix}, \quad \underline{w} = \underline{0} \quad (127)$$

kısaltması yapılırsa,

$$H_0 : \underline{B} \underline{x} + \underline{w} = \underline{0} \quad (128)$$

kısa gösterimi elde edilir. d fark vektörüne ait kofaktörler matrisi Q_d , hata yayılma kuralının uygulanmasıyla,

$$\underline{Q}_d = \underline{Q}_{xx_1} + \underline{Q}_{xx_2}$$

$$\underline{Q}_d = (\underline{A}_1^T \underline{P}_1 \underline{A}_1)^+ + (\underline{A}_2^T \underline{P}_2 \underline{A}_2)^+ \quad (129)$$

olarak elde edilir. Doğrusal hipotezin düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi olan R (θ^2 -ölçütü)

$$\underline{R} = (\underline{Bx} - \underline{W})^T \left\{ \underline{B}(\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^+ \underline{B}^T \right\}^+ (\underline{Bx} - \underline{W}) \quad (130)$$

$$\underline{R} = (\underline{x}_2 - \underline{x}_1)^T \left\{ (\underline{A}_1^T \underline{P}_1 \underline{A}_1)^+ + (\underline{A}_2^T \underline{P}_2 \underline{A}_2)^+ \right\}^+ (\underline{x}_2 - \underline{x}_1)$$

$$\underline{R} = \underline{d}^T \underline{Q}_d^+ \underline{d} \quad (131)$$

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

$$h = \text{rang} (\underline{Q}_{xx_1}) = \text{rang} (\underline{Q}_{xx_2}) = u_k - d \quad (132)$$

Burada, u_k , ağdaki koordinat bilinmeyen sayısıdır. Ölçülerin, aynı aletler, aynı meteorolojik koşullarda, aynı ölçme ekibince yapıldıkları varsayılırsa her iki ölçü dizisinin kuramsal varyansları eşit olur [25], [39]. Her iki ölçü kümesinin ortak standart sapması

$$s_0^2 = \sqrt{\frac{\underline{v}_1^T \underline{P}_1 \underline{v}_1 + \underline{v}_2^T \underline{P}_2 \underline{v}_2}{f_1 + f_2}} \quad (133)$$

$$f_i = n_i - u_i + d ; \quad i = 1, 2$$

eşitliğinden hesaplanır. Eşdeğerlik testinin test büyüklüğü,

$$T = \frac{R}{s_0^2 h} = \frac{\underline{d}^T \underline{Q}_d^+ \underline{d}}{s_0^2 h} \quad (134)$$

olarak hesaplanır. Test değeri T, F-Tablo değeri ile karşılaştırılır.

$$f = f_1 + f_2 \quad (135)$$

olmak üzere,

$T < F_{h,f,1-\alpha}$ ise H_0 hipotezi geçerlidir.

Yorum: İki periyot arasında geçen sürede $s = 1 - \alpha$ kadar bir istatistik güvenle nokta kümelerinde hareket gözlenmemiştir.

$T > F_{h,f,1-\alpha}$ ise H_0 hipotezi geçerli değildir.

Yorum: İki periyot arasında geçen sürede $s = 1 - \alpha$ kadar bir istatistik güvenle ağ noktalarından birinde ya da birkaçında deformasyon olduğuna karar verilir.

Deformasyon olduğuna karar verildikten sonra, ağda hareket eden noktalar tek tek belirlenir. Bunun için ağ noktaları içinde her seferinde bir nokta hareketli, diğerleri sabit olduğu varsayımı ile nokta sayısı kadar θ^2 -ölçütü (R) değeri hesaplanır. \underline{d} fark vektörü ve \underline{Q}_d kofaktörler matrisi aşağıdaki gibi alt matrislere ayrılır.

$$\underline{d} = \begin{vmatrix} \underline{d}_F \\ \underline{d}_B \end{vmatrix} \quad (136)$$

$$\underline{Q}_d = \begin{vmatrix} \underline{Q}_{FF} & \underline{Q}_{FB} \\ \underline{Q}_{BF} & \underline{Q}_{BB} \end{vmatrix} \quad (137)$$

Buradan \underline{Q}_d matrisinin tersi

$$\underline{Q}_d^+ = \underline{P}_d = \begin{vmatrix} \underline{P}_{FF} & \underline{P}_{FB} \\ \underline{P}_{BF} & \underline{P}_{BB} \end{vmatrix} \quad (138)$$

elde edilir. B, hareketli noktalar için indis, F, sabit noktalar için indis, olmak üzere her nokta deformasyon kuşkusu bulunan B noktası olarak ele alınır. Böylelikle her yeni adımda başka bir noktanın koordinatları, alt vektör \underline{d}_B olarak yazılır. Bu durumda ağırlık nokta sayısı p olmak üzere, p kadar aykırılık etkisi hesaplanır. Alt matrisler Gauss-Yöntemi ile indirgenerek,

$$\bar{\underline{d}}_B = \underline{d}_B - \underline{P}_{BB}^{-1} \underline{P}_{BF} \underline{d}_F \quad (139)$$

$$\bar{\underline{P}}_{FF} = \underline{P}_{FF} - \underline{P}_{FB} \underline{P}_{BB}^{-1} \underline{P}_{BF} \quad (140)$$

değerleri hesaplanır. Bu değerler yardımıyla R değeri

$$\theta^2 = R = \underline{d}^T \underline{Q}_d^+ \underline{d} = \underline{d}_F^T \bar{\underline{P}}_{FF} \underline{d}_F + \bar{\underline{d}}_B^T \underline{P}_{BB} \bar{\underline{d}}_B \quad (141)$$

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

$$R_i = (\bar{\underline{d}}_B^T \underline{P}_{BB} \bar{\underline{d}}_B)_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (142)$$

Burada p, nokta sayısıdır. Toplam aykırılıktaki payı en büyük olan $(R)_{\max} = \max(R_i)$ olan noktada, $s = 1 - \alpha$ kadar istatistik güvenle deformasyon olduğuna karar verilir. Ağda deformasyon bulunana başka nokta bulunup bulunmadığını araştırmak için \underline{d} ve \underline{Q}_d 'ye bir S-dönüşümü yapılarak geriye kalan (p-1) noktadan yararlanarak yeni bir datum verilir.

\underline{d} ve \underline{Q}_d 'de deformasyon noktasına ait elemanlar, en son satır ve sütunlara atılır. G matrisi, p sayıda nokta için (23) eşitliğine göre oluşturulur. E matrisi, köşegen üzerinde ilk sırada datum noktalarına karşılık 1, öteki bilinmeyen parametreler için 0 değeri olmak üzere dönüşüm matrisi, $B = E G$ eşitliğine göre

$$\underline{S}_i = I - \underline{G} (\underline{B}^T \underline{G}) \underline{B}^T \quad (143)$$

biçiminde elde edilir. \underline{d} ve \underline{Q}_d matrisi

$$\underline{d}_i = \underline{S}_i \underline{d} \quad (144)$$

$$\underline{Q}_{di} = \underline{S}_i \underline{Q}_d \underline{S}_i^T \quad (145)$$

biçiminde dönüştürülür. S- transformasyonu, yeni bir dengelemeye gerek kalmadan bir datumdan başka bir datuma geçme, başka bir deyişle, herhangi bir datumda belirlenmiş parametreleri örneğin nokta koordinatlarını ve bunların kofaktörler matrisini belli bir datuma dönüştürme işlemidir. S- transformasyonu, tüm ağ noktalarının ya da bir bölümünün (datum noktalarının) küçültülmüş koordinat bilinmeyenlerinin kareleri toplamının minimum olmasını öngören serbest dengeleme ile eş anlamlıdır. i.dönüşümden sonra fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisi

$$\underline{d}_i = \begin{vmatrix} \underline{d}_D \\ \underline{d}_N \end{vmatrix} = \underline{S}_i \begin{vmatrix} \underline{d}_F \\ \underline{d}_B \end{vmatrix} = \underline{S}_i \underline{d} \quad (146)$$

$$\underline{Q}_{di} = \begin{vmatrix} \underline{Q}_{DD} & \underline{Q}_{DN} \\ \underline{Q}_{ND} & \underline{Q}_{NN} \end{vmatrix} \quad (147)$$

biçiminde alt matrislere ayrılır. D, datum noktalarına ait indis; N, datum dönüşümüne katılmayan noktaları göstermektedir. \underline{d}_N , toplam aykırılıktaki payları en büyük olan R_{max} noktalarına ait \underline{d}_B değerinin dönüşümden sonraki değeridir. i.belirleme adımından sonra kalan aykırılık

$$\underline{R}_{kalan} = \underline{d}_D^T \underline{Q}_{DD}^+ \underline{d}_D \quad (148)$$

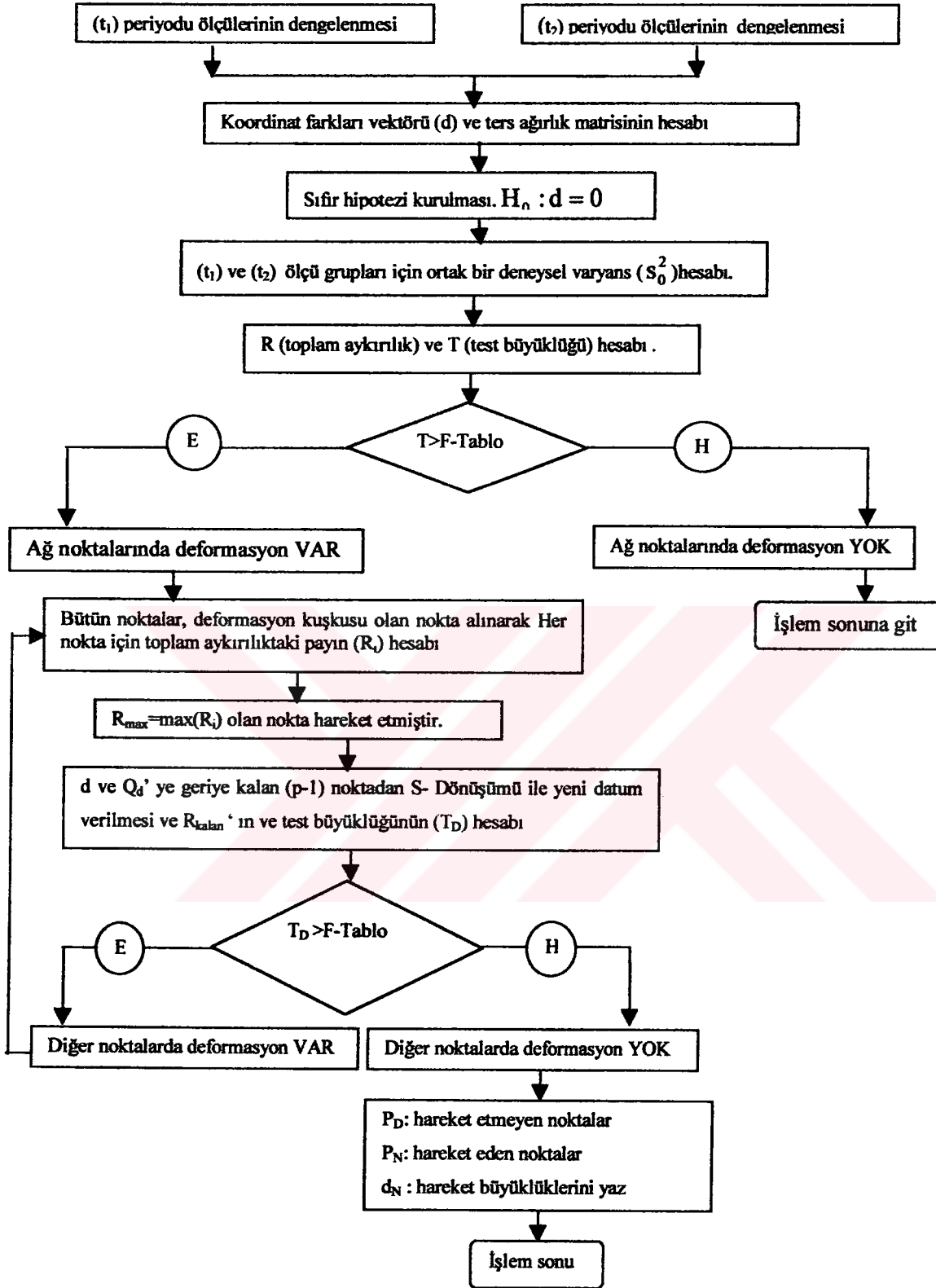
olarak hesaplanır. Serbestlik dereceleri

$$\underline{h}_D = \underline{h} - \underline{m}, \quad \underline{f}_D = \underline{f} - 2 \quad (149)$$

biçiminde hesaplanır. m , deformasyon olduğu belirlenen noktaya ilişkin koordinatların sayısıdır. Test büyüklüğü, $T_D = \frac{R_{kalan}}{s_0^2 \cdot h_D} > F_{h_D, f_D, 1-\alpha}$ ise ağda hareketli nokta vardır. Hareketli nokta, yukarıda anlatılan işlemler tekrar edilerek belirlenir. Bu işlemlere test büyüklüğü, tablo değerinde küçük oluncaya kadar devam edilir. Son bir S dönüşümü ile ağda sabit kalan noktalar P_D , deformasyon olduğu kanıtlanan noktalar P_N ve deformasyon büyüklükleri d_N elde edilir. [47], [48], [49].

Bu yöntemin uygulanması için takip edilen işlem adımları Şekil 1'de iş akış şeması şeklinde verilmiştir.





Şekil 1. θ^2 -Ölçütü ile deformasyon analizi iş akış şeması

1.10.1.2. Genelleştirme Yöntemi ile Deformasyon Analizi

Bu yöntemin esası, (124) başlangıç hipotezinin dengelemede fonksiyonel modelin içine sokularak hareketli nokta ve hareket büyüklüklerinin hesaplanmasıdır. Bu yöntemi uygulamak için şu işlem adımları izlenir.

a) İki periyot arasında tüm noktalarda hareket vardır şeklinde seçenek hipotezi kurulur ve hiçbir nokta hareket etmemiştir şeklinde kurulan sıfır hipotezi ile karşılaştırılır. Bu hipotezi irdelemek için, önce her iki periyodun ayrı ayrı serbest dengelenir. (i) ve (j) periyotları için hesaplanan düzeltmelerin kareleri toplamı sırasıyla ile Ω_i ve Ω_j , serbestlik dereceleri de f_i ve f_j ile gösterilirse, iki periyodun düzeltmeleri kareleri toplamı,

$$\Omega = \Omega_i + \Omega_j \quad \text{ve} \quad f = f_i + f_j \quad (150)$$

elde edilir. Hiçbir noktanın hareketli olması hipotezinin testi için ağ noktalarına tek koordinat bilinmeyen verilerek toplu dengeleme yapılır. Buna göre dengelemenin fonksiyonel modeli,

$$\begin{vmatrix} \underline{l}_1 \\ \underline{l}_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \underline{v}_1 \\ \underline{v}_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \underline{A}_1 \\ \underline{A}_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \underline{x}_1 \end{vmatrix} \quad (151)$$

şeklinde kurulur. Bu dengeleme sonucunda elde edilen düzeltmelerin kareleri toplamı Ω_H ve dengelemenin serbestlik derecesi f_H ' dir. H_0 hipotezinin düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi ve bunun serbestlik derecesi

$$R_H = \Omega_H - \Omega \quad (152)$$

$$h = f_H - f \quad (153)$$

olarak hesaplanır. Kuramsal varyans s_0^2 ' nin deneysel değeri,

$$s_0^2 = \frac{\Omega}{f} \quad (154)$$

olur. Bu durumda test büyüklüğü T_H ,

$$T_H = \frac{R_H}{s_0^2 h} \quad (155)$$

şeklinde olur. T_H değeri,

$T_H > F_{h, f, 1-\alpha}$ ise H_0 geçersiz sayılacak, diğer bir deyişle, iki periyot arasında α yanılma olasılığı ile nokta hareketi olduğu kararına varılacaktır.

b) Global test sonucunda, hipotez geçersiz sayılırsa, analizin ikinci aşaması olan hareketli noktaların belirlenmesine geçilir. Deformasyon olan noktaların belirlenmesi için \underline{x}_1 vektörü,

$$\underline{x}_1 = \begin{bmatrix} \underline{x}_{ID} \\ \underline{x}_{IH} \end{bmatrix} \quad (156)$$

şeklinde bileşenlere ayrılır. \underline{x}_{ID} vektöründe bulunan noktalar sırasıyla \underline{x}_{IH} ' ya çıkarılarak hareketli noktaların belirlenmesine geçilir. \underline{x}_{ID} , sabit noktaları; \underline{x}_{IH} , hareketli noktaları göstermektedir. Hareketli noktaların test edilmesi için iki periyot arasında sabit olduğu varsayılan noktalara tek, hareketli olduğu varsayılan noktalara ise iki ayrı koordinat bilinmeyişi verilerek toplu dengeleme yapılır. Böylece hipotez olarak, iki periyot arasında hareketsiz olduğu varsayılan noktaların her periyot için ayrı hesaplanacak koordinatları arasındaki farkın sifira eşit olduğu kabul edilmiş olur. Toplu dengelemenin fonksiyonel modeli

$$\begin{vmatrix} \underline{1}_1 \\ \underline{1}_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \underline{v}_1 \\ \underline{v}_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \underline{A}_1 & \underline{A}_1 & \underline{0} \\ \underline{A}_1 & \underline{0} & \underline{A}_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \underline{x}_1 \\ \underline{x}_1 \\ \underline{x}_2 \end{vmatrix} \quad (157)$$

ve stokastik modeli

$$\underline{K}_H = s_0^2 \begin{vmatrix} \underline{Q}_{11} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{Q}_{22} \end{vmatrix} \quad (158)$$

şeklinde kurulur. Burada, x_i , sabit olduğu kabul edilen noktalara ait koordinat bilinmeyenleri; x_i , ($i=1, 2$) hareketli noktalara ait koordinat bilinmeyenleri; A_i ve A_i ($i = 1, 2$) sırasıyla sabit ve hareketli noktalar için katsayılar matrisidir. (157) ve(158) eşitlikleri kısa gösterimle

$$\underline{l}_H + \underline{v}_H = \underline{A}_H \underline{x}_H \quad (159)$$

$$\underline{K}_H = s_0^2 \underline{Q}_H \quad (160)$$

biçiminde yazılır. x_H koordinatları, sabit kabul edilen noktalara göre kısmi iz minimum yapılarak (37) eşitliğine göre hesaplanır. Toplu dengelemeden düzeltmelerin kareleri toplamı Ω_{Hj} hesaplanır. Her nokta için yeni aykırılık

$$R_{Hj} = \Omega_{Hj} - \Omega \quad (161)$$

ve serbestlik derecesi,

$$h_H = f_{Hj} - f \quad (162)$$

hesaplanır. x_i vektöründe bulunan n_D sayıda nokta için bu hipotezin testi yapılacağından n_D sayıda R_{Hj} değeri hesaplanmıştır [2], [8].

$$R_{\min} = \min(R_{Hj}) \quad j=1, 2, \dots, n_D \quad (163)$$

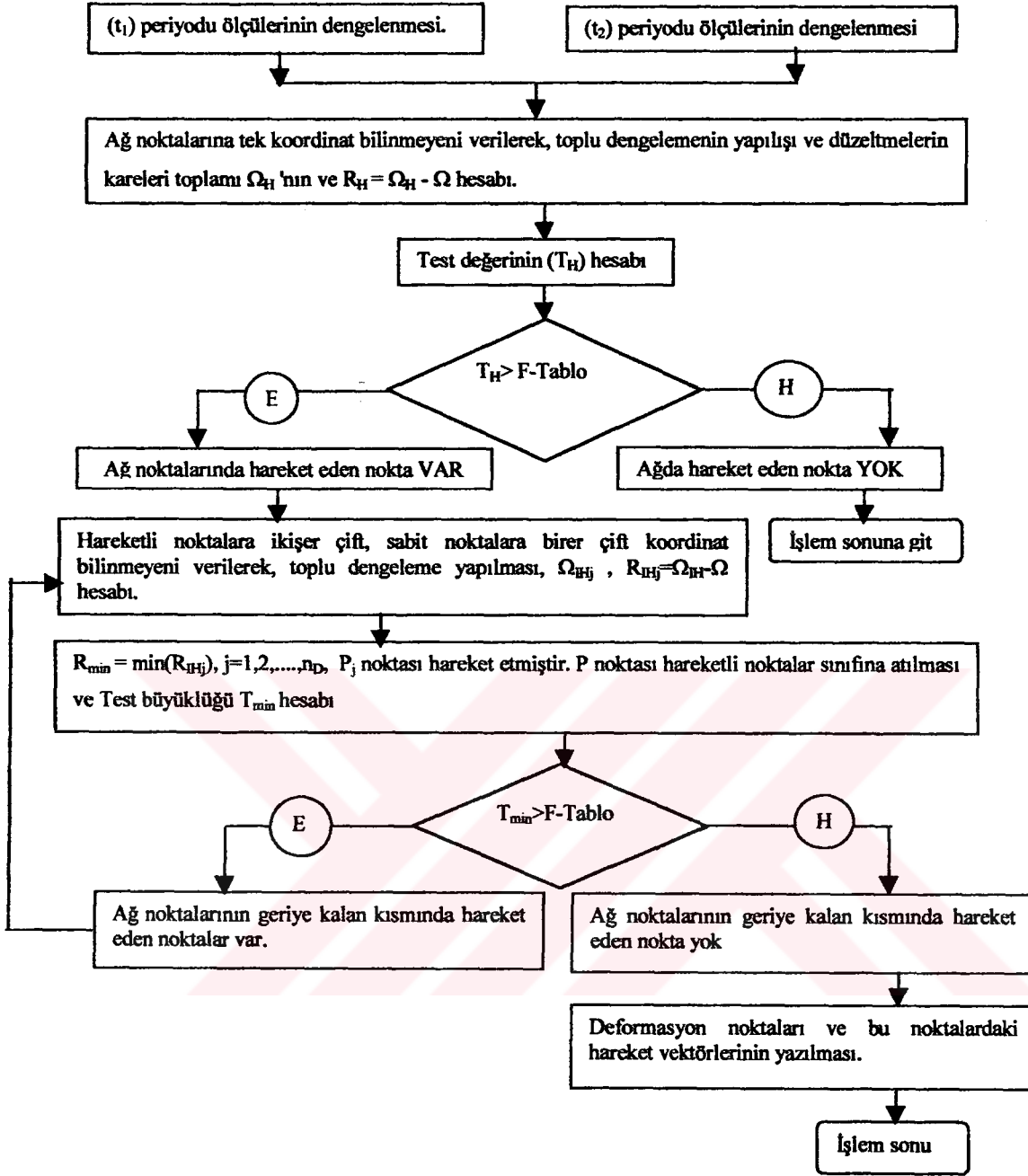
olan P_j noktasında $s = 1 - \alpha$ kadar istatistik güvenle defomasyon vardır denir. Ağda defomasyon olan başka noktalar bulunup bulunmadığını araştırmak için R_{\min} değerinden yararlanarak test değeri

$$T_{\min} = \frac{R_{\min}}{s_0^2 h_H} \quad (164)$$

şeklinde hesaplanır. Test değeri, F-Tablo değerini aşarsa (b) bölümünde anlatılan işlemlere test değeri tablo değerinden küçük oluncaya kadar devam edilir. Son adımda hareketli ve sabit noktalar belirlendikten sonra (157) ve (158) bağıntılarında verilen toplu dengeleme işlemi yapılarak hareketli noktalar ve hareket büyüklükleri belirlenmiş olur.

Bu yöntemin uygulanması için izlenecek işlem adımları Şekil 2'de iş akış şeması şeklinde gösterilmiştir.





Şekil 2. Genelleştirme yöntemi ile deformasyon analizi iş akış şeması

1.10.1.3. Bağlı Güven Elipsleri ile Deformasyon Analizi

Bu yöntemde, iki periyodun toplu dengelenmesi sonucunda elde edilen fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisi yardımıyla noktalardaki deformasyonların anlamlı olup olmadığının irdelenmesi grafik yolla yapılmaktadır. Deformasyon analizi yapılacak periyotlara ilişkin ölçüler ayrı ayrı serbest olarak dengelenir. Bu dengelemelerde jeodezik

noktalar için aynı yaklaşık koordinatlar kullanılsa dahi, bu ağların datumlar birbirinden farklı olur. Her iki ağın datumlarını karşılaştırmak için t_2-t_1 zaman aralığında konum değiştirmeyen ortak noktalar gereklidir. Bunun için, jeodezik ağın kurulması aşamasında konumları değişmeyeceği varsayılan kontrol noktaları için istatistik test yapılarak t_2-t_1 sürecinde konum değiştirmemiş sabit (ortak) noktalar belirlenir. Bundan sonra ortak noktalar için birer çift koordinat bilinmeyişi, diğer kontrol ve obje noktaları için ikişer çift koordinat bilinmeyişi seçilerek her iki periyodun ölçüleri birlikte (tümünden) dengelenir. Bu dengeleme sonunda ortak noktalar dışındaki her nokta çifti için elde edilecek koordinatların farkı test edilerek, hareket (deformasyon) olup olmadığına karar verilir [10], [50]. İki periyodun ayrı ayrı dengelenmesi sonucunda,; koordinat bilinmeyenleri vektörleri $(\underline{x}_1, \underline{x}_2)$; koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisleri, $\underline{Q}_{(xx)_1}, \underline{Q}_{(xx)_2}$; koordinat bilinmeyenlerinin ortalama hataları, $m_{x_1}, m_{y_1}, m_{x_2}, m_{y_2}$ hesaplanır. Her periyodun dengelenmesi sonucunda elde edilen koordinat duyarlıklarına göre,

$$\begin{aligned} m_{xj}^2 &= (m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2)_j \\ m_{yj}^2 &= (m_{y_1}^2 + m_{y_2}^2)_j \end{aligned} \quad (165)$$

ortak noktaların koordinat duyarlıkları hesaplanır. m_x, m_y bir P_j noktasının t_i, t_{i+1} periyodu verileriyle bulunan koordinat farklarının ortalama hatalarını göstermektedir. İki periyodun ortak noktalarının koordinatlarının birbiri üzerine yapılan dönüşüm sonucunda v_x, v_y dönüşüm artıkları hesaplanır [25]. Test işlemlerinde sıfır hipotezi,

$$H_0 : v_{xj} = 0, \quad v_{yj} = 0 \quad (166)$$

şeklinde hesaplanır. Burada $j = 1, 2, \dots, s$ (ortak nokta sayısı)' dir. Test büyüklüğü,

$$t_{xj} = \frac{|v_{xj}|}{m_{xj}}, \quad t_{yj} = \frac{|v_{yj}|}{m_{yj}} \quad (167)$$

şeklinde hesaplanır. Karşılaştırma değeri $1-\alpha$ istatistik güvenle

$$f = 2s - d \quad (168)$$

serbestlik dereceleri ile t-dağılımından alınır. $t_{x_j} : t_{y_j} > t_{t,1-\alpha}$ oluyorsa P_j noktası geçen zaman aralığında konum değiştirmiştir. Bu nedenle sabit nokta olarak alınamaz ve bunlar obje noktası olarak alınır [51]. Böylece hareket etmeyen ortak noktalar ve obje noktaları belirlenmiş olur. Daha sonra toplu dengeleme yapılır. Toplu dengelemenin fonksiyonel modeli; $\underline{l}_1, \underline{l}_2$, ölçü vektörleri; $\underline{v}_1, \underline{v}_2$, düzeltme vektörleri; \underline{A}_1 , sabit noktalar için katsayılar matrisi; $\underline{A}_1, \underline{A}_2$, obje noktaları kümesi için katsayılar matrisi; \underline{x}_1 , sabit noktalar için bilinmeyen vektörü; $\underline{x}_1, \underline{x}_2$, obje noktaları için bilinmeyenler vektörü, olmak üzere, (157) ve(158) 'ye benzer şekilde oluşturulur. Dengelemenin matematik modelinin kısa gösterimi

$$\underline{l}_H + \underline{v}_H = \underline{A}_H \underline{x}_H \quad (169)$$

$$\underline{K}_H = s_0^2 \underline{Q}_H \quad (170)$$

biçiminde kurulur. x_H koordinatları sabit noktalara göre kısmi iz minimum yapılarak (37)'ye benzer şekilde elde edilir [24], [25].

t_1 ve t_2 zamanındaki obje noktalarındaki fark vektörü \underline{d} ve ters ağırlık matrisi \underline{Q}_d sırasıyla (125)ve (129)'e benzer şekilde

$$\underline{d} = \underline{x}_2 - \underline{x}_1 \quad (171)$$

$$\underline{Q}_d = \underline{Q}_{(xx)1} + \underline{Q}_{(xx)2} = \begin{vmatrix} q_{dx dx} & q_{dx dy} \\ q_{dy dx} & q_{dy dy} \end{vmatrix} \quad (172)$$

şeklinde hesaplanır. $\underline{d}_i, \underline{d}$ vektörünün alt vektörlerinden oluşmaktadır ve her nokta için fark vektörünü verir. Her nokta için fark vektörü, (1, 2) alt indisleri periyot numaralarını ve i nokta numarasını göstermek üzere

$$\underline{d}_i = \begin{vmatrix} x_{2i} - x_{1i} \\ y_{2i} - y_{1i} \end{vmatrix} \quad (173)$$

şeklinde hesaplanır. Noktaların hareket edip etmediğine karar verebilmek için; sıfır hipotezi her noktada

$$H_0 : \underline{d}_i = \underline{0} \quad (174)$$

şeklinde kurulur. Sıfır hipotezinin testi için her noktaya ait test büyüklüğü,

$$T_i = \frac{\underline{d}_i^T Q_{\underline{d}_i}^{-1} \underline{d}_i}{2 s_0^2} \quad (175)$$

şeklinde hesaplanır. Burada s_0^2 , (133)'e göre hesaplanmıştır. Test büyüklüğü F-Tablo değeri ile karşılaştırılır [52].

$T_i < F_{2,t_1-\alpha}$ ise H_0 hipotezi geçerlidir. P_i noktası (t_2-t_1) aralığında hareket etmemiştir denilir. Bu test işlemleri tüm obje ve kontrol noktaları için tek tek uygulanır. Elde edilen sonuçlara göre noktalarda anlamlı konum değişikliklerinin olup olmadığı istatistiksel olarak denetlenir. Böylece obje noktaları içinden sabit ve hareketli noktalar belirlenir.

Bu testin grafik yorumu da bağıl güven elipsleri ile yapılmaktadır. Bunun için noktalardaki bağıl hata ve güven elipslerinin elemanları ve fark vektörleri ve bunların ters ağırlık matrislerinden yararlanarak (86), (87), (88),(89), (90), (91),(92) bağıntılarına göre hesaplanır. Böylece bütün obje noktalardaki fark vektörü ve bağıl güven elipsinin elemanları hesaplanmış olur. Fark vektöründen yararlanarak fark vektörünün büyüklüğü, fark vektörünün doğrultusu (176) eşitliğinden hesaplanır.

$$d_{fi} = \sqrt{\underline{d}_i^T \cdot \underline{d}_i} \quad (176)$$

$$T_{dog} = \arctan\left(\frac{y_{2i} - y_{1i}}{x_{2i} - x_{1i}}\right)$$

Bu yöntemle, obje noktalarında hesaplanan fark vektörlerinin deformasyon olup olmadığına iki şekilde karar verilebilir. Birinci yöntemi uygulamak için aşağıdaki işlem adımları uygulanır.

1.Adım: Öncelikle bütün obje noktaları yaklaşık koordinatlarına göre bir altlığa ölçekli olarak çizilir.

2.Adım: Fark vektörü, başlangıcı obje noktası, uzunluğu(d_{fi}) ve doğrultusu ($T_{doğ}$) olacak şekilde altlığın ölçeğinden büyük olarak her obje noktasına çizilir.

3.Adım: Bütün noktalarda obje noktası merkez alınarak, fark vektörünün ölçeği ile aynı olacak şekilde bağlı güven elipsleri çizilir.

Yorum: Fark vektörü elipsin içinde kalıyorsa o noktada deformasyon yoktur. Fark vektörü elipsin dışına çıkıyorsa o noktada deformasyon vardır denilir.

İkinci yöntemle karar verebilmek için aşağıdaki adımlar uygulanır.

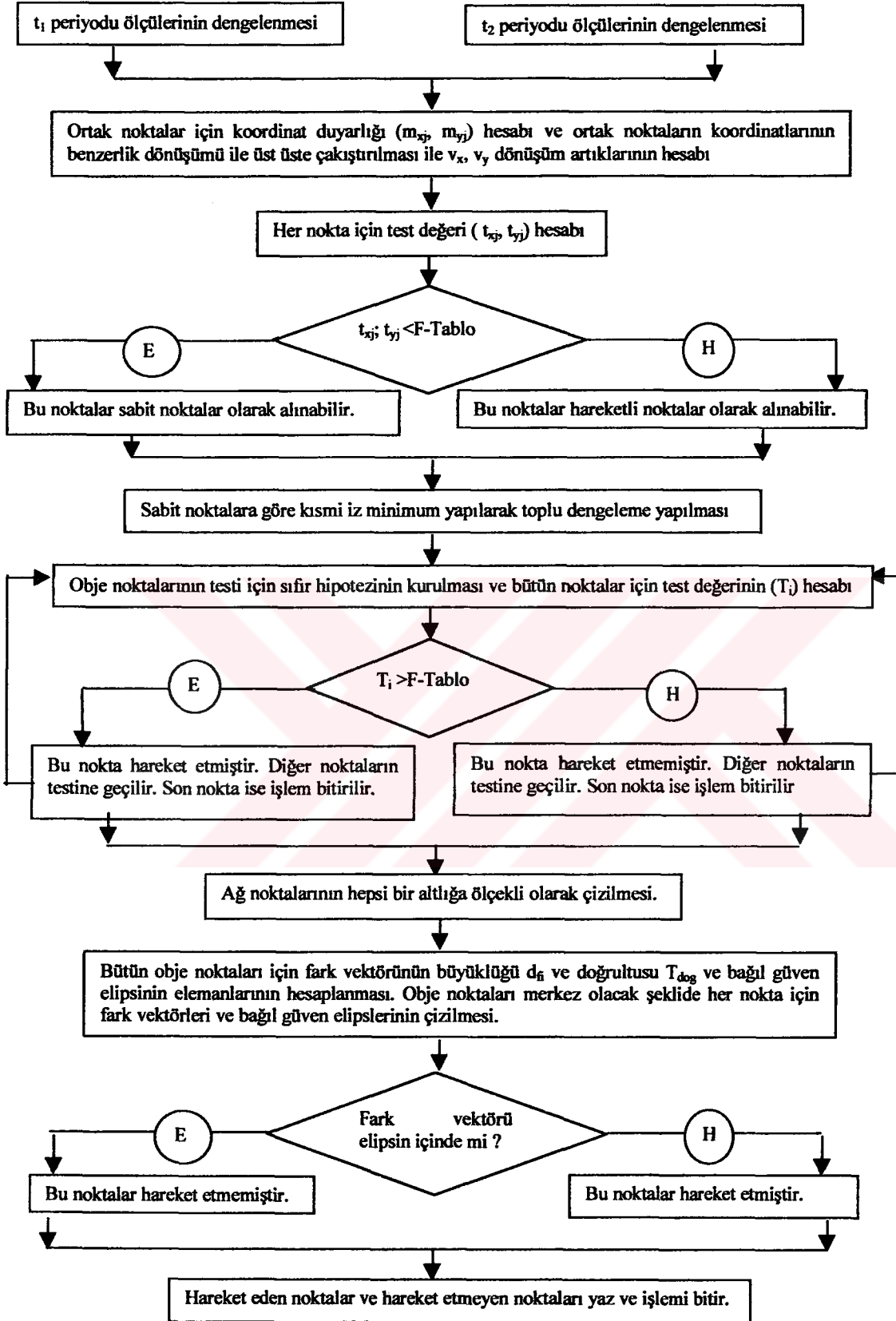
1.Adım: Ağ t_1 ve t_2 periyotlarındaki dengeli koordinatlarına göre bir altlığa ölçekli olarak çizilir.

2.Adım: P noktasının t_1 zamanındaki yeri P_1 , t_2 zamanındaki yeri P_2 ise; bağlı güven elipsi merkezi P_1 (veya P_2) olacak şekilde birinci yöntemin 3. Adımında anlatıldığı gibi bütün obje noktalarında çizilir.

Yorum: Eğer P_1 (veya P_2) noktasına çizilen güven elipslerinin alanı P_2 (veya P_1) noktasını da kapsıyorsa, diğer bir söyleyişle P_2 (veya P_1) noktası güven elipsinin içinde kalıyorsa, d_i vektörü deformasyon değildir. H_0 hipotezi geçerlidir. Noktalardaki fark kaçınılmaz gözlem hatalarının sınırı içindedir. Bu nokta sabit noktadır. Aksi halde nokta geçen zaman içinde hareket etmiştir.

Deformasyonların belirlenmesi için açıklanan bağlı güven elipsleri yöntemi, deformasyon vektörlerinin kovaryans matrislerinin doğrudan doğruya inceleme konusu olan, bir çok yerde başarı ile uygulanmış, kısa ve gösterimi kolay bir yöntemdir [35].

Bu yöntemin uygulanması için takip edilen işlem adımları Şekil 3' de iş akış şeması şeklinde verilmiştir.



Şekil 3. Bağlı güven elipsleri ile deformasyon analizi iş akış şeması

1.10.1.4. Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi ile Deformasyon Analizi

Kontrol ağında deformasyon noktaları ile sabit noktaların geometrik olarak ayrılabilir olması durumunda etkin bir yöntem olarak kullanılabilir. Deformasyonların saptanması için kurulan kontrol ağında hareket edemeyeceği varsayılan sabit noktalar ile hareket edeceği varsayılan deformasyon noktaları bilinebiliyorsa, bu özellik göz önünde tutularak yalnız sabit noktalara ilişkin kısmi iz minimum olması koşulu ile çözüm yapılır. Yani koordinat bilinmeyenleri vektörünün sabit noktalara ilişkin alt vektörü \mathbf{x}_F ile gösterilirse (41) 'e benzer şekilde

$$\mathbf{x}_F^T \mathbf{x}_F = \min \quad (177)$$

koşulu sağlanmalıdır [53]. t_1 ve t_2 periyotlarına ait ölçüler (177) bağıntısı esas olmak üzere dengelenir. Bunun sonucunda bulunan bilinmeyenler vektörü ve ters ağırlık matrisi sabit ve hareketli noktalara göre alt matrislere ayrılır.

$$\mathbf{x}_1 = \begin{vmatrix} \mathbf{x}_{1F} \\ \mathbf{x}_{1D} \end{vmatrix}, \quad \mathbf{x}_2 = \begin{vmatrix} \mathbf{x}_{2F} \\ \mathbf{x}_{2D} \end{vmatrix} \quad (178)$$

$$\underline{Q}_{x1} = \begin{vmatrix} \underline{Q}_{1FF} & \underline{Q}_{1FD} \\ \underline{Q}_{1DF} & \underline{Q}_{1DD} \end{vmatrix}, \quad \underline{Q}_{x2} = \begin{vmatrix} \underline{Q}_{2FF} & \underline{Q}_{2FD} \\ \underline{Q}_{2DF} & \underline{Q}_{2DD} \end{vmatrix} \quad (179)$$

Buradan yalnız sabit noktalara ait koordinat farkları vektörü

$$\underline{d}_F = \mathbf{x}_{2F} - \mathbf{x}_{1F} \quad (180)$$

ve ters ağırlık matrisi

$$\underline{Q}_{dF} = \underline{Q}_{1FF} + \underline{Q}_{2FF} \quad (181)$$

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

$$H_0 : \underline{d}_F = \underline{0} \quad (182)$$

şeklinde kurulur. Bu hipotez koordinat farkları \underline{d}_F 'nin karesel testi ile test edilir. Sabit noktalar için deneysel varyans,

$$R_F = \underline{d}_F^T \underline{Q}_{df} + \underline{d}_F \quad (183)$$

n_F : sabit nokta sayısı ve

$$f_1 = 2 \cdot n_F \quad (184)$$

olmak üzere

$$m_{01}^2 = \frac{R_F}{f_1} \quad (185)$$

olarak elde edilir. Her iki periyot için ortak olan birim ölçünün ortalama hatası m_{02}^2 , t_1 ve t_2 periyotlarına ait hesap sonuçlarından bulunan ve iki zamandaki ölçüler için geçerli olabilecek bir varyans olarak

$$m_{02}^2 = \frac{\mathbf{v}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{v}_2}{f_{01} + f_{02}} \quad (186)$$

biçiminde hesaplanır. Burada,

$$f_2 = f_{01} + f_{02} \quad (187)$$

$$f_{01} = n_1 - u_1 + d \quad (188)$$

$$f_{02} = n_2 - u_2 + d \quad (189)$$

dır. Elde edilen m_{02}^2 ve m_{01}^2 varyanslarından hesaplanan test büyüklüğü,

$$T_1 = \frac{m_{01}^2}{m_{02}^2} \quad (190)$$

F- Tablo değeriyle karşılaştırılır.

$$T_1 < F_{f_1, f_2, 1-\alpha} \quad (191)$$

ise H_0 reddedilemez. Yani sabit noktalarda bir deformasyon yoktur denilebilir.

$$T_1 > F_{f_1, f_2, 1-\alpha} \quad (192)$$

ise H_0 reddedilebilir. Sabit noktalardan en az biri hareket etmiştir denilir. \underline{d}_F vektöründe en büyük değer atılarak sıfır hipotezi yeniden kurulur ve test edilir. Bu işlemler, (191) koşulu sağlanıncaya kadar tekrar edilir [14]. Böylece sabit noktaların testi yapıldıktan sonra obje noktalarının testine geçilir. Sabit noktalar testinde hareket ettiği belirlenen sabit noktalar da deformasyon noktası olarak alınarak test yapılır. Kontrol ağı t_1 ve t_2 zamanında yapılan ölçülerin birlikte ele alınmasıyla toplu dengelenir. Bu dengeleme de sabit noktalar için bir çift koordinat bilinmeyi, deformasyon noktaları için de her periyot için birer çift olmak üzere toplam 2 çift koordinat bilinmeyi seçilmiş olur. Toplu dengelemenin fonksiyonel modeli; A_1 , sabit noktalara karşılık gelen katsayılar matrisi, $\underline{A}_1, \underline{A}_2$; hareketli noktalara karşılık gelen katsayılar matrisleri olmak üzere,

$$\begin{vmatrix} \underline{v}_1 \\ \underline{v}_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \underline{A}_1 & \underline{A}_1 & \underline{0} \\ \underline{A}_1 & \underline{0} & \underline{A}_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \underline{x}_F \\ \underline{x}_1 \\ \underline{x}_2 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} \underline{1}_1 \\ \underline{1}_2 \end{vmatrix} \quad (193)$$

biçiminde kurulur. Stokastik model,

$$\underline{Q}_{HH} = \begin{vmatrix} \underline{Q}_{FF} & \underline{Q}_{F1} & \underline{Q}_{F2} \\ \underline{Q}_{1F} & \underline{Q}_{11} & \underline{Q}_{12} \\ \underline{Q}_{2F} & \underline{Q}_{21} & \underline{Q}_{22} \end{vmatrix} \quad (194)$$

şeklinde kurularak dengeleme yapıp dengeli koordinatlar \underline{x}_1 ve \underline{x}_2 hesaplanır. Deformasyon noktalarının t_1 ve t_2 zamanındaki koordinatlarından hesaplanan fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisi sırasıyla

$$\underline{d} = \underline{x}_2 - \underline{x}_1 \quad (195)$$

$$\underline{Q}_d = \underline{Q}_{11} + \underline{Q}_{22} - \underline{Q}_{12} - \underline{Q}_{21} \quad (196)$$

şeklinde kurulur. Sabit noktalar testinde olduğu gibi sıfır hipotezi,

$$H_0 : \underline{d} = \underline{0} \quad (197)$$

şeklinde kurulur. Sıfır hipotezinin testi için hareketli noktalar için deneysel varyans,

$$m_{03}^2 = \frac{\underline{d}^T \underline{Q}_d^+ \underline{d}}{f_3} \quad (198)$$

olarak hesaplanır. f_3 , serbestlik derecesi; n_B , hareketli nokta sayısı olmak üzere ve

$$f_3 = 2 n_B \quad (199)$$

biçiminde hesaplanır. Test büyüklüğü,

$$T_2 = \frac{m_{03}^2}{m_{02}^2} \quad (200)$$

şeklinde hesaplanır. Test değeri, $F_{f_3, f_2, 1-\alpha}$ tablo değeriyle karşılaştırılır.

$T > F_{f_1, f_2, 1-\alpha}$ ise sıfır hipotezi reddedilir. Obje noktaları $s = 1 - \alpha$ istatistik güvenle hareket etmiştir.

$T < F_{f_1, f_2, 1-\alpha}$ ise deformasyon yoktur kararı hemen verilmemelidir. Çünkü buraya kadar deformasyonlar kabaca araştırılmaktadır. Daha ayrıntılı deformasyon irdelenmesine geçilir. Deformasyon noktalarındaki koordinat farkları vektörü korelasyonlu olduklarından teker teker signifikans testine tabi tutulamazlar. Bu nedenle \underline{d} vektörü elemanları korelasyonsuz bir başka vektöre dönüştürülmelidir. Bunun için \underline{d} 'nin kofaktör matrisinin inversi yani \underline{d} vektörünün tam dolu ağırlık matrisi P_d

$$\underline{P}_d = \underline{Q}_d^{-1} \quad (201)$$

ve C , bir üst üçgen matrisi göstermek üzere

$$\underline{P}_d = \underline{C}^T \underline{C} \quad (202)$$

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

$$\underline{P}_d = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots & P_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P_{n1} & P_{n2} & P_{n3} & \dots & P_{nn} \end{vmatrix} \quad (203)$$

$$n = 2 n_B \quad (204)$$

$$\underline{C} = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ 0 & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \cdot & 0 & C_{33} & \dots & C_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & C_{nn} \end{vmatrix} \quad (205)$$

C matrisinin elemanları aşağıdaki sıraya göre hesaplanır:

- C matrisinin birinci satır, birinci sütun elemanı

$$C_{11} = \sqrt{P_{11}} \quad (206)$$

- Birinci satırın diğer elemanları

$$C_{1i} = \frac{P_{1i}}{C_{11}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (207)$$

- Köşegen üzerindeki elemanlar

$$C_{ii} = (P_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} C_{ki}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (208)$$

$$i=2, 3, 4, n$$

- C matrisinin diğer elemanları

$$C_{ij} = (P_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} C_{ki} C_{kj}) / C_{ii} \quad (209)$$

$$i = 2, 3, \dots, n-1 \quad \text{ve} \quad j = i+1, \dots, n$$

- C matrisinin aşağıdaki şartları sağlaması gerekir.

$$\underline{C} \underline{C}^{-1} (\underline{C}^T)^{-1} \underline{C}^T = \underline{E} \quad (210)$$

$$\underline{C}^T \underline{C} = \underline{P}_d \quad (211)$$

\underline{P}_d matrisinin yerine (206), (207), (208), (209) bağıntıları yardımıyla bulunan C matrisinin konulması ile

$$q = \underline{d}^T \underline{P}_d \underline{d} = \underline{d}^T \underline{C}^T \underline{C} \underline{d} \quad (212)$$

elde edilir. Bu gösterim

$$\underline{C} \underline{d} = \underline{r} \quad (213)$$

ile kısaltılırsa

$$q = \underline{r}^T \underline{r} \quad (214)$$

elde edilir [14], [53], [54]. Yukarıdaki çarpım matris formunda gösterilirse

$$\begin{vmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ r_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & \cdot & \cdot & C_{1n} \\ 0 & C_{22} & C_{23} & \cdot & \cdot & C_{2n} \\ 0 & 0 & C_{33} & \cdot & \cdot & C_{3n} \\ \cdot & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & C_{nn} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ d_n \end{vmatrix} \quad (215)$$

q , r 'lerin kareleri toplamından oluşmaktadır ve serbest fonksiyondur, d vektörü gibi korelasyonlu değildir. q_i değerleri

$$q = \underline{r}^T \underline{r} = r_{x1}^2 + r_{y1}^2 + \dots + r_{xn}^2 + r_{yn}^2 \quad (216)$$

teker teker signifikans testine tabi tutulabilir. Ancak bir deformasyon noktasının testi sonucunda o noktanın hareket etmediği anlaşılırsa, teorik olarak o noktanın da sabit noktalar sınıfına katılarak, t_1 ve t_2 ölçü gruplarının ayrı ayrı dengelenmesinden başlayarak tüm analiz adımlarının yenilenmesi 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 gelişigüzel seçilen nokta numaralaması dışında objektif

ölçütlere bağlanmalıdır. Bunun için de P_d 'nin indirgenmesi sırasında q_i 'leri büyüklük sırasına otomatik olarak koyan özel bir pivot arama yöntemi ile indirgeme önerilmektedir. Diğer yönden de böyle bir pivot arama yöntemi ile Cholesky Ayrışımı, örneğin sabit noktaların bulunmadığı bir ağda karşılaşılabilecek P_d 'nin tekil olması durumunda da q 'nun P_d 'nin rangı kadar r_i^2 elemana ayrışmasını sağlar. En küçük elemandan başlamak üzere q_i değerleri sıralanır. Her nokta için test büyüklüğü hesaplanır.

$$T = \frac{q_i}{2 m_{02}^2} \quad (217)$$

(q_i) değerlerinin testi için, q_i iki elemanın toplamından oluştuğu için

$$H_0 : E \{ q_i \} = 2 m_{02}^2 \quad (218)$$

biçiminde sıfır hipotezi kurulur. $T < F_{2, f_2, 1-\bar{\alpha}}$ ise hipotez reddedilemez.

$T > F_{2, f_2, 1-\bar{\alpha}}$ ise bu nokta ve bundan sonra bulunan noktaların yerleri değişmiştir denilir. Bu tür adım adım test yöntemlerinde sıfır hipotezinin geçerli olmasına karşın reddedilme olasılığı (1. tipte hata) her adımda biraz daha büyüyeceğinden sonuncu q_i için $s = 1 - \alpha$ 'nın geçerli olması isteniyorsa k. adımda

$$\bar{\alpha} = 1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{k}} \quad (219)$$

alınmalıdır. Yeni deformasyon vektörü

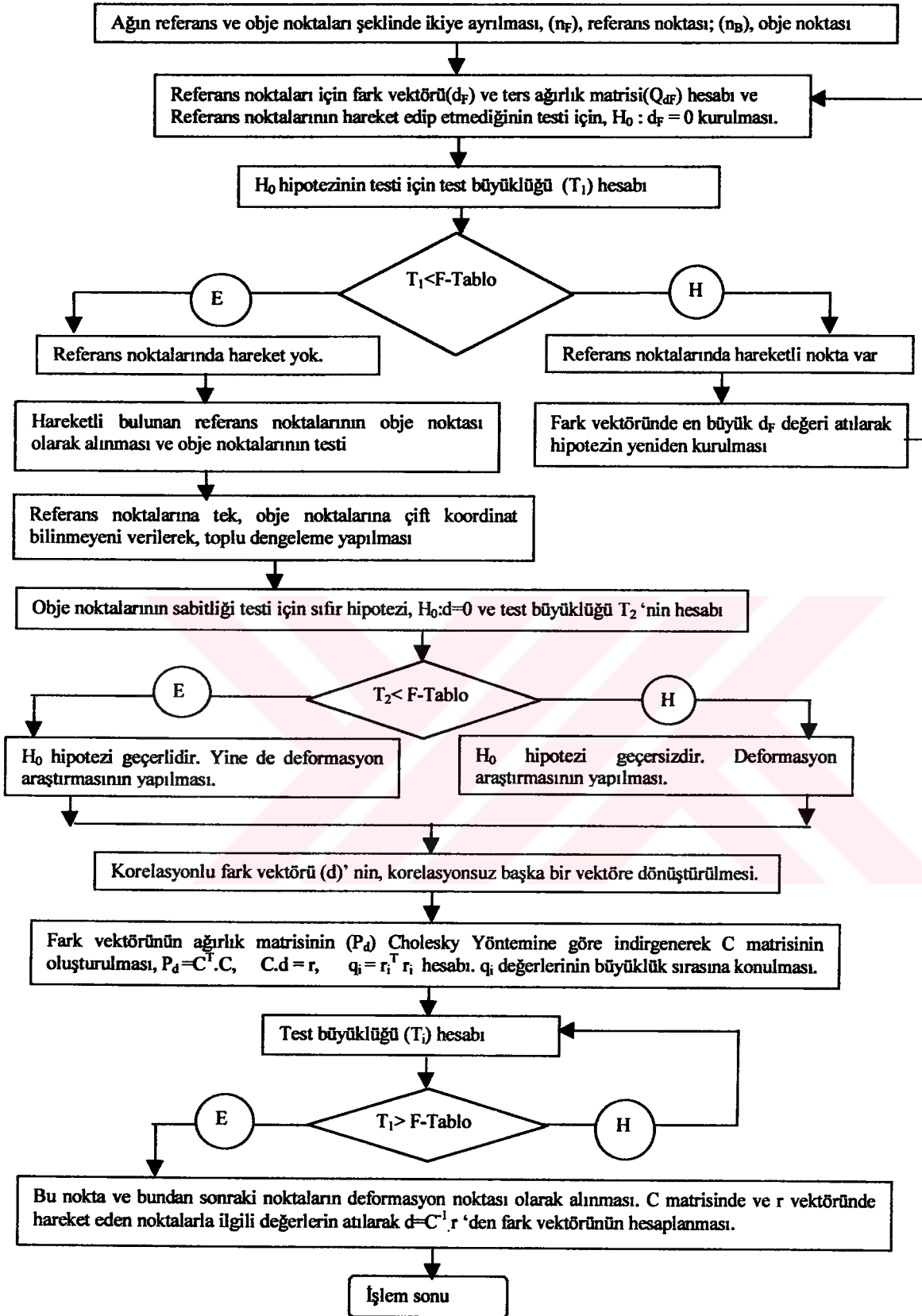
$$\underline{\bar{d}} = \underline{\bar{C}}^{-1} \underline{\bar{r}} \quad (220)$$

olarak hesaplanır. $\underline{\bar{C}}$ ve $\underline{\bar{r}}$, \underline{C} matrislerinde ve r vektöründe yerleri değiştiği kanıtlanamayan noktalarla ilgili satır ve sütunlar silinerek bulunur. Bu yöntemle sabit noktalardaki olası hareketleri deformasyon noktalarının hareketinden soyutlayabilmek için serbest ağ dengelemesi öngörülmektedir. Ayrıca Cholesky Ayrışımı'ndan sonra noktaların

test edilmesinde ortaya çıkacak öncelik sorununa çözüm olmak üzere her nokta için değişken signifikans düzeyi önerilmektedir [53].

Bu yöntemin uygulanması için takip edilen işlem adımları Şekil 4' de iş akış şeması şeklinde verilmiştir.





Şekil 4. Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemi ile deformasyon analizi iş akış şeması

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmanın amacı, jeodezik deformasyon analizinde kullanılan statik değerlendirme yöntemlerinden uygulamada en çok kullanılanları incelemek bunları birbirleriyle karşılaştırıp araştırma konusuna göre en uygun yöntemi önermektir. Bu amaçla yapılan sayısal uygulamada, bir galerinin üzeri ve çevresine tesis edilen noktalardan oluşan ağ kullanılmıştır. Asıl amaç galeride oluşan hareketleri belirlemek olmadığından düşey hareketler yönünde bir araştırma yapılmamıştır.

2.1. Deformasyon Ağının Tanıtılması

Deformasyon ağı, bir galeride oluşan hareketleri belirlemek amacıyla galeri ve çevresini kapsayacak şekilde, 20 noktalı bir ağ olarak Şekil 5'de görüldüğü gibi kurulmuştur. Deformasyon ağının kurulduğu bölgeyi iki hareket kuşağı halinde düşünebiliriz. En dıştaki kuşak, hareket beklentisi olmayan sabit zeminler üzerinde tesis edilmiş 20, 76, 82, 83 nolu noktalardan oluşan kuşaktır. İçteki kuşak ise galeri yakını ve tamamen hareket beklentisi olan galerinin bulunduğu zeminin üzerinde olmak üzere tesis edilmiş 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 84 numaralı noktalardan oluşan kuşaktır.

Deformasyon ağı, yaklaşık 2x1.4 km boyutlarında mikrojeodezik bir ağıdır. Ağda Eylül 1998 (t_1) ve Mayıs 1999 (t_2) periyotlarında yapılan doğrultu gözlemleri ve kenar ölçüleri uygulamada veri olarak kullanılmıştır. Her iki periyotta da ağdaki nokta sayısı, ölçü sayısı, ölçü planı aynı kalmıştır. Yani ağ univaryat bir ağıdır. Bu ağda her iki periyotta da 111 doğrultu gözlemi ve 54 kenar ölçüsü yapılmıştır. Ağda 20 nokta bulunmaktadır. Bunlardan 18 noktaya alet kurulmuştur.

Ölçü : $n = 111 \text{ doğrultu} + 54 \text{ kenar} = 165$

Bilinmeyen: $u = 2 \times P \text{ koordinat bilinmeyeni} + z \text{ yöneltme bilinmeyeni}$

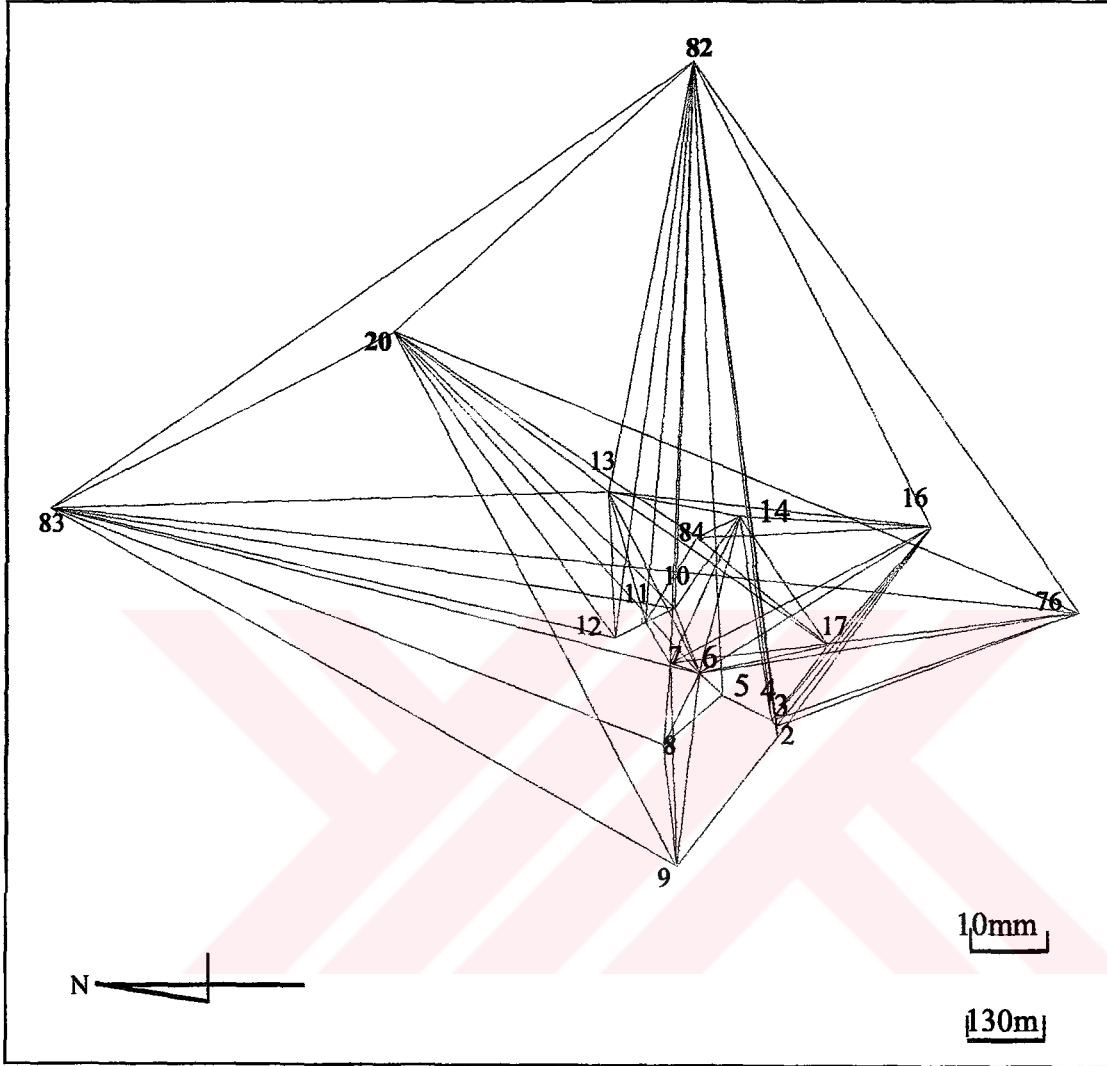
$$u = 2 \times 20 + 18 = 58$$

(P : Ağdaki nokta sayısı =20; z : alet kurulan nokta sayısı = 18)

Fazla ölçü sayısı: $f = n - u = 165 - 58 = 107$

Serbest ağ dengelemesinde: $f = n - u + d = 165 - 58 + 3 = 110$

(Doğrultu-kenar ağı için datum defekti : $d = 3$)



Şekil 5. Deformasyon ağı

2.2. Deformasyon Ölçülerinin Değerlendirilmesi

t_1 ve t_2 periyodu ölçüleri (1.5.1.) bölümünde anlatılan serbest ağı dengelemesine göre dengelenmiştir. (53) eşitliğine göre model hipotezinin testi yapılmış ve modeller bulunmuştur. (77) eşitliğine göre uyumsuz olan ölçüler ayıklanmış ve yeni ölçü kümesiyle dengeleme tekrar yapılmıştır. Dengeleme sonunda bulunan dengeli koordinatlar ve bunlara ait karesel ortalama hatalar Tablo 1' de verilmiştir.

t_1 ve t_2 periyotlarına ait deneysel varyansların eşdeğer olup olmadığı irdelenmiştir. t_1 periyodunda birim ölçünün ortalama hatası $m_{01} = 3.76^{cc}$, t_2 periyodunda $m_{02} = 4.30^{cc}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden yararlanarak test büyüklüğü (60) eşitliğine göre $T_U = 1.31$ olarak hesaplanmış ve yanılma olasılığı $\alpha = 0.05$ alınarak bulunan F- Tablo değeri ile karşılaştırılmıştır. $T_U < F_{110,110,1-\alpha} = 1.45$ olduğu için t_1 ve t_2 periyodu varyanslarının eşdeğer olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo1. Eylül 1998- Mayıs 1999 dönemlerine ait ölçülerin dengeleme sonuçları

EYLÜL 1998					MAYIS 1999				
No	x (m)	m _x (mm)	y (m)	m _y (mm)	No	x (m)	m _x (mm)	y (m)	m _y (mm)
2	44709.084	1.06	48063.148	1.68	2	44709.091	1.22	48063.149	1.93
3	44709.495	1.07	48082.077	1.18	3	44709.498	1.23	48082.084	1.35
4	44718.993	1.03	48091.948	0.84	4	44719.000	1.18	48091.953	0.96
5	44809.440	1.12	48133.020	0.73	5	44809.436	1.28	48133.037	0.84
6	44851.888	0.71	48169.928	0.58	6	44851.877	0.81	48169.939	0.66
7	44904.357	0.71	48186.667	0.66	7	44904.348	0.81	48186.670	0.75
8	44916.848	0.91	48051.946	1.51	8	44916.847	1.04	48051.949	1.73
9	44892.154	1.33	47847.753	1.79	9	44892.162	1.52	47847.749	2.04
10	44895.853	0.73	48278.824	0.89	10	44895.848	0.83	48278.825	1.01
11	44950.672	0.79	48255.468	0.81	11	44950.673	0.91	48255.476	0.92
12	45005.568	1.22	48230.133	1.04	12	45005.568	1.40	48230.131	1.19
13	45017.021	0.98	48472.246	1.02	13	45017.023	1.12	48472.238	1.17
14	44778.663	0.90	48432.399	0.90	14	44778.666	1.03	48432.391	1.03
16	44426.046	1.27	48415.392	1.38	16	44426.047	1.46	48415.385	1.58
17	44616.066	1.12	48216.954	0.92	17	44616.071	1.28	48216.950	1.05
20	45410.121	1.90	48739.484	1.80	20	45410.125	2.17	48739.478	2.06
76	44154.062	2.24	48271.894	2.10	76	44154.063	2.57	48271.887	2.40
82	44864.937	1.84	49189.745	1.87	82	44864.934	2.22	49189.745	2.14
83	46035.044	7.92	48443.283	1.70	83	46035.032	9.06	48443.274	1.95
84	44856.499	1.52	48395.693	1.06	84	44856.500	1.74	48395.694	1.21

2.3. θ^2 -Ölçütü İle Deformasyon Analizi

Hareket eden noktalar ve hareket büyüklüklerini belirlemek amacıyla (1.10.1.1.) bölümünde anlatılan θ^2 -Ölçütü yöntemi ile hesaplama yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 2’de görülmektedir. Tablo 2 ‘de, birinci sütunda ağ noktalarında hareket olup olmadığına karar verilen global test sonuçları verilmiştir. Bu sütunda R değeri (131) eşitliğinden, s_o^2 değeri (133) eşitliğinden, toplam serbestlik derecesi f (135) eşitliğinden, test büyüklüğü T (134) eşitliğinden hesaplanmıştır. Global test sonucunda hareket varsa, her nokta için R_i değerleri (142) eşitliğinden hesaplanmış ve 3. sütunda verilmiştir. 4. sütun olan karar bölümünde, R_i

değerlerinden en büyük (R_{max}) değerine sahip olan hareketli nokta ve hareket büyüklükleri verilmiştir.

Geri kalan noktalarla S-dönüşümü yapılarak 2. adıma geçilmiştir. Hareketli nokta kalmayınca kadar bu işleme devam edilmiştir.

Tablo 2. θ^2 -Ölçütü ile deformasyon analizi

1. ADIM				2. ADIM			
GlobalTest	No	R_i	KARAR	Global Test	No	R_i	KARAR
$R = 71311.42$ $s_o^2 = 16.44$ $f = 220$ $T = 117.26$ $F\text{-Tablo} = 1.48$ $T > F$ Deformasyon VAR	2	30011.28	$R_{MAX} = 128752.60$ Hareketli Nokta 6 $dx = -10.89 \text{ mm}$ $dy = 10.93 \text{ mm}$	$R = 64444.06$ $s_o^2 = 16.44$ $f = 220$ $T = 112.03$ $F\text{-Tablo} = 1.49$ $T > F$ Deformasyon VAR	2	23123.96	$R_{MAX} = 63849.47$ Hareketli Nokta 3 $dx = 3.00 \text{ mm}$ $dy = 7.82 \text{ mm}$
	3	59027.48			3	63849.47	
	4	1902.25			4	13013.98	
	5	39430.53			5	29262.63	
	6	128752.60			7	19436.36	
	7	39524.63			8	5802.71	
	8	6077.07			9	1055.64	
	9	1080.70			10	7032.92	
	10	983.08			11	25410.60	
	11	20086.69			12	3792.48	
	12	3226.69			13	953.69	
	13	1172.43			14	3492.46	
	14	3926.60			16	254.81	
	16	264.36			17	3093.99	
	17	3488.26			20	241.28	
	20	279.31			76	3169.00	
	76	3213.10			82	139.33	
82	124.36	83	269.03				
83	295.37	84	409.74				
84	550.19						
3. ADIM				4. ADIM			
GlobalTest	No	R_i	KARAR	Global Test	No	R_i	KARAR
$R = 48838.97$ $s_o^2 = 16.44$ $f = 220$ $T = 70.18$ $F\text{-Tablo} = 1.50$ $T > F$ Deformasyon VAR	2	461.52	$R_{MAX} = 30997.84$ Hareketli Nokta 5 $dx = -4.47 \text{ mm}$ $dy = 17.95 \text{ mm}$	$R = 242.46$ $s_o^2 = 16.44$ $f = 220$ $T = 47.67$ $F\text{-Tablo} = 1.52$ $T > F$ Deformasyon VAR	2	249.92	$R_{MAX} = 40163.27$ Hareketli Nokta 11 $dx = 0.10 \text{ mm}$ $dy = 9.91 \text{ mm}$
	4	3246.96			4	1526.61	
	5	3099.84			7	8356.55	
	7	20936.99			8	2094.20	
	8	6000.29			9	527.24	
	9	343.27			10	6338.04	
	10	7850.52			11	40163.27	
	11	28953.77			12	7271.47	
	12	4904.17			13	430.17	
	13	830.31			14	2295.36	
	14	2871.17			16	168.62	
	16	184.96			17	1827.71	
	17	1746.22			20	147.05	
	20	208.65			76	2.51	
	76	6.00			82	117.43	
	82	27.74			83	223.23	
	83	255.53			84	188.85	
84	300.71						

Tablo 2'nin devamı

5. ADIM				6. ADIM			
GlobalTest	No	R _i	KARAR	Global Test	No	R _i	KARAR
R = 7295.34 s _o ² =16.44 f = 220 T = 15.30 F-Tablo=1.54 T > F Deformasyon VAR	2	292.99	R _{MAX} =5556.82 Hareketli Nokta 7 dx = -9.49 mm dy = 5.64 mm	R = 4628.42 s _o ² =16.44 f = 220 T = 10.43 F-Tablo=1.56 T > F Deformasyon VAR	2	305.31	R _{MAX} =2491.96 Hareketli Nokta 10 dx = -5.76 mm dy = 4.31 mm
	4	1391.11			4	1558.40	
	7	5556.82			8	164.77	
	8	1939.51			9	467.48	
	9	597.97			10	2491.96	
	10	4756.55			12	180.34	
	12	49.34			13	218.12	
	13	340.98			14	1168.00	
	14	1346.40			16	102.96	
	16	132.90			17	1598.88	
	17	1912.62			20	13.28	
	20	19.68			76	0.85	
	76	0.14			82	137.58	
	82	167.42			83	173.55	
	83	254.16			84	10.02	
	84	17.96					
7. ADIM				8. ADIM			
GlobalTest	No	R _i	KARAR	Global Test	No	R _i	KARAR
R = 4012.50 s _o ² =16.44 f = 220 T = 9.76 F-Tablo=1.58 T > F Deformasyon VAR	2	225.50	R _{MAX} =1442.42 Hareketli Nokta 17 dx = 2.84 mm dy = -0.31 mm	R = 3699.22 s _o ² =16.44 f = 220 T = 9.78 F-Tablo=1.60 T > F Deformasyon VAR	2	282.13	R _{MAX} =1484.50 Hareketli Nokta 14 dx = 1.98 mm dy = -5.41 mm
	4	994.28			4	1107.67	
	8	487.20			8	481.54	
	9	425.89			9	466.51	
	12	158.65			12	118.68	
	13	194.48			13	155.50	
	14	1012.06			14	1484.50	
	16	97.30			16	187.04	
	17	1442.42			20	8.20	
	20	11.06			76	10.80	
	76	0.91			82	137.62	
	82	139.57			83	127.07	
	83	138.56			84	25.16	
	84	37.17					

Tablo 2'nin devamı

9. ADIM				10. ADIM			
GlobalTest	No	R _i	KARAR	Global Test	No	R _i	KARAR
R = 2422.52 $s_o^2 = 16.44$ f = 220 T = 7.02 F-Tablo = 1.63 T > F Deformasyon VAR	2	266.09	$R_{MAX} = 1072.73$ Hareketli Nokta 4 dx = 5.06 mm dy = 8.27 mm	R = 1762.11 $s_o^2 = 16.44$ f = 220 T = 5.49 F-Tablo = 1.66 T > F Deformasyon VAR	2	143.80	$R_{MAX} = 590.99$ Hareketli Nokta 9 dx = 6.79 mm dy = -0.50 mm
	4	1072.73					
	8	412.40					
	8	202.14					
	9	590.99					
	12	424.81					
	12	9.43					
	13	29.71					
	13	323.64					
	16	381.56					
	16	120.29					
	20	153.12					
	20	12.68					
	76	15.87					
	76	9.67					
82	6.27	dx = 5.06 mm	82	157.43	dx = 6.79 mm		
82	165.89	dy = 8.27 mm	83	123.95	dy = -0.50 mm		
83	168.66		84	141.51			
84	90.62						
11. ADIM				12. ADIM			
GlobalTest	No	R _i	KARAR	Global Test	No	R _i	KARAR
R = 1202.03 $s_o^2 = 16.44$ f = 220 T = 4.30 F-Tablo = 1.70 T > F Deformasyon VAR	2	573.88	$R_{MAX} = 573.88$ Hareketli Nokta 2 dx = 7.44 mm dy = 4.62 mm	R = 915.21 $s_o^2 = 16.44$ f = 220 T = 3.71 F-Tablo = 1.75 T > F Deformasyon VAR	8	215.43	$R_{MAX} = 407.54$ Hareketli Nokta 84 dx = 1.82 mm dy = 5.21 mm
	8	224.03					
	12	10.87					
	12	52.14					
	13	341.61					
	13	309.78					
	16	183.29					
	16	95.62					
	20	6.80					
	20	9.97					
	76	25.24					
	76	15.88					
	82	138.27					
	82	84.24					
	83	86.20			dx = 7.44 mm	83	
83	220.23	dy = 4.62 mm	84	407.54	dy = 5.21 mm		

Tablo 2'nin devamı

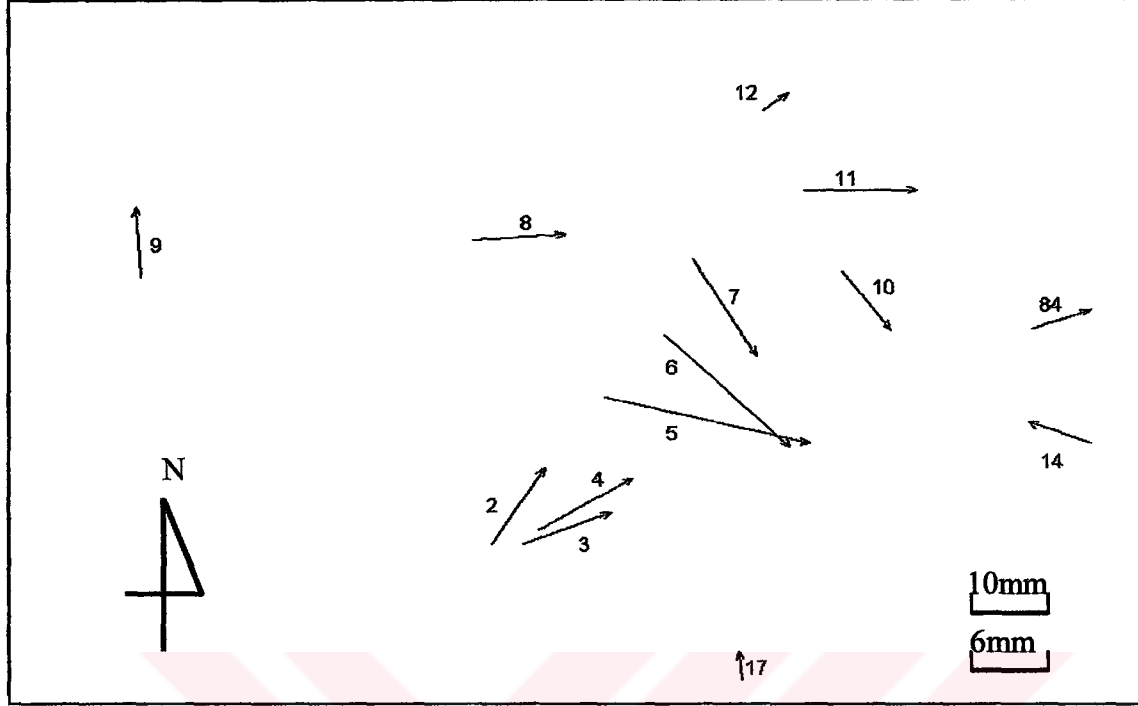
13. ADIM				14. ADIM			
GlobalTest	No	R _i	KARAR	Global Test	No	R _i	KARAR
R = 514.56 s _o ² =16.44 f= 220 T =2.41 F-Tablo=1.81 T > F Deformasyon VAR	8 12 13 16 20 76 82 83	179.03 313.06 65.58 112.83 77.43 63.74 31.13 27.03	R _{MAX} =313.06 Hareketli Nokta 12 dx= 1.69 mm dy=2.15mm	R =446.64 s _o ² =16.44 f= 220 T =2.47 F-Tablo=1.88 T > F Deformasyon VAR	8 13 16 20 76 82 83	364.26 17.31 129.10 101.94 78.88 29.15 16.53	R _{MAX} =364.26 Hareketli Nokta 8 dx= 0.62 mm dy= 8.03 mm
15. ADIM							
GlobalTest							
R =214.74 s _o ² =16.44 f= 220 T = 1.45 F-Tablo=1.98 T < F Deformasyon YOK							

15. adım sonunda 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 17, 84 noktalarının hareket ettiği belirlenmiştir. Bu noktalarda x ve y yönündeki hareket büyüklükleri de Tablo 2' nin karar bölümünde verilmiştir. Hareket belirlenen noktalarda x yönünde hesaplanan hareketler $-10.8 \text{ mm} \leq dx \leq 7.4 \text{ mm}$ sınırları içinde bulunmuştur. y yönünde ise $-5.4 \text{ mm} \leq dy \leq 18.0 \text{ mm}$ sınırları içerisinde hesaplanmıştır.

Noktalarda oluşan hareket büyüklükleri ve hareket doğrultuları,

$$d = \sqrt{dx^2 + dy^2} ; T_{\text{dog}} = \arctan \frac{dy}{dx}$$

eşitliklerinden hesaplanarak Şekil 6'da çizilmiştir.



Şekil 6. θ^2 -Ölçütü ile belirlenen hareketler

2.4. Genelleştirme Yöntemi ile Deformasyon Analizi

Bu bölümde genelleştirilmiş yöntem ile hareket eden noktalar ve hareket büyüklükleri (1.10.1.2.) bölümünde anlatıldığı biçimde hesaplanmıştır ve sonuçlar Tablo 3'de görülmektedir. Tablo 3 'de birinci sütunda ağ noktalarında hareket olup olmadığına karar verilen global test sonuçları verilmiştir. Bu sütunda R değeri (152) eşitliğinden, s_0^2 değeri (154) eşitliğinden, toplam serbestlik derecesi f (135) eşitliğinden, test büyüklüğü T (155) eşitliğinden hesaplanmıştır. Global test sonucunda hareket varsa, her nokta için R_{IH} değerleri (161) eşitliğinden hesaplanmış ve 3. sütunda verilmiştir. R_{IH} değerlerinden en küçük (R_{min}) değerine sahip olan noktanın hareket ettiğine karar verilmiş ve 4. sütun olan karar sütununda gösterilmiştir. Hareketsiz nokta kalıncaya kadar bu işlemler tekrar edilmiştir.

11. adım sonunda 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14 noktalarının hareket ettiği belirlenmiştir. Bu noktaların x ve y yönündeki hareket büyüklükleri Tablo 3'ün son kısmında verilmiştir.

Tablo 3. Genelleştirme yöntemi ile deformasyon analizi

1. ADIM				2. ADIM			
GlobalTest	No	R _{HHJ}	KARAR	Global Test	No	R _{HHJ}	KARAR
R =71452.09 $s_o^2 = 16.44$ f=220 T = 79.04 F-Tablo = 1.40 T > F Deformasyon VAR	2	64835.97	R_{min} =45098.47 Hareketli Nokta 3	R=45098.47 $s_o^2=16.44$ f= 220 T =38.65 F-Tablo=1.36 T > F Deformasyon VAR	2	44630.14	R_{min} =27366.62 Hareketli Nokta 11
	3	45098.47			4	42708.14	
	4	49723.56			5	39848.73	
	5	66201.19			6	38231.29	
	6	64584.39			7	35457.42	
	7	61815.76			8	42373.94	
	8	68727.44			9	43608.94	
	9	69732.87			10	34343.22	
	10	60696.28			11	27366.62	
	11	53719.14			12	36218.92	
	12	62572.92			13	44893.18	
	13	71248.07			14	43211.23	
	14	69869.39			16	44892.81	
	16	71402.32			17	44419.07	
	17	69516.36			20	45084.57	
	20	71438.62			76	44767.94	
	76	65999.87			82	45034.90	
82	71443.54	83	45069.23				
83	71422.898	84	43799.93				
84	70149.95						
3. ADIM				4. ADIM			
GlobalTest	No	R _{HHJ}	KARAR	Global Test	No	R _{HHJ}	KARAR
R = 27366.62 $s_o^2 = 16.44$ f= 220 T =24.85 F-Tablo=1.37 T > F Deformasyon VAR	2	26897.15	R_{min} = 18081.67 Hareketli Nokta 7	R = 18081.67 $s_o^2=16.44$ f= 220 T =16.92 F-Tablo =1.37 T > F Deformasyon VAR	2	17702.50	R_{min} =13161.04 Hareketli Nokta 5
	4	24973.44			4	15641.45	
	5	22114.24			5	13161.04	
	6	20769.21			6	16143.87	
	7	18081.67			8	16791.16	
	8	24716.69			9	16914.41	
	9	25937.84			10	16187.82	
	10	25800.65			12	18049.40	
	12	27321.12			13	17332.37	
	13	26871.62			14	16083.85	
	14	25248.33			16	17930.29	
	16	27165.67			17	17498.47	
	17	26676.82			20	18065.96	
	20	27354.51			76	17851.40	
	76	27033.37			82	18049.17	
	82	27308.36			83	18058.95	
	83	27336.955			84	16540.08	
84	25607.38						

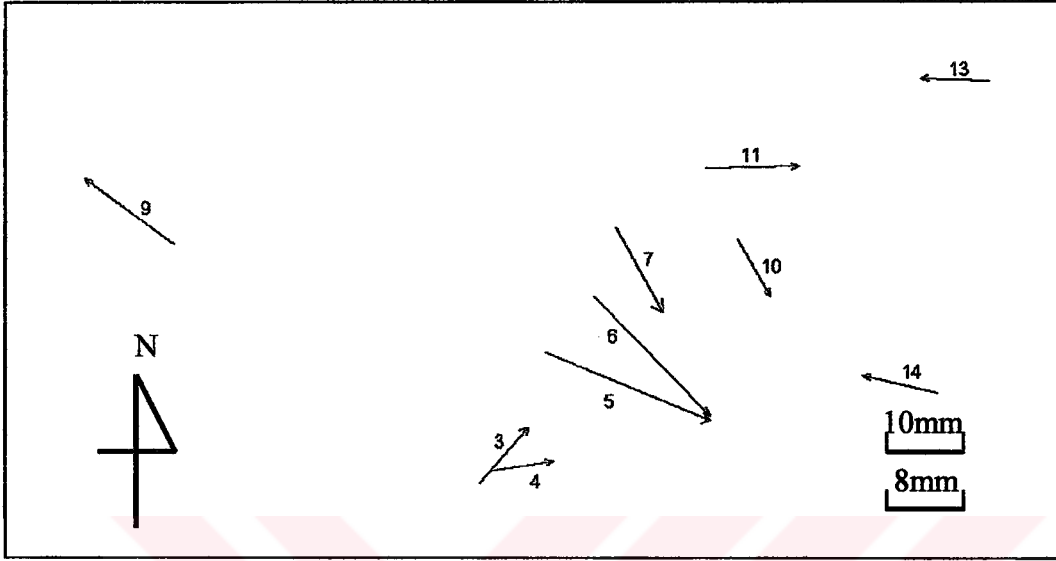
Tablo 3'ün devamı

5. ADIM				6. ADIM			
GlobalTest	No	R _{IHJ}	KARAR	Global Test	No	R _{IHJ}	KARAR
R = 13161.04 $s_o^2=16.44$ f = 220 T = 12.71 F-Tablo=1.38 T > F Deformasyon VAR	2	12772.53	R_{min} =4796.00 Hareketli Nokta 6	R = 4796.00 $s_o^2=16.44$ f = 220 T = 4.78 F-Tablo=1.38 T > F Deformasyon VAR	2	4435.82	R_{min} =3299.32 Hareketli Nokta 14
	4	12644.69			4	4228.07	
	6	4796.00			8	4435.79	
	8	12789.96			9	4150.50	
	9	12381.74			10	4180.12	
	10	11140.04			12	4755.00	
	12	13120.72			13	4541.38	
	13	12345.48			14	3299.32	
	14	11155.24			16	4729.95	
	16	13029.62			17	4504.20	
	17	12605.23			20	4790.18	
	20	13146.14			76	4741.15	
	76	12954.30			82	4771.51	
	82	13151.18			83	4694.56	
	83	13060.77			84	3363.03	
	84	11584.36					
7. ADIM				8. ADIM			
GlobalTest	No	R _{IHJ}	KARAR	Global Test	No	R _{IHJ}	KARAR
R = 3299.32 $s_o^2=16.44$ f = 220 T = 3.40 F-Tablo=1.39 T > F Deformasyon VAR	2	2966.39	R_{min} =2505.79 Hareketli Nokta 13	R = 2505.79 $s_o^2=16.44$ f = 220 T = 2.67 F-Tablo=1.39 T > F Deformasyon VAR	2	2200.83	R_{min} =1848.35 Hareketli Nokta 9
	4	2906.46			4	2217.66	
	8	2985.86			8	2207.45	
	9	2647.96			9	1848.35	
	10	2734.38			10	2144.09	
	12	3269.34			12	2412.18	
	13	2505.79			16	2464.75	
	16	3243.59			17	2325.49	
	17	3141.96			20	2467.29	
	20	3293.23			76	2481.95	
	76	3260.29			82	2492.78	
	82	3273.63			83	2296.37	
	83	3223.66			84	2322.86	
	84	2934.98					

Tablo 3'ün devamı

9. ADIM				10. ADIM			
GlobalTest	No	R _{IHL}	KARAR	Global Test	No	R _{IHL}	KARAR
R =1848.35 $s_o^2 = 16.44$ f =220 T = 2.04 F-Tablo=1.40 T > F Deformasyon VAR	2	1628.44	$R_{min} = 1482.99$ Hareketli Nokta 10	R=1482.99 $s_o^2 = 16.44$ f = 220 T =1.70 F-Tablo=1.41 T > F Deformasyon VAR	2	1251.89	$R_{min} = 988.40$ Hareketli Nokta 4
	4	1602.68			4	988.40	
	8	1836.29			8	1374.46	
	10	1482.99			12	1404.37	
	12	1756.88			16	1423.98	
	16	1799.09			17	1312.88	
	17	1647.62			20	1453.34	
	20	1807.28			76	1444.61	
	76	1820.12			82	1437.22	
	82	1830.00			83	1391.10	
	83	1691.43			84	1346.16	
	84	1681.26					
	11. ADIM				Deformasyon Büyüklükleri		
GlobalTest	No	R _{IHL}	KARAR	No	dx (mm)	dy(mm)	
R = 988.40 $s_o^2 = 16.44$ f = 220 T =1.18 F-Table=1.41 T < F Deformasyon YOK				4	1.02	6.56	
				10	-6.20	3.66	
				9	7.19	-9.69	
				13	0.27	-7.58	
				14	1.80	-8.16	
				6	-13.01	12.63	
				5	-7.45	17.88	
				7	-9.20	5.03	
				11	0.16	10.10	
				3	3.65	7.07	

Noktalarda oluşan hareket büyüklükleri ve hareket doğrultusu hesaplanmış ve Şekil 7'de çizilmiştir.



Şekil 7. Genelleştirme yöntemi ile belirlenen hareketler

2.5. Bağlı Güven Elipsleri İle Deformasyon Analizi

Bu yöntemin uygulanması için öncelikler ortak noktalar için ortalama koordinat duyarlılığı, Tablo 1' de verilen koordinatların ortalama hatalarından yararlanarak (165)' e göre hesaplanmıştır. Daha sonra t_1 ve t_2 periyotlarının Tablo1' de verilen dengeli koordinatlardan yararlanarak benzerlik dönüşümü yapılmış ve dönüşümün artık hataları (v_{xj} , v_{yj}) hesaplanmıştır. Referans ve obje noktalarının belirlenmesi için dönüşüm artıklarından yararlanarak test büyüklüğü (167)' ye göre hesaplanmıştır. Ağ univaryat bir ağ olduğu için her iki periyotta ortak noktalar ağın tüm noktaları olduğundan (168)' deki ortak nokta sayısı $s=20$ olarak alınmıştır. Bu istatistik testin sonucunda 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 76, 82, 84 nolu noktalar obje noktası, 12, 17, 20, 83 nolu noktalar referans noktası olarak belirlenmiştir. Bu test ile ilgili sonuçlar Tablo 4' de verilmektedir.

Tablo 4. Referans ve obje noktaların testi

No	v_x (mm)	v_y (mm)	t_x	t_y	t-Tablo	Karar
2	-3.11	-2.65	1.92	1.03	1.69	Obje Noktası
3	0.75	-8.88	0.46	4.96	1.69	Obje Noktası
4	-2.30	-6.97	1.47	5.46	1.69	Obje Noktası
5	7.66	-18.97	4.50	16.93	1.69	Obje Noktası
6	14.28	-13.27	13.28	15.09	1.69	Obje Noktası
7	11.71	-5.43	10.83	5.42	1.69	Obje Noktası
8	3.76	-4.55	2.73	1.98	1.69	Obje Noktası
9	-5.15	4.12	2.56	1.52	1.69	Obje Noktası
10	7.47	-4.39	6.74	3.26	1.69	Obje Noktası
11	1.83	-10.89	1.52	8.88	1.69	Obje Noktası
12	1.67	-0.23	0.90	0.15	1.69	Referans Noktası
13	0.78	4.35	0.53	2.80	1.69	Obje Noktası
14	0.59	4.66	0.44	3.42	1.69	Obje Noktası
16	5.57	3.09	2.87	1.47	1.69	Obje Noktası
17	0.39	1.39	0.23	0.99	1.69	Referans Noktası
20	-4.14	-0.98	1.44	0.36	1.69	Referans Noktası
76	7.48	4.44	2.19	1.39	1.69	Obje Noktası
82	6.37	-9.40	2.27	3.31	1.69	Obje Noktası
83	6.38	4.35	0.53	1.68	1.69	Referans Noktası
84	2.35	-5.20	1.02	3.22	1.69	Obje Noktası

Referans ve obje noktaları belirlendikten sonra (169) ve (170)'deki dengeleme modeline göre toplu dengeleme yapılmıştır. Dengeleme sonucunda obje noktalarındaki fark vektörleri ve bunların ters ağırlık matrisi sırasıyla (171) ve (172)'ye göre hesaplanmıştır. Objeye noktalara ait fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisinin alt matrisleri her nokta için ilgili değerleri içermektedir. Buradan obje noktalarındaki fark vektörlerinin deformasyon vektörü olarak kabul edilip edilmeyeceğini belirleyebilmek için (174)'e göre sıfır hipotezi kurulmuş ve bunun testi için (175)'e göre test değeri (T_i) hesaplanmıştır. $T_i > F_{2,220,0.95}$ olan obje noktalarının hareket ettiğine karar verilmiştir. Bu yöntemle 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 82, 84 numaralı noktaların hareket ettiği belirlenmiştir. Hareketli noktalar ve hareket büyüklükleri Tablo 5'de görülmektedir.

Tablo 5. Bağıl güven elipslerine göre hareket ettiği belirlenen noktalar ve hareket büyüklükleri

No	dx (mm)	dy (mm)
2	4.68	4.12
3	0.79	10.42
4	3.24	7.91
5	-6.66	20.05
6	-13.54	14.25
7	-11.21	6.33
8	-3.23	6.16
9	6.01	-1.06
10	-7.18	4.57
11	1.74	11.22
14	0.08	-4.82
82	-7.90	3.67
84	-2.31	5.23

Bu yöntemin grafik yorumu için, her noktaya ait fark vektörünün büyüklüğü ve doğrultusu (176)' ya göre hesaplanmıştır. Daha sonra her nokta için bağıl güven elipsinin elemanları (86), (87), (88), (89), (90), (91), (92)' ye göre hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 6' da verilmektedir.

(1.10.1.3.) başlığı altında anlatılan çizim yöntemlerinden birincisi uygulanarak ağ noktalarındaki güven elipsleri çizilmiştir. Aynı ölçekte nokta başlangıç olmak üzere doğrultuya göre deformasyon büyüklükleri Şekil 8'de görüldüğü gibi çizilmiştir. Deformasyon büyüklüğünün elipsin dışına çıktığı 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 82, 84 numaralı noktalarda, hareket olduğuna görsel olarak da karar verilmiştir.

Tablo 6. Obje noktalarındaki fark vektörleri ve bağıl güven elipsleri elemanları

No	Fark Vektörü		Bağıl Güven Elipsi Elemanları		
	df _i (mm)	T _{dog} (g)	A _G (mm)	B _G (mm)	θ (g)
2	6.43	48.1358	3.370	1.936	249.7227
3	10.45	95.1560	2.776	2.261	200.4679
4	8.55	75.2316	3.209	2.077	206.6141
5	21.13	120.4236	3.966	2.924	50.9332
6	19.62	148.4768	1.535	1.374	147.9003
7	12.872	167.2532	1.654	0.985	116.7087
8	6.955	130.7023	4.720	2.808	352.8019
9	6.104	388.9047	6.256	3.332	23.1177
10	8.510	163.9159	5.223	2.320	170.5826
11	11.358	90.2053	8.658	3.758	198.9856
13	4.488	288.6319	7.858	3.214	28.0778
14	4.833	301.0565	2.632	1.212	344.8156
16	4.764	264.0687	5.146	3.824	111.1698
76	6.009	277.5695	7.253	4.427	167.1351
82	8.713	172.3421	11.230	3.550	383.4464
84	5.722	126.4733	4.084	2.295	372.8414



Şekil 8. Obje noktalarındaki fark vektörleri ve bağıl güven elipsleri

2.6. Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi İle Deformasyon Analizi

Bu yöntemde ağıın tasarımında sabit zeminde tesis edilen ve diğer analiz yöntemlerinde de deformasyon bulunamayan 20, 76, 82, 83 nolu noktalar, referans noktaları olarak kabul edilmiştir. Sabit kabul edilen bu noktalar için (180) ve (181)'e göre fark vektörleri ve bunların ters ağırlık matrisleri hesaplanmıştır. Referans noktalarının test edilmesi için (182)'ye göre sıfır hipotezi kurulup, test büyüklüğü (190) 'a göre $T_1 = 1.79$ olarak hesaplanmıştır. $T_1 < F_{8,110,0.95} = 2.05$ olduğundan referans noktalarında hareket olmadığı kararına varılmıştır. 20, 76, 82, 83 nolu noktalar referans noktaları olarak alınmıştır. Geriye kalan noktalar obje noktaları olarak alınarak bunların testi yapılmıştır.

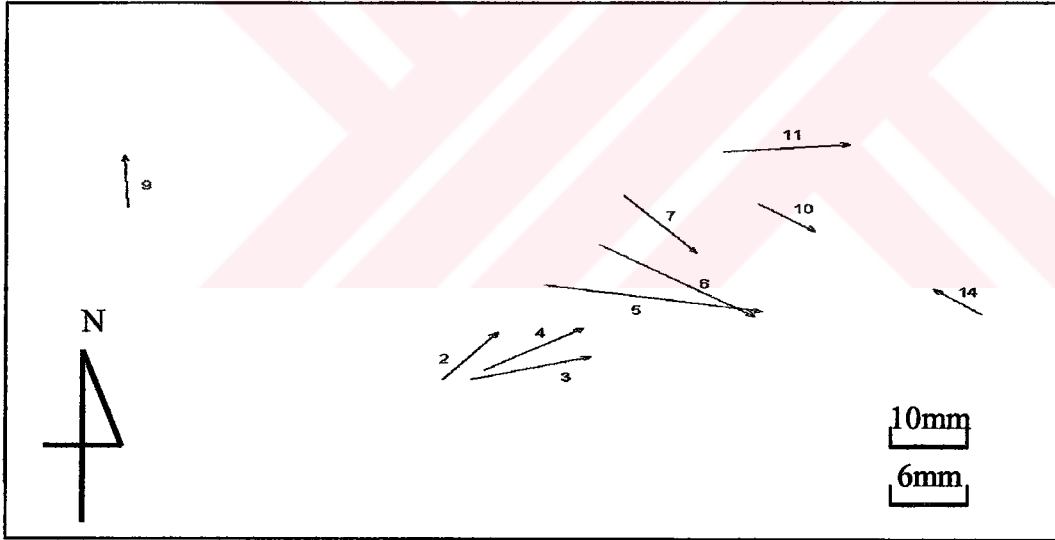
Obje noktalarının testi için (193) ve (194)' ye göre toplu dengeleme yapılarak obje noktaları için fark vektörleri ve buna ait ters ağırlık matrisi sırasıyla (195) ve (196)' ya göre hesaplanmıştır. Buradan (200)' e göre test büyüklüğü $T_2 = 128.48$ olarak hesaplanmıştır. $T_2 > F_{32,110,0.95} = 1.02$ olduğundan obje noktalarının birinin ya da bir kaçının hareket ettiğine karar verilmiştir.

Koordinat farkları vektörü korelasyonlu olduğundan teker teker anlamlılık testine tabi tutulamazlar, bu nedenle d vektörü elemanları korelasyonsuz başka vektöre dönüştürülmelidir. d vektörünün ağırlık matrisi, (206), (207), (208), (209) 'a göre hesaplan üst üçgen matrisi C yardımıyla (202)' ye göre hesaplanmıştır. (213)' e göre hesaplanan r değerlerinin (216)' ya göre kareleri alınarak hesaplandığı q_i , değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak (217)' ye göre her nokta için T test değeri bulunmuştur. Objeye noktalarında deformasyon olup olmadığını belirlemek için sıfır hipotezi (218)' e göre kurulmuştur. Test sonucunda 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 14 nolu noktalarda hareket olduğuna karar verilmiştir.

Bu yöntem ile ilgili hesaplanan değerler Tablo 7' de görülmektedir. Noktalarda oluşan hareket büyüklükleri ve hareket doğrultusu hesaplanmış ve Şekil 9'da çizilmiştir.

Tablo 7. Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemi ile deformasyon analizi

No	$d_x(\text{mm})$	$d_y(\text{mm})$	$r_x(\text{mm})$	$r_y(\text{mm})$	$q=r^T r$	Test	Tablo	Karar
12	0.80	1.78	-3.36	3.45	23.25	0.68	9.43	Sabit
16	1.61	-2.46	-4.32	-6.13	56.18	1.65	9.23	Sabit
17	4.90	0.40	5.94	-7.25	87.84	2.58	9.02	Sabit
84	1.52	5.26	4.93	8.65	99.03	2.90	8.80	Sabit
13	1.48	-4.73	-1.88	-12.45	158.56	4.65	8.56	Sabit
8	-1.06	7.31	-12.28	7.77	211.09	6.19	8.31	Sabit
9	7.72	-0.36	17.51	-6.03	342.94	10.06	8.04	Hareketli
14	3.75	-4.71	-10.93	-36.58	1457.38	42.74	7.75	Hareketli
5	-3.95	21.23	23.56	48.34	2891.98	84.81	7.43	Hareketli
4	6.34	9.60	45.38	-37.31	3451.34	101.22	7.08	Hareketli
7	-8.72	7.08	-60.00	8.79	3677.68	107.86	6.70	Hareketli
2	7.17	5.29	80.60	10.21	6600.25	193.57	6.26	Hareketli
10	-4.22	5.59	-70.57	-47.04	7193.66	210.97	5.75	Hareketli
11	1.06	12.21	61.04	79.07	9976.93	292.60	5.13	Hareketli
6	-10.89	15.13	-95.89	74.16	14695.17	430.97	4.34	Hareketli
3	3.37	11.66	-139.49	18.66	19806.84	580.89	3.18	Hareketli



Şekil 9. Cholesky yöntemi ile belirlenen hareketler

3. BULGULAR

Uygulama ağı, bir bakır madeninde oluşan hareketleri belirlemek amacı ile kurulmuş bir ağıdır. Noktalar tam galeri üzerinde ve çevresinde olmak üzere tesis edilmiştir. Şekil 5'de de görülebileceği gibi galeri üzerinde tesis edilen noktalar 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 17, 84 nolu noktalardır ve bu noktalarda hareket beklenmektedir.

θ^2 - ölçütü ile deformasyon analizinde sırasıyla 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 17, 84 nolu noktalarda hareket olduğu saptanmıştır. Deformasyon vektörünün, maksimum büyüklüğü 6 nolu noktada $d = 15.43$ mm; minimum büyüklüğü 12 nolu noktada, $d = 2.74$ mm olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi θ^2 - ölçütü ile deformasyon analizinde hareket beklentisi olan bütün noktalarda hareket saptanmıştır. 12 ve 17 nolu noktalardaki deformasyon vektörünün büyüklüğü 2 mm civarında hesaplanmıştır.

Genelleştirme yöntemi ile deformasyon analizinde 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14 nolu noktalarda hareket olduğu belirlenmiştir. Deformasyon vektörünün, maksimum büyüklüğü 5 nolu noktada $d = 19.37$ mm, minimum büyüklüğü 4 nolu noktada $d = 6.64$ mm olarak belirlenmiştir.

Bağıl güven elipsleri ile deformasyon analizinde 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 82, 84 nolu noktalarda hareket olduğu belirlenmiştir. Deformasyon vektörünün, maksimum büyüklüğü 5 nolu noktada $d = 21.13$ mm; minimum büyüklüğü 14 nolu noktada $d = 4.83$ mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca sabit nokta olarak alınan 82 nolu nokta da deformasyon noktası olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi ölçü sınırlarına yakın hataların deformasyon olarak ölçü sonuçlarını etkilemesidir.

Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemi ile deformasyon analizinde 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 14 nolu noktalarda hareket olduğu belirlenmiştir. Deformasyon vektörünün, maksimum büyüklüğü 5 nolu noktada $d = 21.59$ mm; minimum büyüklüğü 14 nolu noktada $d = 6.02$ mm olarak belirlenmiştir.

Hesaplama yapılan bütün yöntemlerde hareket ettiği saptanan noktalar ve hareket büyüklükleri toplu olarak Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Statik değerlendirme yöntemleri ile hesaplanan hareketli noktalar ve hareket büyüklükleri

No	θ^2 -Ölçütü yöntemi		Genelleştirme yöntemi		Bağlı güven elipsi yöntemi		Cholesky yöntemi	
	dx (mm)	dy (mm)	dx (mm)	dy (mm)	dx (mm)	dy (mm)	dx (mm)	dy (mm)
2	7.44	4.62			4.68	4.12	7.17	5.29
3	3.00	7.82	3.65	7.07	0.79	10.42	3.37	11.66
4	5.06	8.27	1.02	6.56	3.24	7.91	6.34	9.60
5	-4.47	17.95	-7.45	17.88	-6.66	20.05	-3.95	21.23
6	-10.89	10.93	-13.01	12.63	-13.54	14.25	-10.89	15.13
7	-9.49	5.64	-9.20	5.03	-11.21	6.33	-8.72	7.08
8	0.62	8.03			-3.23	6.16		
9	6.79	-0.50	7.19	-9.69	6.01	-1.06	7.72	-0.36
10	-5.76	4.31	-6.20	3.66	-7.18	4.57	-4.22	5.59
11	0.10	9.91	0.16	10.10	1.74	11.22	1.06	12.21
12	1.69	2.15						
13			0.27	-7.58				
14	1.98	-5.41	1.80	-8.16	0.08	-4.82	3.75	-4.71
16								
17	2.84	-0.31						
20								
76								
82					-7.90	3.67		
83								
84	1.82	5.21			-2.31	5.23		

Galeri üzerinde bulunan 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 17, 84 noktalarında hareket beklentisi vardır. Tablo 8'e bakıldığında;

2 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Bağlı güven elipsi, Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemleriyle hareket belirlendiği,

3 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Genelleştirme yöntemi, Bağlı güven elipsi, Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemlerinin hepsinde hareket belirlendiği,

4 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Genelleştirme yöntemi, Bağlı güven elipsi, Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemlerinin hepsinde hareket belirlendiği,

5 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Genelleştirme yöntem, Bağlı güven elipsi, Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemlerinin hepsinde hareket belirlendiği,

6 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Genelleştirme yöntemi, Bağlı güven elipsi, Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemlerinin hepsinde hareket belirlendiği,

7 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Genelleştirme yöntemi, Bağlı güven elipsi, Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemlerinin hepsinde hareket belirlendiği,

8 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Bağlı güven elipsi, yöntemlerinin hepsinde hareket belirlendiği,

9 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Genelleştirme yöntemi, Bağlı güven elipsi, Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemlerinin hepsinde hareket belirlendiği,

10 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Genelleştirme yöntemi, Bağlı güven elipsi, Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemlerinin hepsinde hareket belirlendiği,

11 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Genelleştirme yöntemi, Bağlı güven elipsi, Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemlerinin hepsinde hareket belirlendiği,

12 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü yönteminde hareket belirlendiği,

13 numaralı noktada, Genelleştirme yönteminde hareket belirlendiği,

14 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Genelleştirme yöntemi, Bağlı güven elipsi, Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemlerinin hepsinde hareket belirlendiği,

17 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü yönteminde hareket belirlendiği,

82 numaralı noktada, Bağlı güven elipsi yönteminde hareket belirlendiği,

84 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Bağlı güven elipsi yöntemlerinde hareket belirlendiği görülmektedir.

Bu noktaların x ve y yönündeki hareket yönlerinin aynı olduğu hareket büyüklüklerinin de yaklaşık eşit olduğu görülmektedir.

4. İRDELEME

Çalışmanın amacı, jeodezik deformasyon analizinde kullanılan statik değerlendirme yöntemlerini teorik ve uygulamalı olarak inceleyerek, bu yöntemlerin birbirlerine göre karşılaştırmasını yapmaktır. Böylece statik modellerle deformasyon belirlenmesi yapmak isteyen uygulayıcıya kullanılması en gereken en uygun statik yöntem önerilmek istenmektedir. Çalışmada, uygulamada en çok kullanılan θ^2 -Ölçütü, Genelleştirme yöntemi, Bağlı güven elipsi, Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemleri incelenmiştir. Bir bakır madeninde oluşan hareketleri belirlemek amacıyla galeri çevresini kapsayacak şekilde kurulan ağda yapılan doğrultu ve kenar ölçüleri veri olarak alınmıştır. Bu veriler kullanılarak ağ noktalarında oluşan yatay hareketler, yukarıda adı geçen statik deformasyon modelleri ile belirlenmiştir.

θ^2 -Ölçütü ile hareket eden noktaların ve hareket büyüklüklerinin belirlenmesi kolaydır. Bu yöntem, ele alınan yöntemler içinde, programlamaya uygun olması ve daha kısa sürede sonuç alınması nedeniyle en uygun yöntem olduğu söylenebilir. θ^2 -Ölçütü kolaylıkla hesaplanmasına karşın, bu yöntemde konum değişikliği rasgele ölçü hataları sınırı içinde kalan noktalar da hareketli nokta olarak saptanmaktadır. Ayrıca, nokta sayısının az olduğu ağlarda, özellikle serbest ağ dengelemesinde ağda sabit nokta yoksa değişim gösteren noktalar teker teker ayıklanırsa en son noktalarda hareket varsa bile, ağın sebestlik derecesi kadar elemana sahip noktaların irdelenmesi yapılamamaktadır. Sayısal uygulamada θ^2 -Ölçütünün ayırma gücü, diğer yöntemlere göre daha fazla olduğundan söz konusu yöntem ile diğer yöntemlere göre daha çok hareketli nokta belirlenmiştir.

Genelleştirme yöntemi, ağ noktalarının bir bölümünde daha başlangıçta deformasyon olduğundan kuşku duyulduğu durumlarda kullanılabilir. Verilerin genelleştirme yöntemine göre düzenlenmesi ve toplu dengeleme modelinin kurulması oldukça zor olmasına karşın bu yöntem istatistiksel yönden güvenli sonuçlar verir. Genelleştirme yönteminin ayırma gücü az olduğundan sayısal uygulamada daha az hareketli nokta saptanmıştır.

Bağlı güven elipsi yönteminde de irdelenecek olan iki periyoda ilişkin verilerin oluşturduğu ağları birbirine bağlamak için geçen zaman aralığında konum değiştirmemiş sabit noktaların olması gerekir. Yani ağda sabit ve hareket kuşkusu olan noktaların başlangıçta bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu yöntemle hareket eden noktaları ve hareket

büyükliklerini belirlemek teorik olarak zor değildir. Fakat bilgisayar programlamasına uygun bir yöntem değildir. Bağlı güven elipsini yönteminde ağıın sabit noktalarının araştırılmasında benzerlik dönüşümü yapılması gerekir. Burada en önemli sorun, Helmert benzerlik dönüşümünden yararlanırken, en az iki ortak nokta olmalıdır. Yapılan uygulamada 20 ortak nokta vardır. Deformasyon analizi yapılırken irdelenecek olan iki periyotta en az dengelenen ağıın boyutu kadar konumu değişmemiş noktanın bulunması gerekir. Bu sayıyı aşan çok sayıda ortak nokta varsa, bu noktaların içinde tablo değerine yakın test değeri veren noktalar da obje noktası olarak düşünülebilir. Noktalarda bir değişim olmasa bile daha sonra tek tek irdeme sırasında yeniden test edildiklerinden, tekrar hareketsiz nokta olarak elde edilirler. Bu yöntemin üstün bir özelliği, sonuçların grafik olarak görülebilmesi; hareket eden noktalar ve hareket büyüklüklerinin görsel olarak yorumlanabilmesidir.

Cholesky çarpanlarına ayırma yönteminin uygulanması, ağda sabit ve hareketli noktalar başlangıçta biliniyorsa en iyi yöntemlerden biri olarak adlandırılabilir. Bu yöntemde sabit kabul edilen noktaların hareket edip etmedikleri test edilir. Sabit kabul edilen noktalar içinde hareket eden noktalar var ise hesaplama işlemi uzamaktadır. Programlamaya uygun bir yöntemdir. Bu yöntemin diğer yöntemlerden üstün yanı korelasyonsuz fark vektörü ile hareket analizi yapmasıdır. Cholesky ayrışımından sonra noktaların test edilmesinde ortaya çıkacak öncelik sorununa çözüm olmak üzere her nokta için değişken signifikans düzeyi kullanılmaktadır. Noktaların yöntem içinde ayrılamamasındaki güçlük, bu metodun zayıf tarafını oluşturmaktadır. Başka bir deyişle ağ iki bölüm halinde verilebiliyorsa, Cholesky yöntemiyle, ölçülerdeki korelasyonlar saf dışı bırakılarak irdeme yapmak olasıdır.

θ^2 - Ölçütü, bu yöntemler içinde programlamaya en uygun yöntemdir. Bu yöntemin ayırma gücü diğer yöntemlere göre daha fazla olduğundan rasgele ölçü hataları içindeki hareketler deformasyon olarak yorumlanır. Hayati önem taşıyan uygulamalarda bu yöntemin uygulanması diğer yöntemlere göre daha güvenilirdir. Elde edilen sonuçlar diğer yöntemlere göre daha güvenilirdir. Genelleştirme yöntemi, θ^2 - Ölçütü' ne göre uygulanması daha zordur. Çünkü, Genelleştirme yönteminde toplu dengeleme modelinin kurulması zordur ve her adımda yeni bir dengeleme işlemi yapılması gerekir. θ^2 - Ölçütünde ise yeni bir dengeleme işlemi yapılmasına gerek kalmamaktadır. Bunun yerine her adımda S-dönüşümü yapılmaktadır. Ağ noktalarının bir bölümünde daha başlangıçta deformasyon olduğu biliniyorsa genelleştirme yöntemi uygulanabilir ve istatistik olarak da

güvenli sonuçlar verir. Bağlı güven elipsi yöntemi programlamaya uygun değildir. Sözü edilen yöntemin diğer yöntemlere göre üstünlüğü yorumlamanın grafik verilerden yapılması ve görsel olmasıdır. Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemi ile deformasyon analizinde, sabit ve hareketli noktalar başka bir yoldan elde edilip, ağ iki bölüm halinde ele alınabilirse, çok kullanışlı bir yöntemdir. Sonuçların hayati derecede önemli olduğu bir çalışma için, sırasıyla θ^2 - Ölçütü, Genelleştirme yöntemi ya da Bağlı Güven Elipsleri kullanılabilir. Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemi ise, bu yöntemlerin üzerine sonuçları tamamlayıcı bir yöntem olarak uygulanabilir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, herhangi bir bölge ya da binada oluşan hareketleri, jeodezik deformasyon ağı yöntemini kullanarak statik yöntemlerle belirlemek ve bu yöntemleri karşılaştırarak varılan kararlarla uygulayıcıya yararlı olunmak istenmiştir. Teorik çalışma ve sayısal uygulamalar sonucunda uygulanması gereken işlem adımları için yapılan öneriler şunlardır:

- Herhangi bir bölgede ya da binada oluşan hareketleri jeodezik olarak belirleyebilmek için öncelikle objeyi ve çevresini iyi temsil eden bir deformasyon ağı kurulmalıdır. Çok küçük değerlerin belirlenmesi amaçlandığından ağın optimizasyonu yapılmalı, ölçülerde duyarlı aletler ve uygun ölçü yöntemi kullanılmalıdır.

- Ağda değişik periyotlarda ölçüler yapılmalıdır. Bu ölçülerden uyumsuz olan ölçüler, belirlenmeli ve serbestlik ölçütlerine bakılarak ayıklanmalı veya yinelenmelidir. Her periyotta uyumlu bulunan ölçüler, dengelenerek dengeli koordinatlar ve varyans-kovaryans matrisleri hesaplanmalıdır.

- İki periyottan elde edilen verilerin topluca değerlendirilebilmesi için bu periyotlardaki veriler arasında datum uyumunun sağlanması zorunludur.

- Karşılaştırılan periyotlarda, uyumsuz ölçünün bulunmaması, dengelemenin stokastik modelinin tam olması ve her iki periyodun deneysel varyanslarının istatistiksel anlamda uyumlu olmaları gerekir. Aksi halde, yanıltıcı sonuçlarla karşılaşılır.

- Geçen zaman içinde hareket olup olmadığını belirlemek için uygun bir deformasyon modeli ve bu model içinden uygun bir yöntem ile hareketler belirlenmelidir.

Yapılan bu çalışmada, uygulamada en çok kullanılan θ^2 - Ölçütü, Genelleştirme Yöntemi, Bağlı Güven Elipsi ve Cholesky Çarpanlarına Ayırma Yöntemi teorik ve uygulamalı olarak incelenmiştir.

- θ^2 -Ölçütü, ele alınan yöntemler içinde, programlamaya uygun bir yöntemdir. Bu yöntemle daha kısa sürede sonuç elde edilir. Konum değişiklikleri rasgele ölçü hataları sınırı içinde kalan noktalar, bu yöntemde hareketli noktalar olarak belirlenebilmektedir. Bu

yöntemde, tüm noktalar hareketli kabul edilmiş ise değişim gösteren noktalar teker teker ayıklanırken en son noktalarda hareket varsa bile, ağın sebestlik derecesi kadar elemana sahip noktaların irdelenmesi yapılamamaktadır. Bu yöntemin ayırma gücü, diğer yöntemlere göre daha fazla olduğundan söz konusu yöntem ile daha çok hareketli nokta belirlenmiştir.

- Genelleştirme yöntemi ile deformasyonların belirlenmesi, ağ noktalarının bir bölümünde daha başlangıçta deformasyon bulunduğundan kuşku duyulduğu durumlarda yapılabilir. Genelleştirme yöntemine göre verilerin düzenlenmesi ve toplu dengeleme modelinin kurulması oldukça zor olmasına karşın bu yöntem istatistiksel yönden güvenli sonuçlar verir.

- Bağlı güven elipsi yönteminde de sabit ve hareket kuşkusuna olan noktaların başlangıçta bilinmesine ihtiyaç vardır. Bağlı güven elipsinin en büyük sakıncası, ağın sabit noktaları araştırılırken bir benzerlik dönüşümü dengelemesine gerek duyulmasıdır. İrdelenecek olan iki periyotta en az dengelenen ağın boyutu kadar konumu değişmemiş noktanın bulunması gerekir. Bu sayıyı aşan çok sayıda ortak nokta varsa, bu noktaların içinde test sınırına yakın değerler verenlerde obje noktası olarak düşünülebilir. Noktalarda bir değişim olmasa bile daha sonra tek tek irdeleme sırasında yeniden test edildiklerinden, tekrar hareketsiz nokta olarak elde edilirler. Sözü edilen yöntem, programlama açısından uygun değildir. Bu yöntemin üstün bir özelliği, sonuçların grafik olarak görülebilmesi; hareket eden noktalar ve hareket büyüklüklerinin görsel olarak yorumlanabilmesidir.

- Cholesky çarpanlarına ayırma yönteminin uygulanması, ağda sabit ve hareketli noktalar başlangıçta biliniyorsa en iyi yöntemlerden biri olarak adlandırılabilir. Sözü edilen yöntem, programlamaya uygun bir yöntemdir. Bu yöntemin diğer yöntemlerden üstün yanı korelasyonsuz fark vektörü ile hareket analizi yapmasıdır. Cholesky ayrışımından sonra noktaların test edilmesinde ortaya çıkacak öncelik sorununa çözüm olmak üzere her nokta için değişken signifikans düzeyi kullanılmaktadır. Ağ iki bölüm halinde verilebiliyorsa, yani sabit ve hareketli noktalar başlangıçta bilinebiliyorsa Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemiyle, ölçülerdeki korelasyonlar saf dışı bırakılarak irdeleme kolaylıkla yapılabilir.

Sayısal uygulamada galeride oluşan hareketlerin belirlenmesi amacıyla kurulan deformasyon ağı (Şekil 5) kullanılmıştır. Ağ noktaları, galeri üzeri ve çevresini kapsamaktadır. Şekil 5’de de görülebileceği gibi tam galeri üzerinde tesis edilen noktalar 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 17, 84 nolu noktalardır ve bu noktalarda hareket beklenmektedir. Hareketleri belirlemek amacıyla yukarıda sözü geçen dört statik yöntem

kullanılmıştır. Bu dört yöntem sonunda hareketli ve sabit bulunan noktalar Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Uygulamada kullanılan analiz sonuçlarının karşılaştırılması

No	θ^2 -Ölçütü	Genelleştirme Yöntemi	Bağıl Güven Elipsi Yöntemi	Cholesky Çarpanlarına Ayırma
2	Hareketli	Sabit	Hareketli	Hareketli
3	Hareketli	Hareketli	Hareketli	Hareketli
4	Hareketli	Hareketli	Hareketli	Hareketli
5	Hareketli	Hareketli	Hareketli	Hareketli
6	Hareketli	Hareketli	Hareketli	Hareketli
7	Hareketli	Hareketli	Hareketli	Hareketli
8	Hareketli	Sabit	Hareketli	Sabit
9	Hareketli	Hareketli	Hareketli	Hareketli
10	Hareketli	Hareketli	Hareketli	Hareketli
11	Hareketli	Hareketli	Hareketli	Hareketli
12	Hareketli	Sabit	Sabit	Sabit
13	Sabit	Hareketli	Sabit	Sabit
14	Hareketli	Hareketli	Hareketli	Hareketli
16	Sabit	Sabit	Sabit	Sabit
17	Hareketli	Sabit	Sabit	Sabit
20	Sabit	Sabit	Sabit	Sabit
76	Sabit	Sabit	Sabit	Sabit
82	Sabit	Sabit	Hareketli	Sabit
83	Sabit	Sabit	Sabit	Sabit
84	Hareketli	Sabit	Hareketli	Sabit

Tablo 9’da görüldüğü gibi 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 14 nolu noktaların, bütün yöntem hareket ettiği belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre bu noktaların kesin deformasyon noktası olduğu kararına varılmıştır. 2, 8, 12, 13, 17, 82, 84 nolu noktalar kritik noktalardır. Tablo 9’da da görüldüğü gibi bu noktalarda bazı yöntemlere göre hareket olduğu, bazı yöntemlere göre ise hareket olmadığı tespit edilmiştir. 2, 8, 12 ve 84 numaralı noktalar hareket beklentisi olan bölge üzerinde tesis edilmiş noktalardır.

2 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Bağıl Güven Elipsi ve Cholesky Çarpanlarına Ayırma yöntemlerine göre hareket tespit edilmiştir. Genelleştirme yönteminin ayırma gücü az olduğundan bu yöntemde belirlenememiştir. Bu sonuçlara göre 2 numaralı noktada hareket vektörünün ortalama büyüklüğü yaklaşık 8 mm civarında bulunmuştur. Şekil 5 ‘de görüldüğü gibi bu nokta hareket beklentisi olan galeri üzerinde tesis edilmiş noktadır.

8 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü ve Bağıl Güven Elipsi yöntemlerine göre hareket tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre 8 numaralı noktada hareket vektörünün ortalama büyüklüğü yaklaşık 7 mm olarak hesaplanmıştır.

12 numaralı noktada, sadece θ^2 -Ölçütü yöntemine göre hareket tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre 12 numaralı noktada hareket vektörünün ortalama büyüklüğü ortalama 3 mm civarındadır. Bu nokta hareket beklentisi olan bölgede tesis edilmiş bir noktadır ve hareket vektörünün büyüklüğü çok küçüktür. θ^2 -Ölçütü'nün ayırma gücünü diğer yöntemlere göre daha kuvvetli olduğundan 12 noktası bu yöntemde hareketli olarak belirlenmiştir.

13 numaralı noktada, sadece Genelleştirme yöntemine göre hareket tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre 13 numaralı noktada hareket vektörünün ortalama büyüklüğü yaklaşık 7 mm civarındadır. 13 numaralı nokta, galerinin tam üzerinde değil yakın çevresinde olmasına karşın, yalnızca sözü geçen yöntemle hareket ettiği belirlenmiştir.

17 numaralı noktada, sadece θ^2 -Ölçütü yöntemine göre hareket tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre 17 numaralı noktada hareket vektörünün ortalama büyüklüğü yaklaşık 2 mm civarındadır. 17 numaralı nokta, galerinin tam üzerinde değil yakın çevresinde olmasına karşın, yalnızca sözü geçen yöntemle hareket ettiği belirlenmiştir. θ^2 -Ölçütü'nün ayırma gücünü diğer yöntemlere göre daha kuvvetli olduğundan 17 noktası bu yöntemde hareketli olarak belirlenmiştir.

82 numaralı noktada, sadece Bağıl Güven Elipsleri yöntemine göre hareket tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre 82 numaralı noktada hareket vektörünün ortalama büyüklüğü yaklaşık 8 mm olarak belirlenmiştir. 82 numaralı nokta, galerinin dışında sağlam zeminlerde tesis edilmiş sabit nokta olmasına karşın, sözü geçen yöntemle hareket ettiği belirlenmiştir.

84 numaralı noktada, θ^2 -Ölçütü, Bağıl Güven Elipsleri yöntemlerine göre hareket tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre 84 numaralı noktada hareket vektörünün ortalama büyüklüğü yaklaşık 5 mm civarında bulunmuştur. 84 numaralı nokta, galeri üzerinde olduğundan bu nokta hareket beklentisi vardır.

Dört yöntemle de hareketli bulunan noktalar ve hareket büyüklükleri ile dört yöntemdeki sonuçların ortalaması alınarak bulunan ortalama deformasyon büyüklüğü hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre 3, 5, 6, 7, 11 nolu noktalardaki deformasyon vektörünün büyüklüğü 10 mm'nin üzerindedir. En fazla hareket eden noktalar bu noktalardır. Bu noktalar galeri boyunca tesis edilmiş noktalardır. Bu nedenle bu noktalardaki hareket en fazladır.

Tablo 10. Deformasyon noktaları ve ortalama deformasyon büyüklükleri

No	θ^2 -Ölçütü (mm)	Genelleştirme yöntemi (mm)	Bağlı Güven Elipsleri (mm)	Cholesky Çarpanlarına Ayırma (mm)	Deformasyonların Ortalaması (mm)
3	8.38	7.96	10.45	12.14	10.25
4	9.70	6.64	8.55	11.50	9.10
5	18.50	19.37	21.13	21.59	20.15
6	15.43	18.12	19.62	18.64	17.96
7	11.04	10.48	12.87	11.23	11.86
9	6.81	12.07	6.10	7.73	8.18
10	7.19	7.20	8.51	7.00	7.48
11	9.91	10.10	11.36	12.26	10.91
14	5.76	8.36	4.83	6.02	6.24

Yapılan sayısal uygulama sonucunda aşağıda özetlenen sonuçlara varılmıştır.

- θ^2 -Ölçütünün, programlamaya en uygun yöntem olduğuna ve bu yöntemle elde edilen sonuçların daha güvenilir olduğu karar verilmiştir.

- Genelleştirme yönteminde, dengeleme modelinin kurulmasının güç olmasından ve her adımda yeni bir dengeleme işleminin yapılmasından, θ^2 -Ölçütünde ise yeni bir dengeleme işlemine gerek kalmadan her adımda S-dönüşümü yapılarak sonuca ulaşılmasından dolayı bu yöntemin θ^2 -Ölçütüne göre daha zor kullanıldığına karar verilmiştir.

- Bağlı güven elipsleri ile deformasyon analizindeki sakıncanın, ağırlık sabit noktaları belirlenirken benzerlik dönüşümü yapılması gerekliliğinin olması ve bu yöntemin programlamaya uygun olmamasıdır. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre üstünlüğünün, deformasyon yorumlamasının görsel olarak da yapılabilmesidir.

- Cholesky çarpanlarına ayırma yönteminin, sabit ve hareketli noktalar başka bir yoldan elde edilip, ağırlık iki bölüm halinde ele alınabildiği durumda, çok kullanışlı bir yöntem olduğuna karar verilmiştir.

Depremlerin önceden kestirimi, heyelanların belirlenmesi, maden ocaklarında oluşan hareketlerin belirlenmesi, baraj ve büyük mühendislik binalarında oluşan hareketlerin belirlenmesi gibi sonuçların hayati derecede önemli olduğu çalışmalarda; hareketler statik deformasyon modelleri ile belirlenecekse aşağıdaki farklı uygulamaların yapılabileceği önerilebilir.

* Hareket belirlenecek bölge veya binada tesis edilen noktalardaki hareketlerin belirlenmesinde, θ^2 -Ölçütünün kullanılması uygundur. Sonuçları görsel olarak da irdeleyebilmek için Bağlı Güven Elipsleri ile de hareketler saptanabilir. Böylece iki yöntemin sonuçları karşılaştırılarak yorumlama yapılabilir.

** Başlangıçta sabit ve hareketli noktalar bilinebiliyorsa, Genelleştirme yöntemi veya Choleksy çarpanlarına ayırma yöntemlerinden herhangi biri ile hareketler belirlenebilir.

*** Yapılan bir çalışmada hangi statik değerlendirme yönteminin öncelikle kullanılacağına, çalışmaya konu olan bölgenin özelliği ve araştırma sonucundan beklenen hassasiyete göre karar verilebilir. Şöyle ki; sonucun hayati derecede önemli olduğu durumlarda (deprem, heyelan, baraj deformasyonu araştırmalarında) ayırma gücü diğer yöntemlere göre fazla olan θ^2 -Ölçütü yöntemi kullanılabilir. Diğer durumlarda sırasıyla ,genelleştirme yöntemi ya da bağlı güven elipsleri ile hareketler belirlenebilir. Choleksy çarpanlarına ayırma yöntemi de, bu yöntemlerin üzerine sonuçları tamamlayıcı bir yöntem olarak uygulanabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Atasoy, V., Öztürk, E., Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri ve Sonuçlarının Yorumu, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, Sayı 50-51, 1984, 27-40.
2. Hoşbaş, G., Baraj Deformasyonlarının Belirlenmesinde Jeodezik Yaklaşımların İrdelenmesi ve Bir Öneri, Doktora Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1992.
3. Öztürk, E., Atasoy, V., Karahan, Z., Uysal, K., Akyazı Dokurcun Vadisinde Kurulan Jeodezik Ağda Yatay Kabuk Hareketlerinin Araştırılması, Türkiye I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Şubat 1987, Ankara, Bildiriler Kitabı, 293-304.
4. Ayan, T., Hekimoğlu, Ş., Özlüdemir, T., Analysis of Landslide Deformation Measurements by Robust Estimation Methods, 1 st Turkish International Symposium on Deformations, September 1994, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 284-296.
5. Carl, G., Demirel, H., Deprem Kestirimi Çalışmalarında Jeodezik Katkılar, 4. Harita Kurultayı, Şubat 1993, Ankara, Bildiriler Kitabı, 203-207.
6. Uzel, T., Eren, K., Hoşbaş, G., Kartal, F., Ersoy, N., Erküçük, G., Jeodezik Deformasyon Ağlarının GPS Yöntemi İle Ölçülmesi ve Bir Uygulama, 5. Harita Kurultayı, Şubat 1995, Ankara, Bildiriler Kitabı, 237-252.
7. Altan, O., Ayan, T., Heyelan Bölgelerinde Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması ve Bir Uygulama, K.T.Ü. Türkiye I. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Kasım 1991, Trabzon
8. Yalın, D., Aksoy, A., Gerede Mikrojeodezik Ağında Noktalar Arasındaki Yükseklik Farklarını Belirlemek Amacıyla Yapılan Ölçme ve Değerlendirme Çalışmaları, Prof.Dr. H. Wolf Jeodezi Sempozyumu, Kasım 1993, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 145-157.
9. Bektaş, S., Yerkabuğu Hareketlerinin Üç Boyutlu Geometrik Modelle Araştırılması,, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1990.
10. Algül, E., Deniz, R., Yalın, D., Aslan, E., Gürdoğan, İ.H., İstanbul Alibey Barajı Deformasyon Araştırma Projesi 1987 Yılı Araştırma Raporu, İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Uygulama Araştırma Merkezi, İstanbul, 1988.
11. Gürkan, O., Marmara Bölgesi Batı Kesimindeki Yerkabuğu Hareketlerinin Yerel Yöntemler ve GPS ile İzlenmesi, 5. Harita Kurultayı, Şubat, 1995, Ankara, Bildiriler Kitabı, 253-265.

12. Konak, H., Atasoy, V., Öztürk, E., Maden Sahalarında Kurulan Deformasyon Ağlarının Optimizasyonu, 7. Harita Kurultayı, Mart 1999, Ankara, 329-342.

13. www.koeri.boun.edu.tr/geodesy/projects.html

14. Atasoy, V., Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1984.

15. Yalçinkaya, M., Tanır, E., Deformation of Movements on Mining Areas By Static Deformation Models, 11 st ISM International Congress, September 2000, Polond(Krakow).

16. Ayan, T., Jeodezik Ağlarda Deformasyon Analizine Genel Bakış, İ.T.Ü. Dergisi, 40, 1982, 21-25.

17. Aksoy, A., Yerbilimlerinin Ortak Çalışma Alanlarından Jeodinamik ve Jeodezinin Bu Çalışmalarda Görevi, K.T.Ü. Yer Bilimleri Dergisi Jeoloji- Jeodezi, 1982, 74-92.

18. Aksoy, A., Ayan, T., Deniz, R., Seeger, H., Franke, P., Altınır, Y., Hirsch, O., Bautsch, P., Kuzey Anadolu Taşkesti ve Gerede Kesiminde Yer kabuğu Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi Çalışmaları ve Bazı Analiz Sonuçları, Prof. Dr. H. Wolf Jeodezi Sempozyumu, Kasım 1993, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 627-646.

19. Başkaya, B., S- Transformasyonu ve Yatay Kontrol Ağlarında Deformasyon Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995.

20. Uzel, T., Barajların Güvenliği, 221, Yıldız Üniversitesi Yayınları, Doğan Matbaası, İstanbul, 1991.

21. Atasoy, V., Deformasyon Vektörünün İrdelenmesi ve Yorumu, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 71, 1992.

22. Yılmaz, M., Barajlardaki Deformasyon Ölçmeleri ve Kullanılan Aletler, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993.

23. Ulsoy, E., Ters Matrisler, K.Ü. Araştırma İnceleme Yayınları Dizisi, 1984/1, K.Ü. Basımevi, Trabzon, 1984.

24. Demirel, H., Jeodezik Ağlarda Datum Tanımları ve Dengeleme Sonuçlarına Etkileri, Prof. Burhan Tansuğ Fotogrametri ve Jeodezi Simpozyumu, Ekim 1987, Ankara, Bildiriler Kitabı, 269-277.

25. Öztürk, E., Şerbetçi, M., Dengeleme Hesabı, Cilt III, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon, 1992.

26. Ünal, T., Ulusal Jeodezik Ağların Yerleştirme Yöneliminde Serbest Ağ Dengelemesi, Yıldız Üniversitesi Dergisi, 1983/2 (ayrı baskı), 1983.

27. Demirel, H., Nirengi Ağlarının Dengelenmesi ve Sonuçlarının Test Edilmesi, Harita Dergisi, 98-1987, 1-18.

28. Hekimoğlu, Ş., Ayan, T., Aktaş, A.O., Birden Fazla Uyuşumsuz Ölçütün Robust Kestirim Yöntemiyle Tanısı ve Uyuşumsuz Ölçü Testleriyle Belirlenmesi, Prof. Wolf Jeodezi Sempozyumu, Kasım 1993, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 171-202.

29. Dilaver, A., Jeodezik Ağlarda Kaba Hatalı Ölçülerin Ayıklanması ve Güven Ölçütleri, K.T.Ü. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Araştırma Raporları, 1996/2, K.T.Ü. Matbaası, Trabzon, 1996.

30. Ünver, M., Düşey Yöndeki Yerkabuğu Deformasyonlarının Kinematik Model ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1994.

31. Öztürk, E., Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Ölçütleri, Türkiye I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Şubat 1987, Ankara, Bildiriler Kitabı, 641-670.

32. Güllü, M., GPS ve Yersel Gözlemlerin Birlikte Dengelenmesi, Doktora Tezi, S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1998.

33. Konak, H., Yüzeysel Ağlarının Optimizasyonu, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1994.

34. Öztürk, E., Nirengi Ağlarının Optimizasyonu, Prof. Burhan Tansuğ Fotogrametri ve Jeodezi Sempozyumu, Ekim 1987, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 241-262.

35. Atasoy, V., Üç Boyutlu Jeodezik Ağlarda Yerkabuğu Hareketlerinin İrdelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1988.

36. Dilaver, A., Büyük Nirengi Ağlarında Katsayılar Matrisinin Nokta Duyarlığına Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, K.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1985.

37. Parer, R., Niemeier, W., Same Aspects of The Theory of Errors in Levelling Network, The Workshop on Precise Levelling, 1983, 295-314.

38. Yalçınkaya, M., Nivelman Ağlarında Duyarlık ve Güven Ölçütleri, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, Sayı:80, 1996,73-84.

39. Mierlo, J., A Testing Procedure for Analysing Geodetic Deformation Measurements, Second International Symposium on Deformation Measurements by Geodetic Methods, 1978, Bonn, 321-353.

40. Kınık, I., Jeodezik Ağların Ölçüt Matrisleriyle II. Derece Optimizasyonu, Harita Dergisi, Sayı, 99, Ankara.

41. Kurt, O., Konak, H., Dilaver, A., GPS Ağlarında Duyarlık ve Güven Optimizasyonu, 7. Harita Kurultayı, Mart 1999, Ankara, Bildiriler Kitabı, 135-180.

42. Gülal, E., Baraj Deformasyonlarının Ölçü ve Hesap Yöntemleriyle İrdelenmesi, 7. Harita Kurultayı, Mart 1999, Ankara, Bildiriler Kitabı, 121-134.

43. Şeker, M., Düşey Kontrol Ağlarında Deformasyon Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995.

44. Aksoy, A., Jeodezik Verilerin Matematik İstatistik Testlerle İrdelenmesi, Türkiye I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Şubat 1987, Ankara, Bildiriler Kitabı, 559-592.

45. Niemier, W., Jeodezik Ağların Analizi, Çeviri: İ. Öztuğ Bildirici.

46. Öztürk, E., Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin İrdelenmesi θ^2 - Ölçütü, Harita Dergisi, 85, 1978, 44-52.

47. Pelzer, H., Zur Analyse Geodetischer Deformationsmessungen, DGK, R.C., Nr.164, München, 1971.

48. Dupraz, H., Niemeier, M., Pelzer, H., Analyse von Deformationsmessungen durch Klaffungszersetzung, Deformationsanalysen, Heft 4, Hannover 1979.

49. Gründig, L.V., Nevreither, M., Bahndorf, J., Deformationanalyse und S-Transformation, ZFV, Heft 4, Stuttgart, 1985, 151-160.

50. Hech, B.V., Zur Geometrischen Analyse von Deformationen Lagenetzen, AVN,91, Kashuhe, 1984.

51. Ayan, T., Bağıl Güven Elipsleri İle Deformasyon Analizi, Harita Dergisi, 91, Ankara, 1983.

52. Kuntz, E., Schmitt, G., Analyse von Deformationsmessungen mit Hilfe Relativer Fehlerellipsen, Deformationsanalysen, Heft 4, Karlsruhe, 1979.

53. Ayan, T., Deformasyonların Saptanmasında Kontrol Ağının İkiye Ayrılması Yöntemi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 45- 46- 47, 1983.

54. Bektaş, S., Sayısal Çözümleme, 1998, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

06.01.1976 yılında Trabzon'un Vakfikebir ilçesinde doğdu. 1992 yılında Vakfikebir Lisesi'nden mezun oldu. 1992-1993 eğitim-öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 15 Temmuz 1996 tarihinde aynı bölümden mezun oldu. 1996-1997 öğretim yılında Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 17.11.1998 tarihinde K.T.Ü. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen bu görevine devam etmektedir.

Emine TANIR

