

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALİBEY BARAJI'NDA
DÜŞEY YÖNDEKİ HAREKETLERİN BELİRLENMESİ**

AHMET UYSAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOMATİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HALİL ERKAYA**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALİBEY BARAJI'NDA DÜŞEY YÖNDEKİ HAREKETLERİN BELİRLENMESİ

Ahmet UYSAL tarafından hazırlanan tez çalışması 04/12/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Halil ERKAYA

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Halil ERKAYA

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Yunus KALKAN

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. R.Gürsel HOŞBAŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Eylül 1996’da başladığım Yüksek Lisans Öğrenimimi, özel sektör mensubu olmam ve çok yoğun çalışma şartları içerisinde bulunmam sebebiyle 1998 yılında bırakmak durumunda kaldım. İçimde hep bir uhde olarak kalan öğrenimimi tamamlamak amacıyla, Eylül 2009’da, yarım bıraktığım noktadan tekrar başladım. 1998 yılına göre daha yoğun şartlarda çalışıyordum ve sorumluluklarım da daha fazlaydı. Hep okul yıllarını düşündüm “Okurken okumak ne kadar kolaymış” dedim. Üç çocuklu bir ailenin sorumluluğunu almışken aynı zamanda özel sektörde çalışmaya devam ederken, okumak ne kadar zormuş düşünceleri iyice baskın hale geldiği dönemlerde, zaman zaman tekrar bırakmayı ve bir daha da uğraşmamayı çok düşündüm. Tam böyle bir zamanda, değerli hocam Prof. Dr. Halil ERKAYA ile yaptığım bir telefon görüşmesi sonucu, umutlarım tekrar yeşermiş ve cesaretlenmişim. Bana bu tez çalışmasını bitirmem noktasında güvenen ve desteğini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Halil ERKAYA’ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Alibey barajı ile ilgili sayısal verilerin temini, bu verilere ilişkin hesaplamalar ve yorumlara ilişkin verdiği desteklerden ötürü, sayın hocam Yrd. Doç. Dr. R.Gürsel HOŞBAŞ’a ayrıca teşekkür ederim.

35 yaşında tekrar çıktığım bu yolun, 38 yaşında hedeflediğim noktasına ulaşmanın mutluluğu içerisindeyim. Bu yolda benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen hayat arkadaşım, sevgili eşim Günay UYSAL’a sonsuz teşekkürler.

Bu çalışma için verdiğim mücadelenin, kızım Yağmur, oğullarım Yağız ve Oğuz’un eğitim hayatında örnek teşkil etmesi temennisiyle,

Aralık, 2012

Ahmet UYSAL

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.1.1 Deformasyon, Deformasyon Ölçmeleri ve Deformasyon Analizi	2
1.1.2 Deformasyon Ölçmeleri Neden Yapılmalıdır	3
1.1.3 Deformasyon Ölçmelerinin Uygulama Alanları	3
1.1.4 Deformasyonların Sınıflandırılması	5
1.1.4.1 Şekil Değişimlerinin Yapısına Göre Deformasyonlar.....	5
1.1.4.2 Türlerine Göre Deformasyonlar.....	5
1.1.5 Deformasyon Modelleri	5
1.1.5.1 Statik Model.....	6
1.1.5.2 Kinematik Model.....	6
1.1.5.3 Dinamik Model	7
1.1.5.4 Genelleştirilmiş Deformasyon Modelleri	8
1.1.6 Deformasyon Yorum Modelleri	9
1.1.6.1 Yaklaşım ve Süzme Modelleri	9
1.1.6.2 Fonksiyonel (Deterministik) Modeller	9
1.1.6.3 Yapı Belirleyici Hareket Modelleri	10
1.1.7 Geometrik Obje Modeli.....	10
1.1.8 Jeodezik Kontrol Ağı.....	11
1.1.9 Jeodezik Yöntemlerle Deformasyon Ölçmeleri	13
1.2 Tezin Amacı	14
1.3 Hipotez	14

BÖLÜM 2.....	15
HASSAS NİVELMAN YÖNTEMİ.....	15
2.1 Hassas Nivelman Yöntemi	15
2.2 Hassas Nivelmana Etki Eden Hata Kaynakları.....	16
2.2.1 Yerin Eğriliği	17
2.2.2 Mira Eğikliği	18
2.2.3 Görüntü Titreşmesi ve Sallanması	19
2.2.4 Sıcaklığın Miraya Etkisi	19
2.2.5 Sıcaklığın Nivoya Etkisi	21
2.2.6 Mira Bölüm Başlangıç ve Bölüm Hataları	22
2.2.7 Eksen ve Ufuk Hataları	24
2.2.8 Alet ve Miranın Ölçme Sırasındaki Düşey Hareketleri	24
2.2.9 Yerin Manyetik Alanının Etkisi	25
2.2.10 Nivelman Ölçülerinde Refraksiyonun Etkisi	26
2.2.11 Yerçekiminin Etkisi.....	26
2.3 Hassas Nivelmandan Beklenen Sonucu Alabilmek İçin Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	27
BÖLÜM 3.....	29
NİVELMAN AĞLARINDA UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN BELİRLENMESİ.....	29
3.1 Data – Snooping Yöntemi	31
3.2 Tau - Testi	32
3.3 t – Testi	33
3.4 Robust (Sağlam) Kestirim Yöntemi	34
3.5 Test Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	38
BÖLÜM 4.....	40
NİVELMAN AĞLARINDA DUYARLIK VE GÜVEN ÖLÇÜTLERİ	40
4.1 Giriş.....	40
4.2 Nivelman Ağlarında Duyarlık Ölçütleri.....	40
4.2.1 Model Hipotezinin Testi	41
4.2.2 Genişletilmiş Modelin Testi	42
4.2.3 Varyans Bileşenlerinin Kestirimi	45
4.2.4 Güven Hiper Elipsoidi	47
4.2.5 Bağıl Güven Hiper Elipsoidleri.....	48
4.2.6 Dengeli Yükseklik Farklarının Bağıl Hataları	49
4.3 Nivelman Ağlarında Güven Ölçütleri.....	50
4.3.1 İç Güven Ölçütü.....	50
4.3.2 Dış Güven Ölçütü	52
BÖLÜM 5.....	54
DÜŞEY DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİ.....	54
5.1 Statik Modelle Düşey Deformasyonların Belirlenmesi	54

5.2	Hannover Yaklaşımı İle Deformasyon Analizi	55
5.3	Bağıl Güven Elipsleri (Karlsruhe Yaklaşımı) İle Deformasyon Analizi	58
BÖLÜM 6.....		64
ALİBEY BARAJI'NDA YAPILAN DEFORMASYON ÖLÇMELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ, GENEL BİLGİLER, SAYISAL UYGULAMA		64
6.1	Alibey Barajı	64
6.2	Jeodezik Kontrol Ağı ve Deformasyon Ölçmeleri.....	65
6.3	Ölçme Dönemleri ve Ölçüler.....	66
6.4	Deformasyon Ölçülerinin Analizi	67
BÖLÜM 7.....		71
SONUÇ VE ÖNERİLER		71
KAYNAKLAR.....		73
EK-A		75
DİĞER PERİYOTLARA İLİŞKİN DEFORMASYON ANALİZLERİ.....		75
A-1	Deformasyon Ölçülerinin Analizi (1987-1999)	75
A-2	Deformasyon Ölçülerinin Analizi (1987-2004)	78
A-3	Deformasyon Ölçülerinin Analizi (1987-2009)	80
A-4	Deformasyon Ölçülerinin Analizi (1999-2004)	82
A-5	Deformasyon Ölçülerinin Analizi (2004-2009)	84
A-6	Deformasyon Ölçülerinin Analizi (2009-2011)	86
EK-B		88
REFERANS VE OBJE NOKTALARININ YÜKSEKLİKLERİNİN ÖLÇME DÖNEMLERİNE GÖRE GRAFİKSEL GÖSTERİMLERİ.....		88
B-1	Referans Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Grafiksel Gösterimleri (Yükseklikler metre birimindedir)	88
B-2	Obje Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Grafiksel Gösterimleri (Yükseklikler metre birimindedir)	90
EK-C		92
REFERANS VE OBJE NOKTALARININ YÜKSEKLİKLERİNİN ÖLÇME DÖNEMLERİNE GÖRE KESİT GÖSTERİMLERİ		92
C-1	Obje Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Kesitsel Gösterimleri.....	93
C-2	Referans Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Kesitsel Gösterimleri.....	98
ÖZGEÇMİŞ.....		100

SİMGE LİSTESİ

$\underline{x}_i$	Kinematik modelde t_i zamanındaki nokta koordinatları
$\underline{x}_0$	Kinematik modelde t_0 referans zamanındaki nokta koordinatları
Φ	Kinematik model fonksiyonu
$\underline{x}_i$	Dinamik modelde f_i kuvvetinin etkisindeki nokta koordinatları
$\underline{x}_0$	Dinamik modelde f_0 kuvvetinin etkisindeki nokta koordinatları
Φ	Dinamik model fonksiyonu
$[pdd]$	Hassas nivelmanda çift (gidiş-dönüş) ölçüler farkının karelerinin ağırlıklarıyla çarpımlarının toplamı
n	Hassas nivelmanda çift ölçü farklarının (d 'lerin) sayısı
α	Mira eğikliğinde miranın düşeyle yaptığı açı
α	Sıcaklığın miraya etkisinde invar şeritin sıcaklık genleşme katsayısı
t	Sıcaklığın miraya etkisinde invar şeritin sıcaklığı
t_0	Sıcaklığın miraya etkisinde mira ayar sıcaklığı
Δh	Sıcaklığın miraya etkisinde yükseklik farkı
α	Sıcaklığın nivoya etkisinde nivelman doğrultusunun azimutu
α_g	Sıcaklığın nivoya etkisinde güneşin azimutu
t_i	Mira bölüm çizgilerinin gerçek durumu
$\bar{t}_i$	Mira bölüm çizgilerinin görünen değeri
e_i	Mira bölüm hatası
a_0	Mira bölüm başlangıç hatası
a_1	Mira ölçek hatası
r_i	Mira rastlantısal bölüm hataları
σ	Data Snooping Yönteminde teorik ortalama hata
T_{max}	Tau-testinde test büyüklüklerinden en büyüğü
f	Tau-testinde serbestlik derecesi
α_0	Tau-testinde bir tek ölçünün testi için yanılma olasılığı
s_0^2	t-testinde model hatalarından arındırılmış birim ölçünün varyansı
H_i, H_j	i ve j noktalarının yükseklikleri
Δh_{ij}	i ve j noktaları arasında ölçülen yükseklik farkı

$\mathcal{G}_{ij}$	Ölçüye eklenecek düzeltme
A	Stokastik modelde katsayılar matrisi
I	Stokastik modelde ölçüler
x	Stokastik modelde dengeleme bilinmeyenleri
K_{ll}	Stokastik modelde ölçülerin varyans-kovaryans matrisi
s_0^2	Stokastik modelde birim ölçünün öncül varyansı
Q_{ll}	Stokastik modelde ölçülerin ters ağırlık matrisi
Q_{xx}	Bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi
$Q_{\mathcal{G}\mathcal{G}}$	Düzeltilmelerin ters ağırlık matrisi
$\mathcal{G}$	Düzeltilmeler
m_0^2	Birim ölçünün varyansı
P_i	Ölçülerin ağırlıkları
s_i	Nivelman geçkisinin uzunluğu
n	Ölçü sayısı
u	Bilinmeyen sayısı
a_i	Jeomagnetik etki
φ_{ij}	i ve j noktaları arasındaki enlem farkları
ΔI	Sistematik ölçü hataları vektörü,
Y	Bozucu parametreler
A_y	Bozucu parametrelerin katsayılar matrisi
K_{yy}	Bozucu parametrelerin varyans-kovaryans matrisi
Q_{yy}	Bozucu parametrelerin ters ağırlık matrisi
P_{yy}	Bozucu parametrelerin ağırlık matrisi
u_g	Bozucu parametre sayısı
σ_0^2	Birim ölçünün varyansı
σ_s^2	s geçki uzunluğunda yapılan nivelman ölçüsünün varyansı
P^{-1}	Ölçülerin ters ağırlık matrisi
u	Nivelman ağında yüksekliği dengelenen nokta sayısı (bilinmeyen sayısı)
n	Nivelman ölçülerinin sayısı
f	Nivelman ağında, ağın serbestlik derecesi
λ_i	Ters ağırlık matrisi
Q_{dd}	Koordinat farkları vektörünün ters ağırlık matrisi
$\bar{d}$	Koordinat farkları vektörünün gerçek değerleri
ε_d	Koordinat farkları vektörünün gerçek değerlerinin gerçek düzeltilmeleri
s_0^2	Gerçek düzeltilmelerden hesaplanan varyans
m_0^2	Ağ dengelemesi sonucunda bulunan birim ölçünün karesel ortalama hatası
σ_0^2	Kuramsal varyans
Δh_{ij}	Dengeleme hesabı sonucunda bulunan dengeli yüksekliklerden hesaplanan yükseklik farkları

Q_{hh}	Dengeli yüksekliklerin ters ağırlık matrisi
m_0	Birim ölçünün ortalama hatası
m_{ij}	Dengeli yüksekliklerin farklarının ortalama hatası
m_{Bij}	Dengeli yükseklik farklarının bağıl hataları
r_i	İç güven ölçütünde serbestlik ölçütü
r	İç güven ölçütünde fazla ölçü sayısı
α_0	İç güven ölçütünde yanılma olasılığı
γ_0	İç güven ölçütünde test gücü
W_0	İç güven ölçütünde dış merkezlik parametresi
Δ_{0i}	İç güven ölçütünde hata sınır değerleri
r_i	İç güven ölçütünde serbestlik ölçütleri
δ_{0i}^2	Dış güven ölçütü
A_H	Hata elipsinin büyük yarı eksen
B_H	Hata elipsinin küçük yarı eksen
Θ_H	Hata elipsinin büyük yarı ekseninin doğrultusu
A_G	Güven elipsinin büyük yarı eksen
B_G	Güven elipsinin küçük yarı eksen
Θ_G	Güven elipsinin büyük yarı ekseninin doğrultusu

KISALTMA LİSTESİ

DSİ	Devlet Su İşleri
EKKY	En Küçük Kareler Yöntemi
GPS	Global Positioning System
HKM	Harita Kadastro Mühendisliği
HKMO	Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
IWST	Iterative Weighted Similarity Transformation
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
KTÜ	Karadeniz Teknik Üniversitesi
LAS	Least Absolute Sum
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1 Geometrik Obje Modeli	10
Şekil 1. 2 Jeodezik Kontrol Ağı	12
Şekil 2. 1 Yerin Eğriliği.....	17
Şekil 2. 2 Mira Eğikliği.....	18
Şekil 2. 3 Miraların İnvar Şeritlerine Güneş Işınlарının Doğrudan Etkisi	21
Şekil 2. 4 Sıcaklığın Gözlem eksenine etkisi.....	21
Şekil 2. 5 Kompensatöre Manyetik Alanın Etkisi	25
Şekil 6. 1 Alibey Barajının İstanbul Havzasındaki Yeri.....	64
Şekil 6. 2 Alibey Barajı Jeodezik Kontrol Ağı ve Nivelman Ölçü Planı	65
Şekil 6. 3 Alibey Barajı Nivelman Ağı Üstten Görünüm.....	66
Şekil 6. 4 Baraj gövdesindeki çökmelerin perspektif görünüşü.....	70

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 6. 1	Karşılaştırılan ölçme periyotlarına ilişkin bazı serbest dengeleme bilgileri67
Çizelge 6. 2	Referans noktaları kümesinde (1987,2011) deformasyon analizi sonuçları68
Çizelge 6. 3	Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (1987,2011).....69
Çizelge 6. 4	Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları (1987,2011).....69
Çizelge EK-A-1. 1	Referans noktaları kümesinde (1987,1999) deformasyon analizi sonuçları75
Çizelge EK-A-1. 2	Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (1987, 1999)76
Çizelge EK-A-1. 3	Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları (1987,1999).....77
Çizelge EK-A-2. 1	Referans noktaları kümesinde (1987, 2004) deformasyon analizi sonuçları78
Çizelge EK-A-2. 2	Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (1987, 2004)79
Çizelge EK-A-2. 3	Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları (1987,2004).....79
Çizelge EK-A-3. 1	Referans noktaları kümesinde (1987, 2009) deformasyon analizi sonuçları80
Çizelge EK-A-3. 2	Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (1987, 2009)81
Çizelge EK-A-3. 3	Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları (1987, 2009).....81
Çizelge EK-A-4. 1	Referans noktaları kümesinde (1999, 2004) deformasyon analizi sonuçları82
Çizelge EK-A-4. 2	Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (1999, 2004)83
Çizelge EK-A-4. 3	Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları (1999, 2004).....83
Çizelge EK-A-5. 1	Referans noktaları kümesinde (2004, 2009) deformasyon analizi sonuçları84

Çizelge EK-A-5. 2	Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (2004, 2009)	85
Çizelge EK-A-5. 3	Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları (2004, 2009)	85
Çizelge EK-A-6. 1	Referans noktaları kümesinde (2009, 2011) deformasyon analizi sonuçları	86
Çizelge EK-A-6. 2	Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (2009, 2011)	87
Çizelge EK-A-6. 3	Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları (2009, 2011)	87

ALİBEY BARAJI'NDA DÜŞEY YÖNDEKİ HAREKETLERİN BELİRLENMESİ

Ahmet UYSAL

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Halil ERKAYA

Alibey Barajı, Alibeyköy Deresi üzerinde inşa edilmiş toprak dolgu bir barajdır. Kalın yumuşak zemin tabakaları üzerine inşa olunan toprak dolgularda, temel zemininin davranışının önceden öngörülebilmesi büyük önem taşımaktadır. Deformasyon Ölçmeleri, mühendislik ölçmeleri uygulamaları içerisinde önemli bir konuma sahiptir. Doğal ortamda ve insan eliyle inşa edilmiş mühendislik yapılarında zamanla ortaya çıkabilecek deformasyonların sonuçları, insan hayatını yakından ilgilendirmektedir. Bu sebeple deformasyon ölçmeleri; yer kabuğunda ve mühendislik yapılarında zaman içerisinde meydana gelen değişimlerin, yapılacak olan ölçümlerle belirlenip yorumlanmasında ve ortaya çıkabilecek ciddi zararların önlenmesinde etkin bir role sahiptir.

Yer kabuğu hareketlerini ve mühendislik yapılarında zamanla oluşabilecek deformasyonları izlemek üzere, birçok jeodezik yöntem kullanılmaktadır. Jeodezik yöntemlerle, düşey yöndeki deformasyonların belirlenmesi, bu amaç için oluşturulmuş kontrol noktalarında, periyodik olarak yapılan klasik veya uydu teknolojilerine dayalı ölçülerinin değerlendirilmesine ve analizine dayanır. Düşey yöndeki deformasyonların belirlenmesinde hassas geometrik nivelman, hassas trigonometrik nivelman tekniği ve hidrostatik nivelman yöntemi kullanılmaktadır.

Teknolojideki gelişimle birlikte geometrik nivelman tekniğinde sayısal-elektronik nivoların kullanılması ölçümlerin daha kolay yapılmasını sağlamıştır. Trigonometrik nivelman yönteminde iki nokta arasındaki yükseklik farkı düşey açı ve uzunluk

kullanılarak bulunmaktadır. Günümüzde hassas trigonometrik nivelman yöntemi ile düşey konum değişimlerinin daha kolay belirlenmesi mümkün olmaktadır.

Barajlar milyonlarca metreküp suyun depolandığı büyük ve önemli mühendislik yapılarıdır. Çok değişik faktörlerin etkisi ile bu yapılarda yatay ve düşey hareketler oluşur. Genel olarak deformasyon adı verilen bu hareketlerin kritik sınırları aşması barajın zarar görmesine, hatta yıkılmasına sebep olabilir. Özellikle baraj gibi büyük ve maliyeti yüksek yapılar için deformasyonun analizi önemli bir işlem adımını oluşturur.

Bu çalışma kapsamında, Alibey Barajı'nda meydana gelen, düşey yöndeki değişimleri belirlemek amacıyla, 1987 yılı nisan ayından başlayarak, 1999, 2004, 2009 ve 2011 yılları mayıs aylarında yapılan, geometrik nivelman yöntemiyle elde edilen ölçüler değerlendirilmiştir. Tüm ölçme dönemlerinde aynı yaklaşık koordinat değerleri kullanılmıştır. Her ölçme periyodunun dolaylı ölçüler yöntemine göre serbest ağ dengelemeleri yapılmıştır. Deformasyon analizinde matematik istatistiksel anlamda Hannover Yaklaşımı (Ortalama Aykırılıklar Yöntemi, θ^2 -ölçütü)'nden yararlanılarak sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deformasyon, deformasyon ölçmeleri, deformasyon analizi, hassas geometrik nivelman, düşey konum değişimleri

ABSTRACT

THE DETERMINATION OF VERTICAL MOVEMENTS IN ALİBEY DAM

Ahmet UYSAL

Department of Geomatic Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Halil ERKAYA

Alibey Barajı is an earthfill dam established on Alibeyköy River. Foreseeing the action of main soil has an importance effect on earthfills which is established on thick soft soil layer. Deformaiton Measurements have an importance role in the practices of engineering measuremetns. The results of deformations, which are likely to appear in time on civil engineering constructions built artificially and on natural environment, are closely related to human life. Therefore, deformation measurements has an effective role on determining the changes occurred on earth's crust and civil engineering constructions in time with the measurements to be made and comment on them and also preventing serious damages likely to occur.

Many geodesic methods are used in order to observe deformations likely to occur in time on civil engineering constructions and movements of earth's crust. The determination of vertical deformations through geodesic methods depends on evaluation and analysis of the measurements based on periodically made classic or satellite technologies on the control points organized for this purpose. The precise differential levelling, precise trigonometric levelling technique and hydrostatical levelling method are used for the determination of vertical deformations.

Because of developments in technology, using digital-electronic levelling instruments in the technique of differential levelling enables measurements to be made easier. The height difference between two points is found by using vertical angle and length in the

method of trigonometric levelling. Nowadays, it is possible to determine the vertical position changes through precise trigonometric levelling in an easier way.

Dams are big and important civil engineering constructions in which millions of cubic metres water are retained. Vertical and horizontal movements happen in those constructions by the effects of many various factors. Those movements, which are generally called as deformations, exceeding the critical limits might cause damage and even its collapse. The analysis of deformation is a crucial step for big and high-priced constructions particularly such as dams.

In the scope of this study, the measurements obtained through the method of differential levelling which was started in April in 1987 and made in 1999, 2004, 2009 and 2011 in order to determine the vertical changes occurred in Alibeyköy Dam have been evaluated. The same approximate coordinate values have been used for all measurement periods. Free network adjustments of each measurement period have been performed according to indirect measurements method. The results are presented according to Hannover Approach (Average Outliers Method, θ^2 -criterion) as mathematics statistically in deformation analysis.

Key words: Deformation, deformation measurements, deformation analysis, precise differential levelling, vertical position changes

1.1 Literatür Özeti

Uygarlığın önemli göstergelerinden olan barajlar 5000 yıldan bu yana insanlığa hizmet etmektedir. İnsan nüfusunun artması ve uygarlığın gelişimine bağlı olarak suya olan artan gereksinimi karşılamak üzere daha yüksek ve büyük barajlar inşa edilmektedir. İnşa için uygun yerlerin kullanılmış olması nedeniyle yeni barajlar ikinci derece yerlere inşa edilmekte, bu ise başarısızlık ve kaza riskini artırmaktadır. 20. Yy'da 200 civarında barajda önemli hasarın olduğu ve onbinlerce insanın da hayatını kaybettiği gözönüne alınırsa barajların ve çevrelerinin sürekli izlenmesinin önemi rahatlıkla anlaşılır [21].

Ülkemizdeki barajların yaklaşık %92'si dolgu tipli olup, bunların da kendi içerisindeki takriben %82'si toprak dolgu tiplidir. Kalan kısmı ise kaya dolgu tipindedir. Alibey Barajı'nda dolgu tipli olup, aynı nitelikleri taşıyan Pabuçdere ve Yamula barajlarında yapılan çalışmalar, baraj gövdesinin davranışları açısından örnek olacağı düşüncesiyle detaylı olarak incelenmiştir [16][17].

Jeodezik ağılardaki deformasyon ölçmelerine yönelik çalışmalarda, olası bütün gözlemlerin yapılması, ağıdaki serbestlik derecesini fazlasıyla artırmaktadır. Dolayısı ile deformasyon analizinde tümünden hesaplama sonucu bulunan verilerin kullanılması gerektiğinden, ağ noktalarının konumlarının dengelemeli olarak belirlenmesi kaçınılmaz bir zorunluluktur [14][18].

Jeodezik ağılardaki uyuşumsuz gözlemlerin belirlenmesi konusu, deformasyon ölçmeleri için önemli bir parameter olup klasik ve modern uyuşumsuz ölçü belirleme yöntemleri ayrıntılı olarak irdelenmiştir [10][12].

Tezin amacına uygun olarak yapılan temel çalışmalardan biri olan, deformasyon analizi için gerekli jeodezik büyüklüklerin, düşey ağlardaki kullanımı verilmiştir [7].

Hannover Yaklaşımı'nın matematiksel modeli açıklanmıştır [1].

Karlsruhe Yaklaşımı'nın matematiksel modeli ve bir uygulaması hakkında bilgi verilmiştir [2].

Uzun sureli gözlemlerin gerçekleştirildiği Alibey Barajı'nda ki, 20 yıllık süreçteki düşey değişimlerin büyüklükleri konusunda yapılan çalışma, hem istatistiksel hem de geometrik analiz süreçlerini vermesi açısından irdelenmiştir [4].

1.1.1 Deformasyon, Deformasyon lmeleri ve Deformasyon Analizi

Yeryüzündeki bazı bölgeler (fay kuşakları gibi) ve büyük mühendislik yapıları (barajlar, gökdelenler ve köprüler gibi) ile bunların yakın çevreleri geçici ya da kalıcı değişik faktörlerin etkisi altında bulunurlar. Bunları;

- Zeminin fiziksel zellikleri,
- Bölgedeki yer kabuğu hareketleri,
- Yapıyı etkileyen hareketli dış yükler,
- Çeşitli jeolojik ve atmosferik etmenler,
- Suyun dinamik basıncı vb.

gibi sıralamak mümkündür [2].

Bu faktörlerden dolayı bir bölgede, yapıda veya çevresinde oluşan şekil değişikliklerine genel anlamda deformasyon denilmektedir [9].

Jeodezide bu kavram bölgede veya yapı üzerinde seçilen karakteristik bir P_i noktasının t_1 ve t_2 gibi iki farklı zamanda yapılan ölçüler sonucu konumu $P_i(t_1)$ ve $P_i(t_2)$ olarak belirlenebiliyorsa ve bu iki değer arasındaki fark olan d_i 'nin istatistik olarak sıfırdan farklı olduğu kanıtlanabiliyorsa "deformasyon / deplasman" diye tanımlanır.

Bir bölge, yapı veya çevresindeki geometrik şekil değişikliklerini belirlemek için yapılan ölçmelere "deformasyon ölçmeleri" denir. Değişik zaman aralıkları ile yapılan ölçmelerin değerlendirilerek yer, zaman ve büyüklük parametrelerine bağlı olarak

değişimlerin belirlenmesi ve yorumlanmasına da “deformasyon analizi” denilmektedir[9].

1.1.2 Deformasyon Ölçmeleri Neden Yapılmalıdır

Mühendislik yapıları (köprüler, barajlar, gökdelenler, havaalanları, kuleler vb.) statik ve yapısal olarak sınır değerlere ulaşmış, deformasyon ve deplasmanlar, emniyeti tehdit edecek boyutlara gelmiş olabilir. Yine bu yapılar, jeolojik ve zemin mekaniği olarak uygun olmayan bir zemin üzerine veya tünel kazı çalışmalarının yapıldığı bir bölgeye kurulmuş olabilir. Radyo ve televizyon kuleleri ile termik santrallerdeki büyük bacalarda olduğu gibi, çalışma güvenliği deformasyonlarla tehdit altında olabilir. Can ve mal kayıplarının minimum seviyelere indirilmesi, zaman kayıplarının önlenmesi, önceden önlem alınmasının sağlanması için, bu tür yapılarda periyodik veya sürekli gözlem yapılması ve sonuçlarının değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

1.1.3 Deformasyon Ölçmelerinin Uygulama Alanları

Zemin ve kaya mekaniği, mühendislik jeolojisi ölçmeleri : Yeryüzünün şekil bozukluklarının ve yerel hareketlerin araştırılmasına yönelik ölçmelerdir. Örnek olarak, zemin oturmaları, heyelanlar, tektonik hareketler, yeraltından kütle çıkarmaları sonucu oluşan zemin hareketleri verilebilir.

Makine ve tesislerinin inşaatındaki ölçmeler : Makine ve sanayi tesislerinin geometrik durumlarının belirlenmesi ve kontrolü için yapılan ölçmelerdir. Vinç rayları ve büyük türbinler gibi tesislerin hasarsız çalışması yalnız tesisin içindeki geometrik koşullara uyulması ile sağlanır.

Mühendislik yapılarının inşaatındaki ölçmeler : Havaalanı, tünel, köprü, baraj, kule ve gökdelen gibi yapılardaki şekil değişikliklerinin araştırılmasına yönelik ölçmelerdir. Bu araştırmalar daha çok yapının yapım özellikleri ile malzeme kontrolüne olanak sağlamakla beraber, işletme zararlarını ve çevre için tehlikelerini önlemek amacıyla şekil bozukluklarının önceden farkedilmesini de sağlar [9].

Deprem Kestirimi Çalışmalarında : Jeodezi, bir depremden önce, deprem sırasında ve depremden sonra yeryuvarı ve gravite alanının zamana bağlı değişimlerini belirler. Bu

değişimler yardımıyla deprem sırasında ortaya çıkan yerkabuğu gerilimlerinin yapısına ilişkin bilgiler kazanılmaya çalışılır. Bu amaçla deformasyon ağıları, öncelikle tektonik etkinlik alanları boyunca depremden etkilenen bölgelere ilişkin bilgiler verebilir. Depremi ne zaman olacağı konusunda bilgiler içermezler.

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 örneğin 1-2 cm düzeyinde iken, hareketin gerçek yerinin, sınırlarının, yönünün ve büyüklüğünün somut olarak saptanabilmesine bağlıdır.

Güncel Yerkabuğu Hareketlerinin Belirlenmesinde : Aktif deprem bölgelerinde ortaya çıkan yatay ve düşey yöndeki kabuk hareketleri, güncel yer kabuğu hareketleri olarak adlandırılır. Genellikle 1-2 cm/yıl hızındaki güncel kabuk hareketlerini belirleyebilmek için yüksek duyarlıklı jeodezik ölçüler gereklidir[6]. Güncel düşey ve yatay yerkabuğu hareketlerinin kanıtlanması gibi jeodinamik durumların araştırılması, kırılma bölgelerindeki gerinim birikimleri üzerine incelemeler, plaka tektoniği kuramına yönelik yargılar vb. jeodezik ölçülerin ödevlerindendir [14].

Dar anlamda jeodezik deformasyon ölçmelerinin amacı , bir araştırma objesinin çevresine göre yatay ve düşey konum değişikliklerini veya bozukluklarını zamanın fonksiyonu olarak araştırmaktır. Temel prensip olarak objenin her detay noktasının sürekli gözlenmesi gereklidir. Ancak bu işlem çoğunlukla teknik olarak gerçekleştirilemez veya ekonomik değildir. Bu nedenle ölçü tasarımı mekansal ve zamansal olarak dikkate alınmalıdır.

Objeyi temsil edebilecek bazı noktalar seçilir ve bunların koordinatları belirli zaman aralıklarıyla belirlenir. Noktaların obje üzerindeki dağılımı ve ölçülerin zaman aralığı beklenen deformasyonları belirlemeye olanak verecek şekilde seçilmelidir [9].

Aktif deprem bölgelerinde ve fay kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde, mühendislik yapılarının (baraj, köprü) kontrolü, fay haritalarının kesin bir biçimde oluşturulması, deprem araştırma projelerine altlık sağlanması amacıyla, jeodezik deformasyon ölçü ve

analizlerinin sürekli olarak yapılması, sonradan ortaya çıkabilecek hasarların azaltılması için önlem alabilme açısından yararlı olacaktır [6].

1.1.4 Deformasyonların Sınıflandırılması

Deformasyonlar şekil değişimlerinin yapısına ve türlerine göre olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir.

1.1.4.1 Şekil Değişimlerinin Yapısına Göre Deformasyonlar

- **Elastik(Geçici) Deformasyonlar:** Objeye etkiyen faktörün ortadan kalkması ile objenin, faktörün etkisinden önceki durumuna gelmesidir.
- **Elastoplastik Deformasyonlar:** Objeye etkiyen faktörün ortadan kalkması ile objenin, faktörün etkisinden önceki durumunu almaya çalışması ancak tam olarak eski durumunu alamamasıdır.
- **Plastik (Kalıcı) Deformasyonlar:** Objeye etkiyen faktör ortadan kalksa bile, objenin eski durumuna dönememesidir.

1.1.4.2 Türlerine Göre Deformasyonlar

- **Küçük Deformasyonlar:** Bölgede veya yapılarda tehlikeli olmayan değişimlerdir. Bunların belirlenmesi ve ölçü hatalarından ayırt edilebilmeleri çok zordur. Genellikle ölçü duyarlılığı içinde kalırlar.
- **Büyük Deformasyonlar:** Objede meydana gelen değişikliğin bir süre sonra gözle dahi görülür hale geldiği, yapının sürekliliğini olumsuz yönde etkileyen deformasyonlardır [9].

1.1.5 Deformasyon Modelleri

Deformasyonlar, problemin şekline, kapsamına ve uygulanan ölçme planına ve yöntemine göre farklı modeller içinde incelenebilirler. Bunlar statik, kinematik ve dinamik modeldir [2].

1.1.5.1 Statik Model

Nokta alanı için,

$$\underline{x}^T = [x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_p, y_p] \quad (1.1)$$

$$\underline{x}^T = \text{sabit}$$

tanımlanır. Noktanın t_0 ve t_i zamanlarındaki konumları $\underline{x}_0$ ve $\underline{x}_i$ ise $d\underline{x} = \underline{x}_i - \underline{x}_0$ analiz edilerek yorum yapılmaktadır. Görüldüğü gibi deformasyon incelemesine konu olan bölge veya yapının karakteristik noktalarının zamandan ve etkiyen kuvvetlerden bağımsız olarak belirlenmesi statik modelin temelini oluşturmaktadır. Bu modelde, sistemin bir kez ölçülmesi sırasında geçen süre içerisinde noktaların sabit kaldığı varsayılmaktadır [2].

Buna göre modelin özellikleri

- Obje periyodik olarak ölçülür,
- Ölçülen nokta hareketlerinin anlamlılığı istatistiksel olarak araştırılır,
- Hareket süreci gözardı edilir,
- Harekete neden olan kuvvetler dikkate alınmaz,

olarak sıralanabilir. Bu anlamda statik modeller jeodezik deformasyon ölçme yöntemlerinin on çok uygulama alanı bulduğu irdeleme yöntemidir [9].

1.1.5.2 Kinematik Model

Bu modelde nokta koordinatları zamanın fonksiyonu şeklinde tanımlanır. t_i zamanındaki nokta koordinatı

$$\underline{x}_i = \underline{x}(t_i) = \underline{x}_0 + \Phi(\underline{x}, t_i - t_0) \quad (1.2)$$

şeklindedir. Burada

$\underline{x}_i$: t_i zamanındaki nokta koordinatları,

$\underline{x}_0$: t_0 referans zamanındaki nokta koordinatları,

Φ : kinematik model fonksiyonudur.

Bu model türünde, deformasyon araştırması yapılacak bölge veya yapının karakteristik noktalarının hareketleri ve bunların hızları araştırılır. Örneğin, deformasyon incelemesinin yapıldığı bölge ve yapının büyük olması halinde, tüm sistemin bir defa ölçümü için uzun bir süre gerekmektedir. Bir ülkedeki veya bölgedeki yer kabuğu hareketlerinin araştırılması amacıyla yapılan nivelman ölçülerinin periyotları 20-25 yıl olmakta ve her yineleme ölçüsü 4-5 yıl gibi uzun sürede tamamlanabilmektedir. Yineleme ölçülerinin yapıldığı bu 4-5 yıl içerisinde nivelman noktalarının yüksekliklerinin sabit kaldığı düşünülemez. Bu durumda parametre olarak nokta yükseklikleri değil, yükseklik değişimleri, zamanın fonksiyonu olarak ifade edilerek, düşey hareketlerin hızları araştırılır [2].

Modelin özellikleri

- Obje periyodik ya da sürekli olarak ölçülebilir,
- Hareketin akışı, hız ve ivme gibi kinematik parametrelerle ifade edilir,
- Harekete neden olan kuvvetler dikkate alınmaz,

şeklinde özetlenebilir [9].

1.1.5.3 Dinamik Model

Çok karmaşık olmayan kinematik modeller, yeni ölçme ve bilgisayar tekniklerinin sağladığı olanaklarla desteklendiklerinde deformasyonların jeodezik yaklaşımla belirlenmesinde uygulama alanlarının genişlemesi sonucunda dinamik model kavramı oluşmuştur.

Bu modelde geometrik değişimlerin yanında deformasyona neden olan kuvvetlerin zamana ve dış etkenlere bağlı olarak değişimi ve birbirleri ile ilişkileri ve bu kuvvetlerin oluşmasına neden olan dönüşüm fonksiyonu araştırılır.

Genel olarak model

$$\underline{x}_i = \underline{x}(f_i) = \underline{x}_0 + \Phi(\underline{x}, f_i - f_0) \quad (1.3)$$

şeklindedir. Burada

$\underline{x}_i$: f_i kuvvetinin etkisindeki nokta koor.,

$\underline{x}_0$: f_0 kuvvetinin etkisindeki nokta koor.,

Φ : dinamik model fonksiyonudur.

Örneğin bir barajda toplanan suyun, hem yapı, hem de yakın çevresi üzerindeki etkileri bilinmektedir. Basınç kuvveti olarak ortaya çıkan bu etki, su seviyesinin değişimine göre yapıda iç gerilmelere ve çevresinde ise yer kabuğu hareketlerine neden olmakta, bu ise deformasyonları oluşturmaktadır. Burada yapıyı etkileyen kuvvetler ile yapı karakteristikleri arasındaki dönüşüm fonksiyonu araştırılır [2].

Sonuçta dinamik modelin özellikleri olarak

- Obje periyodik ya da sürekli olarak ölçülür,
 - Objeye etkiyen büyüklükler ölçülür,
 - Hareketler etki büyüklüklerinin fonksiyonu olarak analiz edilir,
- şeklinde sıralanabilir [9].

1.1.5.4 Genelleştirilmiş Deformasyon Modelleri

Kinematik modeller, bir jeodezik ağda oluşan şekil değişimlerini (deformasyonları) yorumlamaya yararlar. Jeodezik ağlarda, denetlenen bir nesnede oluşan deformasyonlar, bu modeller yardımıyla konuma ya da zamana bağlı fonksiyonlar biçiminde genelleştirilebilir. Söz konusu fonksiyonlar, zamana ya da konuma bağlı karakterde yalın matematik fonksiyonlardır. Uygulanan değerlendirme yöntemleri, regresyon analizi karakterindedir. Geometrik açıdan bakıldığında, ağın yapısına bağlı olmayan dış etki parametreleri, bozucu etkenler olarak görülebilir. Bunları indirgeyebilmek için yalın kinematik modellerle çalışır. Birçok deformasyon probleminin çözümü için bu yol, ulaşılması öngörülen amaç anlamına gelmektedir.

Bir deformasyon problemi daha genel ve kapsamlı biçimde ele alınmak istenirse, denetlenen nesnedeki değişimlerin nedenlerinin neler olduğu sorusu ile karşılaşılır. Problemin bu biçimde ortaya konduğu durumlarda, dış etki parametrelerinin büyüklük ve karakterleri konusunda da yorum yapabilmek gerekir. Bu türden dinamik modellerin kurulabilmesi için denetlenen nesnenin malzeme ve özelliklerinin de bilinmesi gerekir. Ancak bu bilgilerin elde edilebildiği durumlarda, deformasyonlar ile bunları oluşturan

nedenler arasındaki matematik ilişkiler kurulabilir. Söz konusu modeller, deformasyon modellerinin en genel biçimini gösterirler [7].

1.1.6 Deformasyon Yorum Modelleri

Obje noktalarının konum değişimleri, dengeleme yardımıyla nokta koordinatlarından elde edilir. Konumu değişen dayanak noktaları da obje noktaları arasına katılır. i ($i=1,2$) periyotlarına ilişkin $x_0^{(i)}$ koordinatlarının farkı,

$$d = x_0^{(2)} - x_0^{(1)} \quad (1.4)$$

obje noktalarında konum değişim vektörleri biçiminde grafik olarak gösterilebilir. Böylesi bir gösterim, çoğu kez ortaya çıkan nokta değişimlerinin yapısını ve büyüklüğünü bir bütün olarak göz önüne koyar. Başka bir yorum aracına başvurma zorunluluğu olmayabilir. Nokta değişimlerinin, objenin ötelenmeleri ve değişimlerini tanımlamada yetersiz ya da sınırlı kaldığı bir gerçektir. Bunun nedeni, söz konusu ötelenme ve değişimlerin ölçü hataları ve noktalara özgü hareketlerle yüklü olmasıdır.

Ölçü hataları ve noktalara özgü hareketlerin büyüklüğü objeye ilişkin yorumu güçleştirebilir. Bu yüzden uzun süreden beri yapılan çalışmalar, deformasyonları bu tip etkilerden arındırmaya yönelik yöntem arayışında yoğunlaşmaktadır. Bilinen yöntem ve modeller aşağıdaki gruplara ayrılabilir.

1.1.6.1 Yaklaşım ve Süzme Modelleri

Deformasyonların regresyon ve süzme fonksiyonları ile tanımlandığı böylesi modeller, günümüze kadar büyük ölçüde tek boyutlu problemlere (güncel yükseklik değişimleri) uygulanmıştır.

1.1.6.2 Fonksiyonel (Deterministik) Modeller

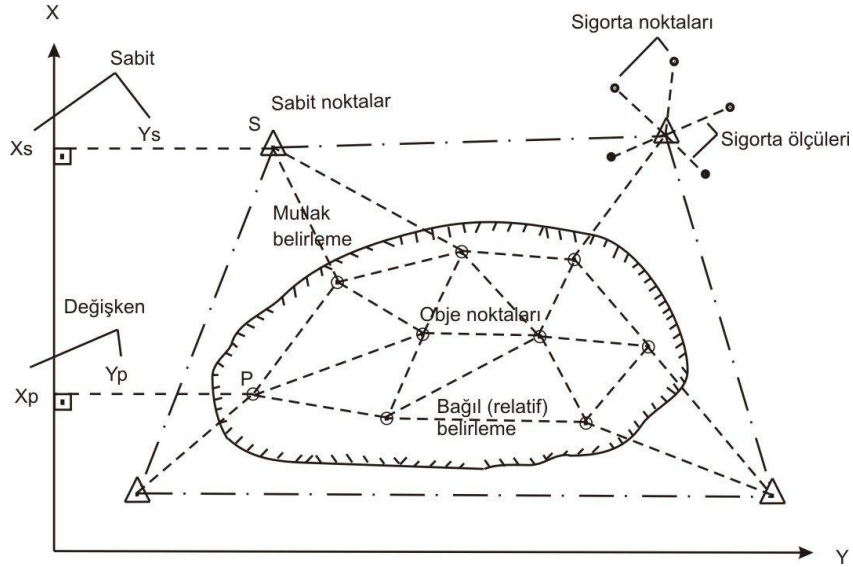
Bu modeller, deformasyon yapısı belli fonksiyonlarla tanımlanabilen objeler, örneğin mühendislik yapıları (barajlar) için uygulanabilir. Böyle fonksiyonların parametreleri deformasyon vektörü d yardımıyla en küçük kareler yöntemine göre belirlenir.

1.1.6.3 Yapı Belirleyici Hareket Modelleri

Bu modeller, genişleme analizi ile birlikte özellikle tektonik hareketlerin ve kütle kaymalarının incelenmesinde kullanılır. Bu nedenle bu konu biraz ayrıntılı bir biçimde ele alınmaktadır. Böyle bir model yardımıyla incelenen objenin tektonik, zemin mekaniği vb. nedenlerle kendi içinde az ya da çok homojen yapı gösteren ve bu yüzden benzer deformasyonlar beklenebilen bloklara ayrılacağı varsayılır. Homojenlik, bloklar arasında kesintiye uğrayabilir [14].

1.1.7 Geometrik Obje Modeli

Geometrik model, objeyi karakterize eden noktaların birbirlerine göre bağıl ve çevreye göre mutlak hareketlerini belirlemek için araştırma objesini temsil etmek üzere oluşturulur(Şekil 1.1). Bu noktalar birbirlerine geometrik büyüklükler ile (açı, uzunluk ve yükseklik farkı gibi) doğrudan ve dolaylı olarak bağlıdır. Bu elemanlar, tekrarlanarak veya sürekli olarak ölçülerek obje noktalarının bağıl hareketleri belirlenir.



Şekil 1. 1 Geometrik Obje Modeli

Obje noktalarının mutlak hareketlerinin belirlenebilmesi için objenin dışında obje deformasyonundan etkilenmeyen ve başka kuvvetlerin etki alanında olmayan sabit noktalar gerekir. Bu sabit noktalarla obje noktaları birbirlerine doğrudan veya dolaylı olarak ölçülerle bağlıdır. Bu bağlantı elemanlarının tekrarlı veya sürekli ölçümü ile objenin mutlak hareketleri gözlemlenir. Bu hareketlerden objenin çevresine göre davranışları belirlenir.

Geometrik obje modeli, bir koordinat sisteminin tanımı için temel oluşturur. Model, isteme göre tek boyutlu, iki boyutlu veya üç boyutlu sistem olarak tasarlanabilir. Sistemdeki sabit nokta hipotezi ölçü sonuçları ile geçersiz kılınmadıkça bu noktaların koordinatları sabit olarak kabul edilir. Obje noktalarının koordinatları ise bir obje durumunu belirlediğinden değişken olarak alınır. Farklı dönemlerde yapılan gözlemler sonucu belirlenen koordinat değişimleri obje deformasyonu olarak tanımlanır [9].

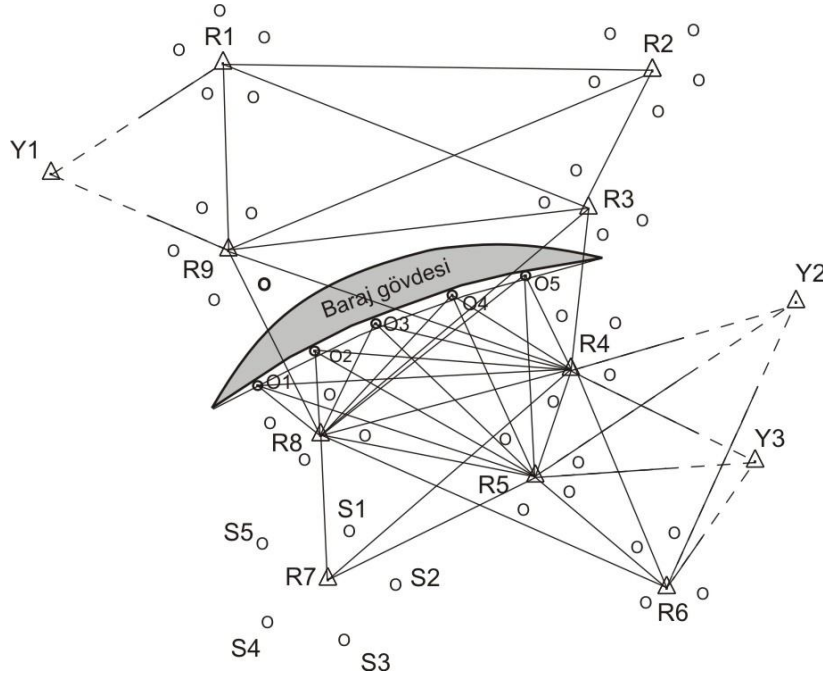
1.1.8 Jeodezik Kontrol Ağı

Yerkabuğu hareketlerini, zemin kaymalarını, mühendislik yapılarını, maden ocaklarının bulunduğu bölgelerdeki hareketleri incelemek amacıyla jeodezik kontrol ağları kurulur. Bu ağlar probleme bağlı olarak yerel ve bölgesel niteliktedir. Yerel kontrol ağları 100 m – 5 km, bölgesel kontrol ağları ise birkaç 100 km genişlikte olabilir. Zemin kaymalarının belirlenmesi amacıyla oluşturulan ağların çok basamaklı yapıda olması; noktalarının sağlam zeminde, yarı kararlı ve kayan bölgede seçilmesi istenir.

Normal ağ planlaması ve değerlendirmesine ilişkin kurallar, kontrol ağları için de geçerlidir. Ancak, aşağıdaki özellikler göz önüne alınmalıdır:

- Sonuçlar ölçme zamanına bağlıdır.
- Nokta koordinatlarından çok bunların fonksiyonlarının doğruluğu ile ilgilenilir.
- Dayanak ve obje noktaları arasındaki farklılık göz önüne alınmalıdır.
- Kontrol ağları sınırlı büyüklüktedir ve ülke temel ağlarından bağımsızdır [14].

Bir jeodezik kontrol ağında Şekil 1.2’de görüldüğü gibi, dört değişik nokta grubu söz konusudur. Bunlar; ölçme (kontrol) noktaları, obje (deformasyon) noktaları, yöneltme noktaları ve sigorta noktalarıdır.



Şekil 1. 2 Jeodezik Kontrol Ağı

a) Ölçme (Kontrol) Noktaları: Deformasyon bölgesindeki obje noktalarının gözlenmesi amacıyla, bu noktalara yakın yerlere tesis edilen ve üzerine alet kurulabilen noktalardır. Genel olarak barajın mansap tarafında ve sağlam zeminlerde tesis edilirler. Mutlak değişimlerin belirlenebilmesi için hareketsiz yani sabit olduklarının istatistik olarak kanıtlanmış olması gerekir. Genellikle içine demir etriye döşenmiş betondan kare ya da daire kesitli pilye olarak tesis edilirler. Referans noktası olarakta adlandırılırlar.

b) Obje (Deformasyon) Noktaları: Deformasyon araştırması yapılan objeyi temsil eden noktalardır. Barajlarda, gövdenin hava tarafını oluşturan mansap yüzeyine, deformasyon eğrilerinin oluşturulması için farklı yüksekliklerde paralel sıralar halinde hedef markaları şeklinde tesis edilirler. Bazı barajlarda gövdedeki galerilerden mansap tarafına açılan balkonlarda tesis edilen obje noktaları ile yerkabuğu hareketlerinin araştırılmasında kullanılan obje noktaları pilye olarak tesis edilirler.

Obje noktalarının seçimi ve tesisinde;

- Obje noktalarının uzaydaki hareketlerinin obje deformasyonunun temsili bir şeklini göstermesine,
- Dayanıklı ve sağlam olarak işaretlenmesine ve objenin yaşamı boyunca kullanıma hazır olmasına,

- Birkaç noktanın kaybolması durumunda araştırmayı uzun süre tehlikeye sokmayacak uygun bir sayıda olmalarına dikkat edilmelidir.

c) Yönelme Noktaları: Ağın tümünden hareketini belirlemek ve ölçme duyarlılığını artırmak amacıyla, hareketsiz olarak kabul edilen veya hareketsiz olduğu kesinlikle kanıtlanan noktalardır. Bu noktaların üzerine alet kurulmaz, sadece yönelme için kullanılırlar. Bu nedenle de pilye olarak tesis edilmelerine gerek kalmaz. Üzerlerine yerleştirilecek birer hedef levhası ölçüm için yeterli olur. Hedef levhası olarak, iç-içe kırmızı beyaz veya siyah-beyaz daireleri içeren metal hedef levhaları kullanılır. Ölçme noktalarından, yönelme noktalarına olan doğrultular ölçülür. Geriden kestirme hesabı yapılarak, gözlem noktalarının deformasyona uğrayıp, uğramadıkları araştırılır. İlk aşamada deformasyonun nedenleri ve nasıl etki ettiği tam olarak bilinmediğinden, yönelme noktaları seçilirken jeoloji mühendisleri ile birlikte çalışılmalıdır. Ölçme noktaları ve yönelme noktaları, deformasyon ölçmelerinde kullanılan sabit noktalardır.

d) Sigorta Noktaları: Sabit noktalardaki olası deformasyonların büyüklüğünü ve yönünü belirlemek için 10m-20m gibi yakın çevrede, homojen dağılmış şekilde tesis edilen noktalardır. Bu noktalar sağlam kaya ya da sağlam dip zemine yerleştirilen taşlar üzerine özel çivilerle belirlenirler. Kontrol ağının noktalarından sayılmazlar [16].

1.1.9 Jeodezik Yöntemlerle Deformasyon Ölçmeleri

Jeodezik yöntemler ölçme periyotlarına göre ikiye ayrılırlar.

- **Sürekli Ölçme Yöntemi:** Değişim göstermesi beklenen yapının belirli karakteristik bölgesi ya da noktaları sürekli olarak gözlenir.
- **Ayrık Ölçme Yöntemi:** Bu yöntemde karakteristik noktalar belli periyotlara göre ölçülür.

Jeodezik deformasyon ölçme yöntemleri;

- Yatay yöndeki deformasyonların belirlenmesinde uygulanan yöntemler;
 1. Hassas Poligon Yöntemi
 2. Jeodezik Kontrol Ağları Yöntemi
 3. Aliynman Yöntemi
- Düşey yöndeki deformasyonların belirlenmesinde uygulanan yöntemler;

- 1.Hassas Geometrik Nivelman Yöntemi
- 2.Hassas Trigonometrik Nivelman Yöntemi
- 3.Hidrostatik Nivelman Yöntemi

şeklinde sınıflandırılabilir [16].

Bu çalışmada “Hassas Geometrik Nivelman Yöntemi” üzerinde durulacaktır.

1.2 Tezin Amacı

İstanbul’un Avrupa yakasının, önemli ölçüde içme suyu ihtiyacını karşılaması ve yapısı itibarıyla gösterdiği özellikler dikkate alınarak, Alibey Barajı’nda, 1987-2011 yılları arasında ki düşey değişimlerin, davranışının, jeodezik yöntemlerle irdelenmesi hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Dolgu tipi bir baraj olan Alibey Barajı için, düşey değişimlerin, hassas geometrik nivelman yöntemi ile, uzun aralıklı periyotlarda gösterdiği davranış biçiminin, geometrik boyuttaki büyüklüğünün kestirimi düşüncesi ön planda tutulmuştur.

BÖLÜM 2

HASSAS NİVELMAN YÖNTEMİ

2.1 Hassas Nivelman Yöntemi

Yalnızca düşey yöndeki değişimlerin belirlenmesi isteniyorsa ve ölçme objesi elverişliyse hassas nivelman yöntemi yeğlenir. Bu yöntem, baraj gövdesi ile yakın çevresinde, köprü ayaklarının çökmelerinde, üzerinde ölçü yapılması olanaklı olan köprülerde düşey yöndeki üst yapı hareketlerinin saptanmasında, bina, cadde ve yol çökmelerinin belirlenmesinde, yer kabuğunun düşey yöndeki hareketlerinin saptanmasında vb. alanlarda uygulanır.

Ölçülerin yüksek bir doğrulukla elde edilebilmesi, nivelmana etki eden tüm hata kaynaklarının araştırılması ve bunların etkisiz hale getirilmesiyle olanaklıdır. Deformasyon ölçmeleri için birinci derece alet ve gözlem yöntemleri önerilir. Okuma hatalarını küçük tutmak için dürbün büyütmesinin fazla olması gerekir. Hem presizyonlu düzeci ya da kompensatörü hem de optik mikrometre düzeni bulunan nivelman aletleri ile kalibrasyonu yapılmış invar miralar kullanılır [1].

İnvar alaşımının en önemli özelliği termik uzama katsayısının çok küçük olması ve nem alış-verişinden etkilenmemesidir. İnvar miraların kullanılması sayesinde sıcaklık ve nem değişmelerinden doğacak hata etkileri en aza indirgenir. İnvar mira ismini, mira üzerindeki 1 mm kalınlığındaki invar şeritten almaktadır. Bu invar şerit üstündeki en küçük bölüm, Mira Birimi (B_m) adını alır. Günümüzde $B_m = 5\text{mm}$ veya $B_m = 10\text{mm}$ olmak üzere iki tür bölümlendirme yapılmaktadır. İnvar miraların büyük çoğunluğunda

yan yana iki bölümlendirme yer almaktadır. Bunlardan biri “Ana Bölümlendirme” (a) ve diğeri de, ana bölümlendirmeden C(Mira Sabiti) değeri kadar kaydırılmış olan “Yardımcı Bölümlendirme”(y)’dir.

Bu tarz hassas ölçümleri yapmaya yarayan nivolarda bulunan mikrometre donanımı sayesinde, okuma inceliği arttırılmaktadır. Mikrometre tamburu bir mira birimini(B_m) genellikle 100 eşit parçaya bölebilen bir sistemdir. Böylelikle okuma inceliği $0.1B_m$ ’den $0.001B_m$ ’ye çıkartılabilmektedir [8].

Hassas nivelman yöntemi ile sağlanan doğruluk normal koşullarda bir çift ölçmenin karesel ortalama hatası $\pm 0.2 \text{ mm/km}$ kadardır.

Ölçülen yükseklik farklarının doğruluğu için, genellikle gidiş-dönüş ölçüleri arasındaki farklardan yararlanılır. Bir gidiş ya da dönüş ölçüsünün karesel ortalama hatası,

$$m = \pm \sqrt{\frac{[pdd]}{2n}} \quad (2.1)$$

eşitliği ile verilmektedir. Gidiş-dönüş ölçülerinin, ortalaması ile elde edilen bir yükseklik farkının karesel ortalama hatası ise,

$$M = \pm \frac{m}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[pdd]}{n}} \quad (2.2)$$

olur. Burada,

$[pdd]$: Çift (gidiş-dönüş) ölçüler farkının karelerinin ağırlıklarıyla çarpımlarının toplamı,

n : Çift ölçü farklarının (d ’lerin) sayısıdır [1].

2.2 Hassas Nivelmana Etki Eden Hata Kaynakları

Ölçme doğruluğunun, talep edilen doğruluğa ulaşp ulaşmadığını anlama bilmek için ölçme birimlerinde ölçülen ve hesaplanan büyüklüklerden yararlanılarak “doğruluk kriterleri” üretilir. Birimlerde ölçülen ve hesaplanan büyüklüklerin taşıdığı model hataları hem yükseklik farklarını ve nokta yüksekliklerini hem de doğruluk kriterlerini etkiler. Nivelman ölçülerini ve sonuçlarını etkileyen hatalar başlıca dört ana grupta toparlanabilir:

- Miralardan kaynaklanan hatalar,
- Nivolardan kaynaklanan hatalar,
- Dış ortamdan kaynaklanan hatalar,
- Operatörden kaynaklanan hatalar.

Ana başlıklar olarak verilen bu hata kaynaklarının çoğu, uzun gözleme uzaklıklarında anlamlıdır. Kısa gözleme uzaklıklarındaki en önemli hata kaynağı kolimasyon hatasıdır. Kolimasyon hatası, nivo tesviye edildikten sonra kolimasyon ekseninin tam olarak yatay olmamasından kaynaklanmaktadır. Bununla beraber kolimasyon hatası, geri ve ileri mira gözlem uzaklıklarının yaklaşık olarak eşit tutulmasıyla azaltılabilir [8].

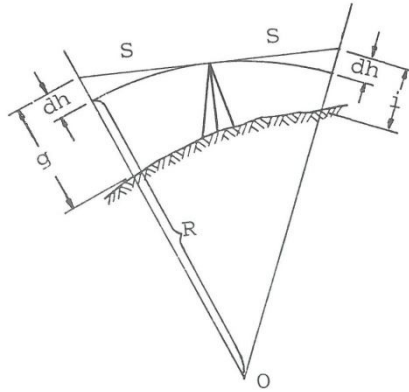
Hassas nivelmana etki eden hata kaynakları, aşağıdaki başlıklarla ayrıntılandırılabilir.

2.2.1 Yerin Eğriliği

Yeryuvarı küre olarak kabul edilirse mira okumalarında dh kadar bir hata yapılır. Bu hata,

$$dh \approx \frac{S^2}{2R} \quad (2.3)$$

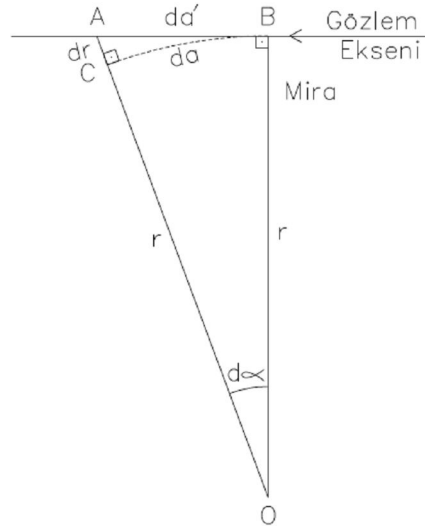
bağıntısı ile yeterli yaklaşıklıkla hesaplanabilir (Şekil 2.1).



Şekil 2. 1 Yerin Eğriliği

Alet her iki miraya eşit uzaklıkta kurulursa, her iki mira okumasında da aynı miktarda hata yapılacağından yükseklik farkı hatasız olarak elde edilir [1].

2.2.2 Mira Eğikliği



Şekil 2. 2 Mira Eğikliği

$$\Delta_{OAB} \rightarrow r^2 + (da')^2 = (r + dr)^2$$

$$(da')^2 = 2rdr + dr^2$$

$$\Delta_{ABC} \rightarrow (da')^2 = dr^2 + da^2$$

buradan $(da')^2 = 2rdr + dr^2 = dr^2 + da^2$ ve sonuç olarak,

$$da^2 = 2rdr \quad (2.4)$$

elde edilir.

$$\Delta_{OCB} \rightarrow da = r d\alpha$$

da 'nın bu değeri (2.4) eşitliğinde yerine konulursa

$$r^2 d\alpha^2 = 2rdr \text{ buradan da,}$$

$$dr = \frac{1}{2} r d\alpha^2 \quad (2.5)$$

elde edilir.

Bu şu demektir: Mira $d\alpha$ kadar eğik tutulduğunda dr kadar fazla bir değer okunmuş olacaktır.

Bir mira dikkatlice dik tutulursa, mira eğikliğinin etkisi ihmal edilebilir. Özellikle payanda kullanarak miraların daha dik ve sabit tutulması sağlanabilir. Mira,

Serbest gözle $\mp (2,5)^0$

Çekülle $\mp (1,5)^0$

Küresel düzeçle $\mp (0,5)^0 - 1^0$

Küresel düzeç ve fenklajla $\mp (0,1)^0$ 'lik bir hata ile dik tutulabilir [20].

2.2.3 Görüntü Titreşmesi ve Sallanması

Güneş, doğuşundan sonra gece soğumuş olan yeryüzünü, yeryüzü de ona komşu olan atmosfer tabakalarını ısıtmaya başlar. Bu durumda yere yakın atmosfer tabakaları bir üsttekilere göre daha sıcaktır ve sıcaklık düşey değişim değeri (dt/dh) eksidir. Bu yüzden hafifleyen hava kitleleri yukarıya doğru hızla hareket ederken görüntünün titreşmesine neden olur. Titreşimin büyüklüğü önemli ölçüde dt/dh değerine ve S hedef uzaklığına bağlıdır. Bu etkiden kurtulabilmek için alet-mira uzaklıkları kısa tutulmalıdır. Bu hatanın etkisi rastlantısal ve görüntü titreşmesinin ortası yeterli doğrulukla hedef olarak alınabilir.

Güneş batımının 1-2 saat öncesinden itibaren güneş radyasyonunun yeryüzüne ulaşmaması, ancak toprağın komşu hava kitlelerine ve bu kitlelerin de daha üsttekilere ısı iletimini sürdürmesi sonucu yeryüzünden çeşitli yüksekliklerde artı işaretli bir sıcaklık farklılaşması oluşur.

Artı dt/dh durumunda ise, sallanma olarak adlandırılan ve güç fark edilen yavaş düşey dalgalanmalar ortaya çıkar. Dalgalanmalar arasında gerçek hedefi bulmak titreşimdeki gibi kolay değildir. Bu nedenle artı dt/dh durumunda ölçü yapmaktan kaçınılmalıdır [1].

2.2.4 Sıcaklığın Miraya Etkisi

Hassas nivelmanda kullanılan miraların invar bölümlerinin genleşme katsayıları ($\alpha = 2.10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$) küçük olduğundan sıcaklığın, invar şerite etkisi genellikle dikkate alınmaz. Sıcaklık, nivelman miralarına sistematik hata olarak iki kez etkir:

1. Mira ayar sıcaklığı ile ölçme anındaki sıcaklık farkından dolayı
2. Ölçme sırasında geri ve ileri miralar arasındaki sıcaklık farkından dolayı

Birinci hata, ölçme sırasında günlük mira sıcaklığının genellikle 20°C olan ayar sıcaklığından sapması sonucu ortaya çıkar. Hata,

$$\Delta t_1 = \alpha(t - t_0)\Delta h \quad (2.6)$$

olur. Burada;

α : invar şeritin sıcaklık genleşme katsayısı

t : invar şeritin sıcaklığı

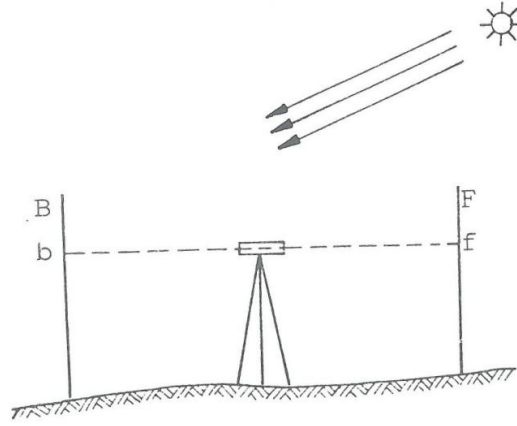
t_0 : mira ayar sıcaklığı

Δh : yükseklik farkıdır.

İkinci hata ise, güneş ışınlarının, miraların invar şeritlerini farklı etkilemeleri sonucunda ortaya çıkar. Eğer güneş ışınları şekil 2.3'teki gibi gösterilirse, bir alet kurmada miralardan birinin ön yüzü, diğerinin arka yüzü görünür. Miranın birinde invar şerit, güneş ışınlarını görür, diğerinde gölgede kalır ve invar şeritlerde bir sıcaklık farkı oluşur. Bu fark, ışınların yoğunluğuna ve güneş ışınlarının düşüş açısına bağlıdır. Schlemmer ve Zppelt'e göre sıcaklık farkları 6°C'ye ulaşabilir. Buradan her bir alet kurulumu için, düz bir nivelman yolunda, ortalama hedef yüksekliği yaklaşık 1.5 metre alınırsa;

$|\Delta t_2| \approx 20\mu m$ 'lik bir hata ortaya çıkar ve eğimli bir nivelman yolunda bu hata iki katını aşabilir.

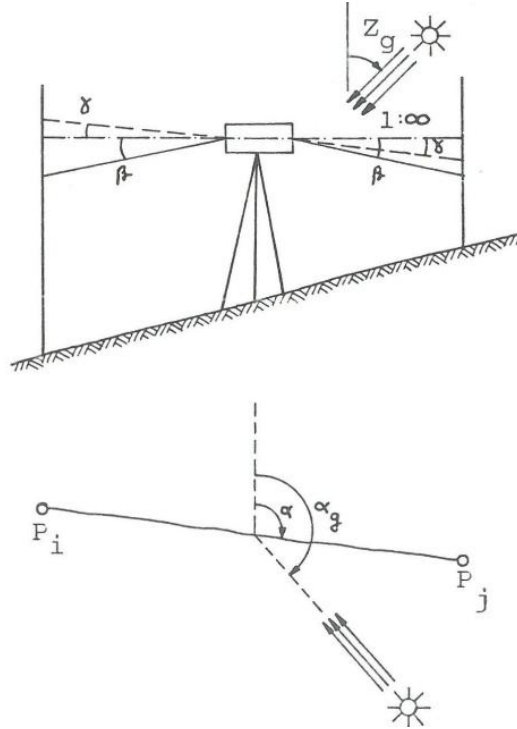
Eğer invar seridin, günlük sıcaklığı her zaman belirlenir ve değerlendirilmede dikkate alınırsa, bu hata kaynağı tamamen yok edilir.



Şekil 2. 3 Miraların İnvar Şeritlerine Güneş Işınlarnının Doğrudan Etkisi

2.2.5 Sıcaklığın Nivoya Etkisi

Silindirik düzeçli ve kompensatörlü nivoların optik sistemleri sıcaklık farklılaşmasından büyük ölçüde etkilenir. Bu etkilenme, nivonun sıcaklığı ortamın sıcaklığına uyuncaya kadar devam eder. Değişen çevre sıcaklığının ve tek yanlı güneş ışınlarının etkisinden ileri gelen sürekli farklar nedeniyle oluşan hata kaynakları uzun yıllardan beri bilinmektedir. Gözlem ekseninin yataydan sapma açısı β , geri ve ileri bakışlarda aynıdır. Aynı hedef uzaklığında bu hatanın etkisi ortadan kalkar (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4 Sıcaklığın Gözlem eksenine etkisi

Ayrıca tek yanlı güneş ışını bir yaçı hatası oluşturur. Bu hatanın büyüklüğü ışının yoğunluğuna, güneşin zenit açısına ve hedef doğrultusu ile güneş arasında azimut farkına bağlıdır. Bu, yaklaşık olarak

$$\gamma = \gamma_0 \cos(\alpha - \alpha_g) \quad (2.7)$$

ile ifade edilir. Burada;

α : nivelman doğrultusunun azimutu

α_g : güneşin azimutudur.

Geri bakıştan ileriye geçtikçe α , $\alpha + 200^\circ$ olur ve buna uygun olarak γ , $-\gamma$ olur.

Bu hata kaynağı fenklajlı nivolarda, otomatik nivolardan daha fazla etkili olur. Bununla birlikte sabit azimutlu bir nivelman doğrultusunda bu hata sistematik etkir. Sistematik hatanın etkisinin $10\mu\text{m}'$ den küçük kalması için alışılmış hedef uzaklığında gözlem ekseninin sabit kabul edilebilmesi için, Pelzer (1984)'e göre $\gamma_0 \leq 0.03''$ olmalıdır. Bu istemin sağlanabilmesi ise;

- Nivonun, güneş ışınlarına karşı güneş şemsiyesi ile korunması,
- Bir nivelman yolunun bir parçasında gidiş-dönüş ölçmeleri, güneşin α_g farklı azimutunda yapılması,
- Ölçmelerin giig şeklinde hızlı yapılması,
- Farklı tipte çok sayıda nivonun kullanılması

önlemleriyle olanaklıdır [1].

2.2.6 Mira Bölüm Başlangıç ve Bölüm Hataları

Bölüm başlangıç hatası, bölümlemenin miranın tam yere konulan ucundan başlamamasından ileri gelir. Nivelmanda kullanılan çift miranın bölüm başlangıçları, kullanma ve yapım nedeniyle aynı olmayabilir. Bu hata, yükseklik farkını, iki miranın sıfır başlangıçları arasındaki fark kadar etkiler. Bölüm başlangıç hatasını belirlemek için değişik yükseklikteki birkaç noktaya konulan mira altlıkları üzerine, iki mira ayrı ayrı tutularak iyi yataylanmış bir nivo ile okumalar yapılır. Aynı noktalara ait okumalar

arasında bir fark varsa bu fark bölüm başlangıç hatasıdır. Çeşitli noktalar için bulunan hataların ortalaması alınarak hata miktarı belirlenir. Alet kurma sayısının çift alınması ile de bu hatanın etkisi kendiliğinden ortadan kaldırılabilir.

Nivelman miralarının bölümleri kural olarak şablonla işaretlenir. Bununla birlikte, bir yandan şablon tamamen hatasız değildir ve diğer yandan şablonun mira üzerine aktarılmasında başka hatalar da etkili olduğundan tek tek bölüm çizgileri olması gereken durumdan saparlar. Tek tek t_i bölüm çizgileri için,

$$t_i = \bar{t}_i + e_i \quad (2.8)$$

geçerlidir. Burada;

t_i : bölüm çizgilerinin gerçek durumu

$\bar{t}_i$: bölüm çizgilerinin görünen değeri

e_i : bölüm hatasıdır.

Bölüm hatası e_i için

$$e_i = a_0 + a_1 t_i + \text{diğer hatalar} + r_i \quad (2.9)$$

eşitliği yazılabilir. Burada da,

a_0 : bölüm başlangıç hatası

a_1 : ölçek hatası

r_i : rastlantısal bölüm hatalarıdır.

Bölüm başlangıç hatası a_0 pratik uygulamalar için önemli değildir. Bununla birlikte a_1 ölçek hatasının bilinmesi gerekir. Son yıllarda yapılan araştırmalarda (2.9) eşitliğindeki “diğer hatalar” peryodik fonksiyonla da gösterilmektedir. Periyot uzunluğu ve peryodik genlik, üretim sürecinde testere dişi gibi farklılıklar gösterir ve tüm miralar için hiçbir zaman aynı değildir. Bir nivelman mirasının a_0 bölüm başlangıç hatasının ve a_1 ölçek hatasının elde edilmesi hiçbir zaman yeterli değildir. Çünkü peryodik bölüm hataları gereğinden çok fazla etkili olabilir.

Miralarda 1 metrelik bölümün gerçek uzunluğuna mira metresi denir. Mira metresi, olması gerek değerden birkaç on mikron kadar farklı olabilir. Bu farklılık sarsılma, çarpma ve eskime nedenleriyle de değişim gösterir. Uygulamada mira metresi yatay durumdaki mira komparatorları ile belli zaman aralarında kontrol edilir. Mira metresinin ayar çubuğundan 10'ar cm ara ile olan farkların ortalaması kullanılarak yükseklik farklarına düzeltme getirilir. Ancak bölüm farkları çoğu zaman mira boyunca düzenli bir değişim gösterir.

Son zamanlarda mira metresi kontrolleri laser interferometreleri kullanarak kurulan düzeneklerle yapılmaktadır. Bu yolla doğruluk derecesi ve kontrol hızı artırıldığı gibi mira bölümünün çeşitli noktaları arasındaki kontroller de kolaylıkla yapılabilir. Ayrıca miralar uygulamada dik olarak kullanıldığından, bu durumda yatay durumlarına göre mira metrelerinin 5-10 mikron daha kısa olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle miraların düşey durumda kontrol edilmeleri önerilmektedir. Noktalar arasında elde edilen yükseklik farkları mira metresi ile çarpılarak düzeltilir [1].

2.2.7 Eksen ve Ufuk Hataları

Nivoların gözlem eksenlerinin yatay konumları silindirik düzeç ya da kompensatör ile sağlanır. Gözlem ekseninin yataylığı kontrol edilip düzeltildikten sonra kalabilecek hatalar, alet-mira aralarının yeterli doğrulukla eşit alınması ile etkisiz bırakılabilir.

Ufuk hatası ise kompensatörlü nivoların yapılarından ileri gelir. Bu hatanın etkisini en aza indirebilmek amacıyla ölçmelerde küresel düzeç, dürbün hep aynı miraya doğru yöneltildiği zaman ortalansa ya da küresel düzeç, geriye bakışta ortalananarak g_1, i_1 okumaları daha sonra ileriye bakışta ortalananarak i_2, g_2 okumaları yapılırsa ufuk hatası ters işaretli olarak ölçülere yansıtacağından ortalama alındığında etki giderilmiş olur[1].

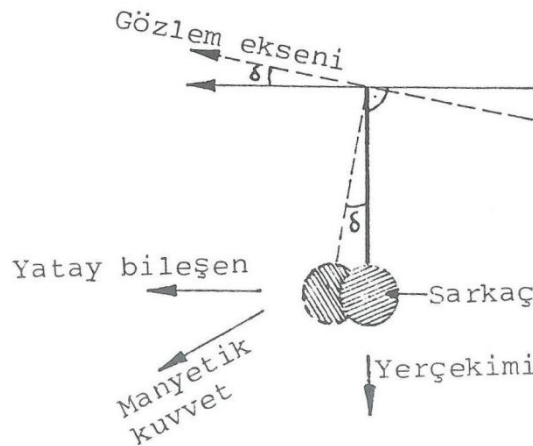
2.2.8 Alet ve Miranın Ölçme Sırasındaki Düşey Hareketleri

Bir istasyondaki ölçmeler sırasında sehpa ve miraların hareket etmeleri ölçüleri bozar. Bu etkiyi en aza indirmek için çeşitli ölçme yöntemleri ortaya konmuştur. Nivelmanda çift yüzlü (bölümlü) miralar kullanılıyorsa bu tip hataları en aza indiren ve uygulamada en çok kullanılan giig şeklindeki ölçmelerdir. Alet ve miranın düşey hareketlerinin

büyüklüğü eşit kabul edilirse ve bu ölçme şekliyle gidiş-dönüş ölçülerinin ortalamasından bulunacak kesin yükseklik farkı hatasız olarak elde edilir. Bu tip hatalar, önemli ölçüde, mira altlıklarının uygun seçilmemesi, nivelman yolunun yapısı ve alet kullanımı sırasında gerekli titizliğin gösterilmemesinden ileri gelir [1].

2.2.9 Yerin Manyetik Alanının Etkisi

Son yıllarda yerin manyetik alanının etkisi de sistematik hata kaynağı olarak gösterilmektedir. Bu hata kaynağı yalnızca otomatik nivolar için geçerlidir. Bir nivonun kompensatörü, yerçekiminin etkisi altında çekül doğrultusunu gösteren çok çabuk sönümlü sarkaç olarak ifade edilebilir. Nivonun gözlem doğrultusu sarkaçla sıkı sıkıya bağlıdır ve onunla bir dik açı oluşturur (Şekil 2.5). Eğer ayar hataları dikkate alınmazsa buna göre gözlem doğrultusu yatay olur.



Şekil 2. 5 Kompensatöre Manyetik Alanın Etkisi

Yerçekimine ek olarak manyetik alan da sarkaca ve dolayısı ile onun doğrultusuna etki eder. Bu ise kompensatörü δ kadar saptırır. Sapmanın büyüklüğü ve yönü kompensatörün yapısına ve kullanılan maddenin manyetik özelliklerine bağlıdır. Gözlem eksenini, manyetik alanın yatay bileşenine paralel olduğu zaman sapma miktarı maksimuma ulaşır.

δ sapma açısı, yalnızca manyetik azimut ile değiştiğinden ve manyetik azimut da nivelman doğrultusunun yönüyle önceden verildiğinden, bu hata kaynağının etkisini ortadan kaldırmak kolay değildir. Hatanın ortadan kaldırılması için tek etkili olanak, nivelman aletinin yapımında kompensatörün yapısal değişimidir [1].

2.2.10 Nivelman Ölçülerinde Refraksiyonun Etkisi

Atmosferi meydana getiren gazların ortaya çıkardığı atmosfer yoğunluğu, toplam basınca, buhar basıncına ve sıcaklığa bağlıdır. Bu değerler zaman ve yer olarak değişeceklerinden atmosfer yoğunluğu ve buna bağlı kırılma indisi de değişir. Farklı kırılma indisine sahip atmosfer tabakalarından geçerek, hedeften ölçü aletine gelen ışığın yolu, bir eğri şeklinde oluşur. Bu eğrilme nedeniyle ölçü, ışın yolu eğrisine alet noktasında teğet olan doğrultu boyunca yapılır. Böylece ölçülmesi gereken değerden uzaklaşır.

Işığın farklı yoğunluktaki tabakalardan geçerek kırılması olayı refraksiyon olarak adlandırılmaktadır. Refraksiyon hatasının belirlenmesi için çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modeller, orijinal ölçü farklarını kullanan “dolaysız modeller” ve güneş ışınları, kırılma yoğunluğu ve coğrafi verileri kullanan “dolaylı modeller” olarak ikiye ayrılabilir. Ama dolaysız ve dolaylı refraksiyon modellerinin hiçbiri refraksiyon düzeltmelerinin hesabında kesin bir sonuç vermemektedir. Refraksiyon düzeltmesi için yapılan her çalışmada çeşitli varsayımlar ve yaklaşıklıklar vardır. Yapılan uygulamalar sonucunda bulunan refraksiyon düzeltmelerinin en fazla 1 mm civarında olduğu görülmüştür. Bu nedenle nivelman işleminde miralar alete eşit uzaklıkta tutularak, aleti yerden olabildiğince yüksek kurarak ve hava yoğunluğunun daha az değiştiği öğle saatlerinde ölçü yaparak, refraksiyon etkisi giderilmeye çalışılır [5].

2.2.11 Yerçekiminin Etkisi

Geometrik nivelman ölçüleri, yerçekimi alanının yerel eşpotansiyelli yüzeylerine bağlıdır. Eş potansiyelli yüzeyler ise genelde birbirlerine paralel değildir ve nivelmanla bulunan yükseklik farkları yola bağlıdır. Bu nedenle yükseklik farkları tam olarak tanımlanmış bir yükseklik sistemine aktarılmalıdır. Bunun için nivelman yolu boyunca eğimin ve yönün değiştiği noktalardan başka, genellikle yüksekliği istenen noktalarda ya da onların yakınlarında da ağırlıklar ölçülür. Ölçülen bu ağırlıklar ortometrik yüksekliği ya da başka bir sistemdeki tek anlamlı yüksekliği elde etmek için düzeltmelerin hesaplanmasını olanaklı kılar. Yerkabuğundaki yoğunluk dağılımına ilişkin varsayımlardan bağımsız olması nedeniyle, geopotansiyel yüksekliklerin hesaplanması,

çoğu sorunun çözümünde yeterlidir. Geopotansiyel yükseklikler, ölçülen yükseklik farkları ve ağırlık değerleri yardımıyla doğruya yakın bir incelikte hesaplanabilmektedir.

Eğer yalnızca yükseklik değişimleri araştırılıyorsa, yerçekimi, yükseklik farklarına tüm periyotlarda aynı derecede etki edeceğinden, bu hatanın etkisi ortadan kalkar. Burada yerçekimi alanının zamanla değişmediği kabul ediliyor. Bununla birlikte ilmik kapanmaları, kullanılan yöntemle bağlı olarak eş potansiyelli yüzeylerin birbirlerine paralel olmaması yüzünden sonuçlara ya da en azından istatistik testlere etki edebilirler [1].

2.3 Hassas Nivelmandan Beklenen Sonucu Alabilmek İçin Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

- Nivo, hareket etmeyecek şekilde dikkatlice kurulmalıdır.
- Anafor ısı iletimi nedeniyle oluşan düzensiz kırılmanın yarattığı kötü etkilerden sakınmak için, nivo mümkün olduğu kadar yüksek kurulmalıdır; ölçü ışıını, yerden veya duvarlardan en az 0.7 m yüksekten veya öteden geçmelidir.
- Miranın ucu temiz olmalıdır.
- Geri ve ileri okumalar arasındaki uzaklıklar arasında 0.5 m den fazla fark olmamalıdır.
- Mira bölüm başlangıç hatasının etkisini önlemek için ölçüm, hangi mira ile başlamış ise o mira ile bitirilmelidir. Gidiş-dönüş ölçülerine ayrı miralarla başlanmalıdır. Örneğin gidiş ölçmesine 1. Mira ile başlanmışsa, dönüş 2. Mira ile başlanmalıdır.
- Ölçme, bulutlu havalarda veya sabah ya da ikindi saatlerinde yapılmalıdır.
- Mira, mira payandaları ile desteklenmeli ve mira düzecinin yardımıyla tam düşey durumda tutulmalıdır.
- Her okuma ikişer kez yapılmalı ve ortalaması alınmalıdır.
- Mira okumalarında önce gerideki mirada sol bölüm (g_I), sonra ilerideki mirada sol bölüm (i_I), sonra yine ilerideki mirada sağ bölüm (i_{II}) ve en son olarak da gerideki mirada sağ bölüm (g_{II}) okunmalıdır. Yani kırmızı pantolon yöntemi uygulanmalıdır.

- Nivelman işlemleri elden geldiğince kısa zaman içinde bitirilmelidir [3].
- Aletle mira arasındaki uzaklık 30 metreden fazla olmamalıdır.
- Sistemik hataların etkisini azaltmak için gidiş ve dönüş ölçüleri aynı geçki üzerinde olmalıdır.
- Her mira okumasında eğim vidası yardımıyla boru düzeç yeniden ayarlanmalıdır [7].
- Yükseklik noktalarının tesisleri, başlangıç ölçmelerinin yapılmasından 3 – 6 ay önce tamamlanmalıdır.
- Barajlardaki yükseklik ağırları, varsa hidrostatik nivelman düzeneği ile bağlantılı olmalıdır.
- Gözlemleri, aynı gözlemci, aynı nivo ve miraları kullanarak aynı atmosferik koşullar altında yapılmalıdır.
- Nivelmanların temel koşulları test edilmelidir.
- Kompansatörlü nivelarda küresel düzeç hep aynı miraya yöneltme yapılarak ayarlanmalı ve ilk okuma hep aynı mirada yapılmalıdır.
- Mira çiftleri kontrol edilmelidir. Her bir miranın sıfır noktası belirlenmelidir. Miraların sıfır noktası hatası farkı belirlenmelidir [16].
- Gidiş ve dönüş ölçüleri sırasında olanaklı ise nivelmanların aynı yere kurulmasına, miraların ise aynı yerde tutulmasına özen gösterilmelidir [9].

NİVELMAN AĞLARINDA UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN BELİRLENMESİ

Elde olmayan nedenlerle ölçü kümesi kirletilmiş olabilir. Ölçme sırasında yanlış okuma, bilgisayar ortamına aktarırken kopyalama hataları, nokta numarasının hatalı girilmesi, bazı ölçüler için indirgemelerin unutulması vb. kaba hatalar yanında, ölçü kümesinin özelliklerine uymayan uyumsuz ölçülerle de karşılaşılabilir.

Bir uyumsuz ölçünün meydana gelmesi olasılığı sıfır olsa bile, yüksek kalite için uyumsuz ölçü testleri uygulanmalıdır. Rastgele ölçü hataları normal dağılmış ise bilinmeyenler ve bunların standart sapmaları En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY) kullanılarak, olasılığı en yüksek ve en optimal biçimde kestirilir. Ancak ölçü kümesinde tek bir uyumsuz ölçü olsa bile EKKY ile kestirilen tüm bilinmeyenler ve standart sapmaları bozulmaktadır. EKKY bu uyumsuz ölçünün bozucu etkisini tüm geri kalan iyi ölçülerin düzeltmeleri üzerine yaymaktadır. Tek bir uyumsuz ölçü bile EKKY'den elde edilen tüm kestirim değerlerini anlamsız kılmaya yetmektedir. EKKY uyumsuz ölçülere karşı çok duyarlıdır. Kestirim sonuçlarının güvenilir olması için uyumsuz ölçülerin saptanması ve ölçü kümesinde etkisiz hale getirilmesi gerekmektedir [12].

Jeodezik ölçülerin değerlendirilmesinde en küçük kareler (EKK) yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer bir deyişle, aynı büyüklüğün gereğinden çok sayıda ölçülmesi sonucunda bunlardan türetilcek parametreler temeli en küçük kareler yöntemine dayanan dengeleme hesabı ile bulunurlar. Ancak ölçülerde olası uyumsuz ölçülerin yer alması halinde EKK yönteminden elde edilecek parametreler olumsuz etkilenmektedirler. Bu nedenle kaba hatalı (uyumsuz) ölçülerin mutlaka belirlenmesi

gerekmektedir. Bunun için iki farklı yaklaşım geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanlar; Klasik yaklaşıma dayalı test yöntemleri (Baarda'nın Data-Snooping yöntemi, Tau-Testi, T-Testi vb.) ve robust yöntemlerdir [10].

Klasik yöntemler arasındaki fark, düzeltmelerin standartlaştırılması için değişik varyans faktörleri kullanılmasından kaynaklanmaktadır; Baarda test yönteminde (data-snooping) önsel (apriori) varyans, Pope test yönteminde sonsal (aposteriori) varyans ve t-testinde ilgili ölçünün dışında kalan ölçülerin dengelenmesi sonunda elde edilen sonsal varyans kullanılır [15].

Bir I_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 $\mathcal{G}$ yi etkiler. Bir ölçüdeki Δ_i hata varsayımı ile ölçüler vektörü

$$I' = I + e_i \Delta_i \quad (3.1)$$

biçiminde yazılabilir. Burada I' hatalı ölçü; I hatasız ölçü ve

$$e_i^T = [0 \ 0 \ \dots \ 1 \ \dots \ 0 \ 0] \quad (3.2)$$

biçimindedir.

Bir ölçüdeki hatayı belirleyebilmek için onun tüm dengeleme sonuçlarına, özellikle düzeltmelerin kareleri toplamı $\mathcal{G}^T P \mathcal{G}$ ye olan etkisini araştırmak gerekir.

Dengeleme modelinden I_i ölçüsüne ait düzeltme denklemi çıkarılarak kalan düzeltmeler vektörü v_i , I_i dışında kalan ölçülere ilişkin ağırlık katsayıları matrisi P_{ii} ile gösterilerek ölçülerin korelasyonsuz olduğu varsayımı ile

$$\Omega_i = \mathcal{G}_i^T P_{ii} \mathcal{G}_i \quad (3.3)$$

yazılabilir. Buradan I_i ölçüsünün düzeltmeler toplamına etkisi

$$\Omega = \mathcal{G}^T P \mathcal{G} = I^T P Q_{gg} P I \quad (3.4)$$

eşitliği de göz önüne alınarak

$$\Omega - \Omega_i = \frac{\mathcal{G}_i^2}{q \mathcal{G}_i \mathcal{G}_i} \quad (3.5)$$

Bağıntısıyla bulunabilir. Bu bağıntıdan hareket edilerek Ω_i yeni bir dengeleme yapılmadan

$$\Omega_i = \Omega - \frac{g_i^2}{q g_i g_i} \quad (3.6)$$

Şeklinde elde edilebilir. $q g_i g_i$, düzeltmelerin ters ağırlık matrisi Q_{gg} 'nin i köşegen elemanıdır. Hatalı kabul edilen I_i ölçüsünün bulunmadığı modelden dengeleme sonrası varyans

$$s_0^2 = \frac{\Omega_i}{f_i}, f_i = n - u - 1 \quad (3.7)$$

hesaplanabilir [5].

3.1 Data – Snooping Yöntemi

Hatalı ölçünün ortaya çıkarılması için n sayıda ölçünün her biri sıfır hipotezi

$$H_0 : E(\Delta_i) = 0 \quad (3.8a)$$

ve seçenek hipotezi

$$H_s : E(\Delta_i) \neq 0 \quad (3.8b)$$

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

$$W_i = \frac{|g_i|}{\sigma_{g_i}} = \frac{|g_i|}{\sigma \sqrt{q g_i g_i}} \sim N(0,1) \quad (3.9)$$

test büyüklüğü kullanılabilir. W_i test değeri BAARDA tarafından **“Data – Snooping”** değeri olarak adlandırılmıştır. (3.9) eşitliğindeki σ , teorik ortalama hatayı göstermektedir.

W_i test büyüklüklerinden en büyüğü $W_{\max}$ normal dağılımdan türetilen sınır değerden daha büyük oluyorsa,

$$W_i = W_{\max} = \frac{|g_i|}{\sigma \sqrt{q g_i g_i}} > N_{1-\alpha_0/2} = \sqrt{F_{(1,\infty,1-\alpha_0)}} \quad (3.10)$$

i ölçünün uyuşumsuz olduğu varsayılır. Duruma göre o ölçü atılır veya yeniden ölçülür. Sonra tekrar dengeleme yapılır. Bu işleme uyuşumsuz ölçü kalmayınca kadar devam edilir.

$\alpha_0 = 0.001$ için $\sqrt{F_{(1,\infty,1-\alpha_0)}} = 3.29$ olacağından (3.10) eşitliğine göre

$$|g_i| > 3.29\sigma_{g_i} \quad (3.11)$$

olan, düzeltmesi standart sapmasının yaklaşık 3 katı olan ölçü, uyuşumsuz kabul edilir[5].

3.2 Tau - Testi

Dengeleme öncesi teorik standart sapma σ yeterli yaklaşıklıkla bilinemiyorsa, test için uyuşumsuz ölçülerin de fonksiyonu olan dengeleme sonrası birim ölçünün ortalama hatası m_0 kullanılabilir. Sıfır ve seçenek hipotezleri olarak (3.8) eşitlikleri kabul edilerek, test büyüklüğü

$$T_i = \frac{|g_i|}{m_{g_i}} = \frac{|g_i|}{m_0 \sqrt{q_i g_i}} \quad (3.12)$$

biçiminde önerilmiştir. T_i test büyüklüğü f serbestlik dereceli τ (tau)-dağılımındadır. τ - Dağılımı'nın sınır değeri C_s ise, herhangi bir T_i 'nin C_s değerinden büyük olma olasılığı şöyle hesaplanabilir.

Tüm T_i ($i=1,2,\dots,n$)'lerin birlikte elde edilme olasılığı bunların olasılıkları çarpımına eşittir. Test büyüklükleri arasında korelasyonlar hesaba katılmazsa toplam olasılık $\alpha = 1 - (1 - \alpha_0)^n$ dir. α_0 , bir tek ölçünün testi için yanlışma olasılığını göstermektedir. Toplam olasılık α verilirse ($\alpha = 0.05$) yaklaşık olarak

$$\alpha_0 \cong 1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{n}} \cong \frac{\alpha}{n} \quad (3.13)$$

elde edilir.

Ölçü sayısı arttığında öngörülen α değerine göre hesaplanan α_0 çok küçük çıkabilir ve test duyarlı olmaz. Bu durumda α_0 sabit alınıp ($\alpha_0 = 0.001$) gerekirse toplam olasılık

α 'yı buna göre hesaplamak uygun olur. Ayrıca incelenen ağ küçük bölümlere ayrılarak bu sakınca giderilir.

Test büyüklüklerinden en büyüğü $T_{\max}$, serbestlik derecesi f , yanılma olasılığı α_0 olmak üzere belirlenen $C_s = \tau_{(f, 1-\alpha_0)}$ sınır değerinden büyükse

$$T_{\max} \geq C_s \quad (3.14)$$

İlgili ölçünün uyuşumsuz olduğuna karar verilir. Bu ölçü atılır ya da yenilenir. Bu işleme Data-Snooping yöntemindeki gibi ardışık dengelemelerle devam edilir [5].

3.3 t – Testi

Test büyüklüğünün, Tau-testinde (3.12) eşitliğiyle hesaplanmasında teorik olarak küçük bir ihmal vardır. Eğer I_i ölçüsünde Δ_i kadar bir kaba hata varsa, geçerli olmayan dengeleme modelinden hesaplanan m_0 değerinin 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 ,

$$s_0^2 = \frac{1}{f-1} (f m_0^2 - \frac{g_i^2}{q g_i g_i}) \quad (3.15)$$

hesaplanabilir. Test büyüklüğü,

$$t_i = \frac{|g_i|}{s_0 \sqrt{q g_i g_i}} \sim t_{f-1} \quad (3.16)$$

oluşturulur. Bu büyüklük $f-1$ serbestlik dereceli t-dağılımıdır. t_i test değerinden en büyüğü $t_{\max}$, serbestlik derecesi $f-1$ ve (3.13) eşitliğinden bulunacak α_0 yanılma olasılığı ile hesaplanacak $t_{(f-1, 1-\alpha/2)}$ sınır değerinden büyükse

$$t_{\max} > t_{(f-1, 1-\alpha_0/2)} \quad (3.17)$$

ilgili ölçü uyuşumsuzdur. Bu ölçü atılır ya da yenilenir. Dengeleme işlemine diğer testlerde olduğu gibi uyuşumsuz ölçü kalmayıncaya kadar devam edilir.

τ -dağılımı ile t - ve F -dağılımları arasında

$$\tau = \frac{\sqrt{f}t_{f-1}}{\sqrt{f-1+t_{f-1}^2}} \quad (3.18a)$$

$$t_{f-1} = \tau \sqrt{\frac{f-1}{f-2}} \quad (3.18b)$$

$$t_{(f-1, 1-\alpha_0/2)}^2 = F_{(1, f-1, 1-\alpha_0)} \quad (3.18c)$$

bağıntıları geçerlidir. Bu bağıntılarda τ -dağılımının sınır değerleri t - ya da F -dağılımlarının sınır değerleri ile hesaplanabilmektedir [5].

3.4 Robust (Sağlam) Kestirim Yöntemi

Caspary ve Borutta (1987), üç robust metodu üzerinde durmuşlardır. Bunlar, Danimarka metodu, M-kestiricisi (Huber) metodu ve Asgari Mutlak Toplam (Least Absolute Sum (LAS)) metodu. Yine Caspary ve Borutta (1987)'ya göre, bu metodlardan en sağlamı Danimarka metodudur [13].

Chen (1983) iteratif ağırlıklı benzerlik dönüşümü diye bilinen (IWST iterative weighted similarity transformation) bir robust yöntemini önermiş olup, bu yöntem Kanada, New Brunswick Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. LAS ve IWST robust yöntemleri geniş uygulama alanlarına sahiptir [13].

HUBER'in öncülüğünü ettiği ve HAMPEL ve ANDREWS gibi birçok araştırmacının katkılarıyla, günümüzde de gelişen robust istatistik, bilinmeyen parametreleri ve standart sapmalarını uyuşumsuz ölçülerden etkilenmeden belirlemeyi amaçlamaktadır. Robust kestirimin yararı, uyuşumsuz ölçülerin kestirilen bilinmeyenler üzerindeki etkisini azaltması hatta yok etmesidir. Robust kestirim uyuşumsuz ölçülerin etkilerini sınırlandırır. Model varsayımlarından küçük sapmalara karşı duyarlı değildir. Uyuşumsuz ölçüler tüm düzeltmeleri bozmaz, yalnızca ilgili düzeltmeleri büyütür. Robust M-Kestiriminde önemli bir özellik, yinelemeli yeniden ağırlıklandırılmalı EKKY'ne göre bilinmeyenlerin çözümü sırasında, başlangıçta verilen a priori(önsel) P ağırlık matrisinin yineleme aşamasında uyuşumsuz ölçülere ait olan yalancı ağırlıklarının küçülmesi hatta hızla sıfıra yakınsamasıdır. Bu özellik uyuşumsuz ölçülerin tanınmasını, saptanmasını sağlar.

HUBER (1964), bir dağılımın konum parametresi için Maksimum Likelihood Kestiricisini genelleştiren M-kestiricisini aşağıdaki gibi ortaya atmıştır.

$$M = \sum_{i=1}^n p(\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j - l_j) = \sum_{i=1}^n p(v_i) = \min \quad (3.19)$$

Burada $p(v_i)$ herhangi bir konveks fonksiyon olabilir. Buna kayıp fonksiyonu da denir. $p(v_i)$ 'nin v_i 'ye göre türevi

$$\frac{\partial p(v_i)}{\partial v_i} = \psi(v_i) \quad (3.20)$$

Olarak gösterilen fonksiyona etki fonksiyonu denir. v_i 'lerin bilinmeyenlerin bir fonksiyonu olduğu göz önüne alınarak M 'nin bilinmeyenlere göre türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse,

$$\frac{\partial M}{\partial x_j} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial p(v_i)}{\partial v_i} \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = \sum_{i=1}^n \psi(v_i) \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = 0 \quad (3.21)$$

veya

$$\sum_{i=1}^n \psi(v_i) a_{ij} = 0 \quad (3.22)$$

ve matris gösterimi ile,

$$A^T \psi(v) = A^T \psi(\hat{A} \hat{x} - l) = 0 \quad (3.23)$$

yazılır. Bu denklem genellikle doğrusal değildir, ancak düzeltmeler normal dağılımda ise doğrusal olur ve bu durumda yöntem EKKY ile özdeşleşir.

(3.23) eşitliğindeki toplam terimleri ile çarpılıp bölünür ve

$$W = W(v) = \frac{\psi(v_i)}{v} = \frac{\psi(\hat{A} \hat{x} - l)}{\hat{A} \hat{x} - l} \quad (3.24)$$

dönüşümü yapılırsa, EKKY'nin normal denklemlerine benzer olan

$$A^T W(v) = A^T W(\hat{A} \hat{x} - l) = 0 \quad (3.25)$$

eşitliği elde edilir. Buradan

$$\hat{x} = (A^T W A)^+ A^T W l \quad (3.26)$$

yazılabilir. Bu denklemden $\hat{x}; W_{(v)}$ ağırlık fonksiyonu, henüz v_i 'ler bilinmediğinden doğrudan çözülemez. Ancak gerçel değerli bir fonksiyon seçilip yinelemeli yeniden ağırlıklandırılmalı EKKY ile

$$\hat{x}^{(k)} = (A^T W^{(k)} A)^+ A^T W^{(k)} l, \quad (3.27)$$

$$W^{(k)} = P W(v^{(k)}), k = 1, 2, \dots, k_1, \quad (3.28)$$

$$W(v^{(0)}) = I, \quad (3.29)$$

kolayca çözülebilir. Yukarıdaki eşitliklerde geçen (k) ifadesi yinelemeli dengelemedeki k . iterasyonu göstermektedir. Burada P önsel ağırlık matrisi, k iterasyon sayısı, $W = W_{(v)}$ ise seçilen ağırlık fonksiyonudur. Başlangıçta $k=1$ $W(v^{(0)}) = I$ için ve dolayısıyla $W^{(1)} = P$ alınır. Özetle, önce EKKY ile ölçüler serbest dengelenerek düzeltmeler bulunur ve sonra W yeni ağırlık matrisi belirlenip, yeniden serbest dengeleme yapılır. Bu yinelemeli ardışık çözüm sonuçları $(\hat{x}^{(k)})$ arasındaki farklar belirli bir sayıdan küçük oluncaya kadar sürdürülür. Bu yinelemeli çözümde W yeni ağırlık matrisleri her aşamada yeniden belirlenir.

Uyuşumlu ölçülerin düzeltmeleri uyşumsuz ölçülere göre daha küçük olduğu için, bunların ağırlıkları $(W^{(k)})$, x bilinmeyenleri (3.29) ve (3.30) eşitliklerinden yinelemeli EKKY ile çözümü süresince neredeyse hiç değişmemesine karşın, uyşumsuz ölçülerin yeni ağırlıkları $(W^{(k)})$ giderek küçülmekte ve hatta sıfıra yaklaşmaktadır. Bu robust kestirimin en önemli özelliklerinden birisidir. Böylece kuşkuilanılan uyşumsuz ölçüleri saptamak ve tanımak olanaklı olmaktadır.

Robust kestirim adı altında yetmiş dolayında fonksiyon olduğundan söz edilmektedir. Ancak belli bir bölümü jeodezik amaçlar için uygulanabilmektedir.

HUBER (1964)'in robust kestiricisinin ağırlık fonksiyonu $(W(v_i))$ şöyle verilir:

$$W(v_i) = \begin{cases} 1 & |v_i| \leq c \\ \frac{c}{|v_i|} & |v_i| > c \end{cases} \quad (3.30)$$

HUBER kestiricisi, ortada normal yani Gauss çan eğrisi ve kenarlarda Laplace eğrisi olan bir yoğunluk fonksiyonuna dayanır. C katsayısı genellikle 1.5 seçilen sabit bir sayıdır ve gerçek hata modellerine göre değiştirilebilir.

ANDREWS (1974) doğrusal regresyon problemlerinin çözümü için aşağıda verilen sinüs kestirimini geliştirmiştir:

$$W(v_i) = \begin{cases} \left(\frac{|v_i|}{c}\right)^{-1} \sin\left(\frac{|v_i|}{c}\right) & |v_i| \leq c\pi \\ 0 & |v_i| > c\pi \end{cases} \quad (3.31)$$

Burada c değeri için çeşitli araştırmalara dayanarak 2.1 değerinin alınması önerilmiştir.

Danimarka yöntemi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$W(v_i) = \begin{cases} 1 & |v_i| < c \\ \exp\left(-\frac{|v_i|}{c}\right) & |v_i| \geq c \end{cases} \quad (3.32)$$

Burada c sabiti için 1.5, 2 ve 2.5 değerleri seçilir. Yöntem KRAUP tarafından 1973 yılında sunulmuştur.

Uyuşumsuz ölçülerin etkisini azaltmak için HAMPEL (1974) 4 bölgeli bir ağırlık fonksiyonu ileri sürmüştür:

$$W(v_i) = \begin{cases} 1 & 0 < |v_i| \leq a \\ \frac{a}{|v_i|} & a < |v_i| \leq b \\ \frac{a(c-|v_i|)}{|v_i|(c-b)} & b < |v_i| \leq c \\ 0 & |v_i| > c \end{cases} \quad (3.33)$$

Burada a, b ve c sabitlerinin seçimi için HAMPEL 2, 4 ve 8 değerlerini ileri sürmüştür. Deneylerimize göre jeodezik ağlarda bu değerlerin sırasıyla 1.5, 3 ve 6 olarak belirlenmesi daha uygundur.

Bu noktaya kadar yinelemeli ve yeniden ağırlıklandırmalı robust M-kestirim yöntemleri anlatılmıştır. Bunların dışında bazı robust kestiriciler mevcuttur. Örneğin L_1 -norm yöntemi EDGEWORTH (1987) tarafından bir robust kestirici olarak ortaya konmuştur. Huber bu yöntemi, yinelemeli ve yeniden ağırlıklandırmalı M-kestirim için bilinmeyenlerin ilk başlangıç değerlerinin bulunmasında da kullanmıştır. L_1 -norm yönteminin en önemli özelliği, bazı şartlarda klasik EKK dengelemesinin yerini alacak olan yöntem değil, ek bir robust yöntem olmasıdır. Yakın geleceğe kadar uygulamalı bilimlerde L_1 -norm'un kullanılmamasının sebebi etkin bir algoritmanın ve ilgili istatistiksel kuramların yeterince geliştirilememiş olmasıydı. 1950'li yıllarda simpleks yönteminin ve daha sonra BARRADOLE ve ROBERTS (1974)'de verilen düzenlenmiş simpleks yönteminin geliştirilmesi ile bilgisayar ortamında çalışılabilen bir algoritma bulunmuştur. Son 20 yıldır jeodezi biliminde uygulanan L_1 -norm genellikle iki ana amaca yönelik kullanılmaktadır: Kestirim ve uyuşumsuz ölçü saptama L_1 -norm yöntemine ait kestirim fonksiyonu,

$$p(v_i) = \sum_{i=1}^n |v_i| = \min \quad (3.34)$$

eşitliği ile gösterilmektedir[12].

3.5 Test Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Model hatalarını oluşturan, normal dağılıma uymayan uyuşumsuz ölçüler, yukarıda açıklanan test yöntemleri ile ayıklanmaktadır. Data-Snooping, t-Testi ve Tau-Testi ana fikir olarak aynıdır. Yalnızca farklı dağılımlardaki test büyüklükleri kullanılmaktadır.

Test yöntemlerinden herhangi biri ile bir anda birden fazla uyuşumsuz ölçü saptanması durumunda, uyuşumsuz ölçülerin hepsi atılmamalı, içlerinden en büyük test büyüklüğüne sahip olan ilk önce atılmalı ve dengeleme yenilenerek test yinelenmelidir. Çünkü en büyük test büyüklüğüne sahip ölçü, diğer ölçüleri etkilemiş olabilir.

Çok büyük serbestlik derecelerinde testler duyarsızlaşmaktadır. Bu nedenle dengeleme problemi parçalara ayrılarak uyuşumsuz ölçülerin ayıklanması yoluna gidilir. Küçük serbestlik derecelerinde de ($f < 10$), τ ve t testleri etkisiz kalmaktadır.

Aynı yanılma olasılığı α_0 için t-testi veya tau-testinden bir tanesini uygulamak yeterli olmaktadır.

Robust kestirim yönteminde her yinelemede ölçüler için uygun ağırlıklar belirlenmekte herhangi bir ölçünün ölçü kümesinden çıkarılması söz konusu olmamaktadır. Bu özelliği robust kestirimin uyuşumsuz ölçülerin ayıklanmasında, diğer yöntemlere göre üstünlüğü olarak değerlendirilmektedir [5].

Çok sayıda örnek kümeye dayanan uygulama sonuçlarına göre nivelman ağlarında en başarılı yöntemler, Danimarka, Hampel ve L_1 -norm yöntemleri şeklinde sıralanabilir. Gerçekleştirilen uygulamalara göre, jeodezik ağlarda uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesinde robust yöntemler kullanılmalıdır. Bununla birlikte, örnek kümede uyuşumsuz ölçü olmamasına karşın robust kestiricilerin bazı durumlarda iyi bir ölçüyü uyuşumsuzmuş gibi belirleyebildiğine de dikkat edilmelidir [12].

NİVELMAN AĞLARINDA DUYARLIK VE GÜVEN ÖLÇÜTLERİ

4.1 Giriş

Ülke nivelman ağlarının, nivelman sıklaştırma ağlarının, düşey deformasyonların belirlenmesi için kurulan ağların, kurulma amaçları için yeterli olup olmadıklarının belirlenmesi gerekir. Bu tür ağlarda çeşitli duyarlık istekleri vardır.

Duyarlık ölçütleri, kaba ve sistematik hatalardan arındırılmış ölçülerle yapılan dengeleme sonucunda hesaplanan değerler olmalıdır. Duyarlık ölçütleri aynı zamanda geçerli bir dengeleme modeli ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilirse gerçekçi olurlar. Bundan dolayı dengelemenin fonksiyonel modeli, ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkileri doğru ve tam olarak kapsamalı, stokastik model de ölçülerin duyarlıklarının ve aralarındaki korelasyonu yeterince yansıtmalıdır. Bunun tersi olması durumunda model hatası oluşur. Dengeleme modelinin geçerli olup olmadığı ya da model hatası oluşup oluşmadığı da güven ölçütleri ile denetlenir [11].

4.2 Nivelman Ağlarında Duyarlık Ölçütleri

Duyarlık ölçütleri ağın kalitesini gösteren ölçütlerdir. Bu ölçütler, dengeleme modeli geçerli olduğu durumlarda gerçeğe uygun bilgi verirler. Dengelemenin matematik modeli, ölçüler ile bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkileri içeren fonksiyonel model ile ölçülerin duyarlıklarını, aralarındaki korelasyonları yansıtan stokastik modelden oluşmaktadır.

Nivelman ağları için matematik model aşağıdaki gibi kurulur.

H_i, H_j : i ve j noktalarının yükseklikleri,

Δh_{ij} : i ve j noktaları arasında ölçülen yükseklik farkı ve

$\mathcal{G}_{ij}$: Ölçüye eklenecek düzeltme

olmak üzere ölçü denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$\Delta h_{ij} + \mathcal{G}_{ij} = H_j - H_i \quad (4.1)$$

Dengeli ölçülere ilişkin denklemler matris gösterimi ile yazılarak fonksiyonel model ve stokastik model aşağıdaki biçimde oluşturulur.

$$l + \mathcal{G} = Ax \quad (4.2)$$

$$K_{ll} = s_0^2 Q_{ll} \quad (4.3)$$

Burada A , katsayılar matrisini, l ölçüleri ve x , bilinmeyenleri, K_{ll} , ölçülerin varyans-kovaryans matrisini, s_0^2 birim ölçünün öncül varyansı ve Q_{ll} , ölçülerin ters ağırlık matrisini göstermektedir.

Bu model enküçük kareler ilkesine göre $\mathcal{G}^T P \mathcal{G} = \min.$ koşulunu sağlayacak şekilde çözülerek aşağıdaki eşitlikler bulunur.

$$x = (A^T P A)^{-1} A^T P l \quad \text{Dengeleme bilinmeyenleri} \quad (4.4)$$

$$Q_{xx} = (A^T P A)^{-1} \quad \text{Bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi} \quad (4.5)$$

$$Q_{\mathcal{G}\mathcal{G}} = P^{-1} - A Q_{xx} A^T \quad \text{Düzeltilmelerin ters ağırlık matrisi} \quad (4.6)$$

$$\mathcal{G} = -Q_{\mathcal{G}\mathcal{G}} P l \quad \text{Düzeltilmeler} \quad (4.7)$$

$$m_0^2 = \frac{\mathcal{G}^T P \mathcal{G}}{n - u} \quad \text{Birim ölçünün varyansı} \quad (4.8)$$

Burada,

$P_i = 1/s_i$: Ölçülerin ağırlıkları,

s_i : Nivelman geçkisinin uzunluğu,

n : Ölçü sayısı,

u : Bilinmeyen sayısıdır [11].

4.2.1 Model Hipotezinin Testi

Model hataları, dengeleme sonuçlarını etkilerler. Bu nedenle dengelemenin matematik

modelinin, ölçülerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkiler ile ölçülerin stokastik özelliklerini doğru ve noksansız olarak yansıtıp yansıtmadığı model hipotezinin testi yoluyla denetlenir. Modelin geçerliliğini test etmek için benzer türden çok sayıda ölçünün değerlendirilmesi sonucu dengelemeden önce elde edilen birim ölçünün ortalama hatasının öncül (a priori) değeri s_0 ile dengeleme hesabı sonunda bulunan birim ölçünün ortalama hatasının soncul değeri (a posteriori) m_0 'ın umut değerlerinin aynı kuramsal standart sapma σ_0 'a eşit olup olmadıkları irdelenir.

$$E\{m_0^2\} = E\{s_0^2\} = \sigma_0^2 \quad \text{Sıfır Hipotezi} \quad (4.9)$$

Geçerli bir matematik model ile dengeleme yapılmış ise bu eşitlik sağlanır. Eşitliğin doğruluğu test edilerek irdelenir. Öncelikle test büyüklüğü T hesaplanır.

$$T = \frac{m_0^2}{s_0^2} \quad (4.10)$$

Bu değer, dengeleme hesabının serbestlik derecesi f , öncül değer s_0 'ın serbestlik derecesi f_0 ve yanılma olasılığı α ($=\%5$) olmak üzere $F_{(f, f_0, 1-\alpha/2)}$ tablo değeriyle karşılaştırılır.

$$T < F_{(f, f_0, 1-\alpha/2)} \quad \text{ise dengeleme modeli geçerlidir.} \quad (4.11)$$

Yorum : Fonksiyonel model, gözlemlerle bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkilere uygundur. Stokastik model gözlemlerin duyarlıklarını ve aralarındaki korelasyonları yeterince yansıtmaktadır.

$$T > F_{(f, f_0, 1-\alpha/2)} \quad \text{ise dengeleme modeli geçersizdir.} \quad (4.12)$$

Yorum: Ölçülerin birinde veya birkaçında kaba hata bulunabilir ya da ağırlıklar yanlış tahmin edilmiş olabilir veya aletlerde ayar hataları bulunabilir [11].

4.2.2 Genişletilmiş Modelin Testi

Eğer gözlemlerde sistematik ölçü hataları varsa dengelemenin stokastik modelinde hata yapıldığı kabul edilir. Bu durumda stokastik model gerçeğe uygun olarak belirlenir veya bu etki bozucu parametre ile temsil edilecek şekilde fonksiyonel modele eklenerek genişletilmiş fonksiyonel model elde edilir. Nivelman ağlarında bu bozucu etki refraksiyon olabilir. Bu durumda fonksiyonel model aşağıdaki gibi olur.

$$\Delta h_{ij} + \mathcal{G}_{ij} = H_j - H_i + \sum (r^2 \Delta Z) \quad (4.13)$$

Burada r, mira uzaklığı; ΔZ her alet kurmada belirlenen yükseklik farkını gösterir.

Başka bir bozucu etki, jeomağnetik etki olabilir. Bu durumda fonksiyonel model

$$\Delta h_{ij} + \mathcal{G}_{ij} = H_j - H_i + \varphi_{ij} a_i \quad (4.14)$$

a_i jeomağnetik etki; φ_{ij} , i ve j noktaları arasındaki enlem farkları olmak üzere oluşturulur. Yukarıdaki gibi bozucu parametreler eklenerek genişletilmiş fonksiyonel model elde edilir. Bu durum aşağıdaki gibi genelleştirilebilir.

$$\mathcal{G} + l + \Delta l = A_x x + A_y y \text{ Genişletilmiş fonksiyonel model} \quad (4.15)$$

Δl : Sistematik ölçü hataları vektörü,

Y : Bozucu parametreler,

A_y : Bozucu parametrelerin katsayılar matrisi.

$$K_{yy} = \sigma_0^2 Q_{yy} \text{ Bozucu parametrelerin varyans-kovaryans matrisi} \quad (4.16)$$

Q_{yy} : Bozucu parametrelerin ters ağırlık matrisidir.

Genellikle bozucu parametrelerin varyans-kovaryans matrisinin belirlenmesi zordur.

Bozucu parametrelerin katsayılar matrisi biliniyor buna karşın stokastik özellikleri hakkında bilgi edinilemiyorsa özel bir durum ortaya çıkar.

Bu durumda bozucu parametrelerin ağırlık matrisi $P_{yy} = 0$ olur.

$$K = \begin{bmatrix} K_{ll} & 0 \\ 0 & K_{yy} \end{bmatrix} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} P & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \quad (4.17)$$

$$\begin{bmatrix} A^T P A & A^T P A_y \\ A_y^T P A & A_y^T P A_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} A^T P l \\ A_y^T P l \end{bmatrix} = 0 \quad (4.18)$$

$$\begin{bmatrix} N_{xx} & N_{yy} \\ N_{yx} & N_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \end{bmatrix} = 0 \quad (4.19)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{xx} & N_{xy} \\ N_{yx} & N_{yy} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} \\ Q_{yx} & Q_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

$$Q_{xx} = (N_{xx} - N_{xy} N_{yy}^{-1} N_{yx})^{-1} \quad (4.21a)$$

$$Q_{xy} = -Q_{xx} N_{xy} N_{yy}^{-1} \quad (4.21b)$$

$$Q_{yx} = -N_{yy}^{-1} N_{yx} Q_{xx} \quad (4.21c)$$

$$Q_{yy} = N_{yy}^{-1} + N_{yy}^{-1} N_{yx} Q_{xx} N_{xy} N_{yy}^{-1} \quad (4.21d)$$

$$x = Q_{xx} n_x + Q_{xy} n_y \quad (4.22a)$$

$$y = Q_{yx} n_x + Q_{yy} n_y \quad (4.22b)$$

elde edilir. Buradan düzeltme ve birim ölçünün ortalama hartası

$$\mathcal{G} = Ax + A_y y - 1 \quad (4.23)$$

$$m_g^2 = \frac{\mathcal{G}^T P \mathcal{G}}{n - u} \quad (4.24)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

Genişletilmiş dengeleme modelinin stokastik modelinde $P_{yy} = 0$ alınırsa sadece fonksiyonel model genişletilmiş olmaktadır. Bu durumda genişletilmiş fonksiyonel modelin testi, bozucu parametrelerin (y) ölçü vektöründe (I) sistematik hataya (Δ) neden olup olmadığının denetlenmesiyle aynı anlama gelmektedir. Başka bir deyişle, fonksiyonel modelin genişletilmesinin anlamlı olup olmadığı, bozucu parametrelerin (y) anlamlılık testiyle belirlenebilmektedir.

$$H_0 : y = 0 \quad \text{Sıfır hipotezi} \quad (4.25a)$$

$$H_s : y \neq 0 \quad \text{Seçenek hipotezi} \quad (4.25b)$$

Sıfır hipotezi geçerli ise; test büyüklüğü,

$$T_g = \frac{y^T Q_{yy}^{-1} y}{u_g m_g^2} \quad (4.26)$$

Payın serbestlik derecesi u_g , paydanın serbestlik derecesi f olan Fisher dağılımındadır.

Burada

u_g : Bozucu parametre sayısıdır.

$$T_g > F_{(u_g, f, 1-\alpha)} \quad \text{ise sıfır hipotezi geçersiz sayılır.} \quad (4.27)$$

Yorum : Fonksiyonel modelin genişletilmesi anlamlıdır.

$$T_g \langle F_{(u_g, f, 1-\alpha)} \rangle \text{ ise sıfır hipotezi geçersiz sayılamaz.} \quad (4.28)$$

Yorum : Fonksiyonel modelin genişletilmesi anlamlı değildir [11].

4.2.3 Varyans Bileşenlerinin Kestirimi

Nivelman ölçülerinin duyarlılığı, iki nokta arasındaki uzunluk kullanılarak hesaplanan ağırlıklarla tanımlanır. Ağırlık tanımını veren bağıntı

$$p = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_s^2} \quad (4.29)$$

şeklinde. σ_0^2 ; birim ölçünün varyansı σ_s^2 ; s geçki uzunluğunda yapılan nivelman ölçüsünün varyansıdır. Bunun yanında, ölçülerin duyarlılığını etkileyen yükseklik farklarına bağlı hatalar vardır. Örneğin nivelman mirasının kalibrasyon hatası gibi. Bunun için, varyans bileşenlerinin aşağıdaki kombinasyonu kullanılarak ölçülerin varyansları σ_i^2 hesaplanır.

$$\sigma_i^2 = \sigma_s^2 s^{2\gamma} + \sigma_h^2 h^{2\delta} \quad (4.30)$$

σ_s^2 ve σ_h^2 uzunluğa ve yükseklik farkına bağlı varyans bileşenleridir. γ ve δ simgeleri bu modelin esnekliğini artırmak amacıyla seçilen parametrelerdir. (4.29) ve (4.30) bağıntıları kullanılarak ağırlıklar hesaplanır ve nivelman ağı dengelenir. σ_i^2 değerinin hesaplanabilmesi için varyans bileşenleri σ_s^2 ve σ_h^2 değerinin bilinmesi gerekir. Bu değerlerin kestirimi için KOCH tarafından aşağıdaki yöntem önerilmiştir.

C ve B noktaları arasındaki yükseklik farkı ölçüsü h_{BC} ; C ve B noktalarının yükseklikleri, H_C ve H_B ; e_{BC} de ölçülerin düzeltmeleri olmak üzere ölçülerle bilinmeyenler arasındaki fonksiyonel ilişki şöyle yazılır.

$$H_C - H_B = h_{BC} + e_{BC} \quad (4.31)$$

A, nxu boyutlu geometrik şekil matrisi, x, uxl boyutlu bilinmeyenler vektörü; e, nxl boyutlu düzeltmeler vektörü ise (4.31) fonksiyonel modeli matris gösterimiyle

$$Ax = h + e \quad (4.32)$$

biçiminde yazılabilir. σ_0^2 , birim ağırlığın varyansı, P^{-1} , ölçülerin ters ağırlık matrisi olarak tanımlanırsa ölçülerin varyans-kovaryans matrisi

$$K(h) = \sigma_0^2 P^{-1} \quad (4.33)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Düzeltmeler vektörü e'nin yüksekliğe ve uzunluğa bağlı e_1 ve e_2 gibi iki bileşenden oluştuğu kabul edilirse, bunların varyans-kovaryans matrisleri

$$K(e_1) = \sigma_1^2 \alpha_1^2 \begin{bmatrix} s_1^{2\gamma} & 0 & . & . & . \\ 0 & s_2^{2\gamma} & . & . & . \\ 0 & 0 & s_3^{2\gamma} & . & . \\ . & . & . & . & . \end{bmatrix} = \sigma_1^2 V_1 \quad (4.34a)$$

$$K(e_2) = \sigma_2^2 \alpha_2^2 \begin{bmatrix} h_1^{2\delta} & 0 & . & . & . \\ 0 & h_2^{2\delta} & . & . & . \\ 0 & 0 & h_3^{2\delta} & . & . \\ . & . & . & . & . \end{bmatrix} = \sigma_2^2 V_2 \quad (4.34b)$$

biçiminde olurlar. σ_1^2 ve σ_2^2 bilinmeyen faktörlerdir α_1^2 ve α_2^2 bunların yaklaşık değerleri, örneğin deneysel değerlerdir. Varyans bileşenlerinin en iyi kestirimi yerel ikinci derece hesaplamalarla bulunabilir.

$$K(h) = K = \sigma_1^2 V_1 + \sigma_2^2 V_2 \quad (4.35)$$

K_0 , K 'nın yaklaşık değeri; α_1^2 ve α_2^2 , σ_1^2 ve σ_2^2 nin hesaplanan değerleri ise varyans bileşenleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\det(A^T K_0^{-1} A) \neq 0 \text{ ve } \det S \neq 0$$

$$\sigma = S^{-1} q = \left| \sigma_1^2, \sigma_2^2 \right|^T \quad (4.36a)$$

$$S = (iz(WV_i WV_j)) \quad (4.36b)$$

$$q = (h^T WV_i Wh), i, j = (1,2) \quad (4.36c)$$

$$W = K_0^{-1} - K_0^{-1} A (A^T K_0^{-1} A)^{-1} A^T K_0^{-1} \quad (4.36d)$$

$$K_0 = \sum_{i=1}^2 V_i \quad (4.36e)$$

Hesaplanan s değerleri yaklaşık değerlere bağlıdır. Hesaplanan değerlerin varyansları

$$V(\sigma_1^2) = 2S_{11} \quad (4.37a)$$

$$V(\sigma_2^2) = 2S_{22} \quad (4.37b)$$

$$S^{-1} = s_{ij} \quad (4.37c)$$

eşitliklerinden bulunabilir.

Büyük nivelman ağlarındaki varyans bileşenlerinin kestirimi uygulamalarında, geniş boyutlu matrisler için depolama yeri ve fazla hesaplama zamanına ihtiyaç vardır. Bunun için hesaplamada simetrik matrislerin köşegenlerinin üzerindeki kısımları vektör olarak ele alınır. Çözüm için uygun programlar yapılır [11].

4.2.4 Güven Hiper Elipsoidi

Nivelman noktalarının gerçek yükseklikleri $\bar{X}$ ve dengeli yükseklikleri X ile gösterilirse

$$\varepsilon = \bar{X} - X \quad (4.38)$$

bağıntısı dengeli yüksekliklerin gerçek düzeltmelerini verir. Gerçek düzeltmelerden yararlanılarak hesaplanan deneysel varyans ve ağ dengelemesi sonucunda hesaplanan birim ölçünün ortalama hatası

$$s_0^2 = \frac{\varepsilon^T Q_{XX}^{-1} \varepsilon}{u} \quad (4.39)$$

$$m_0^2 = \frac{9P9}{n - u} \quad (4.40)$$

aynı bir kuramsal varyans ağ'ının deneysel değerleri olduklarından bunların oranları F-Dağılımındadır.

$$\frac{s_0^2}{m_0^2} \leq F_{(u,f,1-\alpha)} \quad (4.41)$$

Bu eşitsizliğin olasılık bağıntısı istatistik güvence eşit yazılırsa

$$P\{\varepsilon^T Q_{XX}^{-1} \varepsilon \leq u m_0^2 F_{(u,f,1-\alpha)}\} = 1 - \alpha \quad (4.42)$$

olur. Bu bağıntının sınırladığı hacim bir hiper elipsoiddir ve güven hiper elipsoidi olarak adlandırılır. Q_{XX} matrisinden i noktasına ait λ_i özdeğerleri büyükten küçüğe doğru sıralandıklarında güven hiper elipsoidlerinin yan eksen uzunlukları

$$A_{IGH} = m_0 \sqrt{u \lambda_i F_{(u,f,1-\alpha)}} \quad (4.43)$$

u : Nivelman ağında yüksekliği dengelenen nokta sayısı (bilinmeyen sayısı),

n : Nivelman ölçülerinin sayısı,

$f=n-u$: Ağın serbestlik derecesi,

λ_i : Ters ağırlık matrisi Q_{XX} in özdeğerleri

eşitliklerinden bulunur.

$$\lambda_1 \rangle \lambda_2 \rangle \dots \rangle \lambda_u \quad (4.44)$$

bağıntısını sağlayan özdeğerler λ_i ve bunlara ilişkin özvektörler s_i ile hesaplanan

$$b_i = s_i \sqrt{\lambda_i} \quad \text{Ana bileşen vektörü} \quad (4.45)$$

nivelman ağının duyarlık yönünden zayıf noktalarını ve bu zayıflığın büyüklüğünü verirler. Birinci ana bileşen vektörü b_1 , ağda duyarlık yönünden en zayıf olan noktayı ve bu zayıflığın büyüklüğünü gösterir. Ana bileşen vektörleri, ağdaki ölçülerin birden fazla ölçme periyodunda tekrarlanmaları durumunda rasgele ölçü hatalarının etkisiyle oluşabilecek konum değişikliklerini gösterirler. Özdeğerlerden en büyüğü olan λ_1 , ana varyans bileşeni ya da en önemli özdeğer olarak adlandırılır [11].

4.2.5 Bağlı Güven Hiper Elipsoidleri

i noktası ile ağın tüm diğer noktaları arasındaki yükseklik farkları d vektöründe toplanarak

$$d = [-x_i + x_j] = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ -1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & \\ \vdots & & & & \\ \vdots & & & & \\ -1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ x_j \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ x_u \end{bmatrix} \quad (4.46)$$

$$d = F x \quad (4.47)$$

koordinat farkları vektörünün ters ağırlık matrisi,

$$Q_{dd} = F Q_{xx} F^T \quad (4.48)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Koordinat farkları vektörünün gerçek değerleri $\bar{d}$ ile gösterilirse, bunların gerçek düzeltmeleri ve gerçek düzeltmelerden hesaplanan varyans

$$\varepsilon_d = \bar{d} - ed_i \quad (4.49)$$

$$s_0^2 = \frac{\varepsilon_d^T Q_{dd}^{-1} \varepsilon_d}{u} \quad (4.50)$$

ve ağı dengelemesi sonucunda bulunan birim ölçünün karesel ortalama hatası

$$m_0^2 = \frac{\mathbf{g}^T \mathbf{P} \mathbf{g}}{n - u} \quad (4.51)$$

bağıntısından elde edilir. Kuramsal varyans σ_0^2 nin bu iki deneysel değeri arasında kurulacak olasılık bağıntısı

$$P\{\boldsymbol{\varepsilon}_d^T \mathbf{Q}_{dd}^{-1} \boldsymbol{\varepsilon}_d \leq u m_0^2 F_{(u, f, 1-\alpha)}\} = 1 - \alpha \quad (4.52)$$

biçimini alır. Bu bağıntının sınırladığı alan elipsoiddir ve bağıl güven hiper elipsoidi olarak adlandırılır. $\mathbf{Q}_{dd}$ matrisinin özdeğerleri büyükten küçüğe sıralandığında bağıl güven hiper elipsoidinin yarı eksen uzunlukları

$$A_{jBG} = m_0 \sqrt{u \lambda_j F_{(u, f, 1-\alpha)}} \quad (4.53)$$

şeklinde bulunur. Bağıl güven hiper elipsoidinin yarı eksenleri, nivelman ağındaki noktaların komşuluk duyarlıklarını (komşu nokta duyarlıklarını) gösterirler [11].

4.2.6 Dengeli Yükseklik Farklarının Bağıl Hataları

Dengeli yüksekliklerin farklarının bağıl hataları, bir duyarlık ölçütüdür. Bu değerler, dengeli yüksekliklerden hesaplanan yükseklik farklarının ortalama hatalarının dengeli yüksekliklerin farklarına bölünmeleriyle hesaplanabilir.

Dengeleme hesabı sonucunda bulunan dengeli yüksekliklerden hesaplanan yükseklik farkları

$$\Delta h_{ij} = H_j - H_i \quad (4.54)$$

dengeli yüksekliklerin ters ağırlık matrisi ve birim ölçünün ortalama hatası,

$$\mathbf{Q}_{hh} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \quad (4.55)$$

$$m_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{g}^T \mathbf{P} \mathbf{g}}{n - u}} \quad (4.56)$$

hesaplanır. Dengeli yüksekliklerin farklarının ortalama hatası,

$$m_{ij} = m_0 \sqrt{q_{ii} - 2q_{ij} + q_{jj}} \quad (4.57)$$

eşitliği ile bulunur. Bu bağıntıda,

q_{ii}, q_{ij}, q_{jj} : dengeli yüksekliklerin ters ağırlık matrisindeki ilgili değerlerdir. Böylece dengeli yükseklik farklarının bağıl hataları m_{Bij} , dengeli yükseklik farklarının ortalama hatalarının (m_{ij}) , dengeli yükseklik farklarına (Δh_{ij}) bölünmesi ile hesaplanır.

$$m_{Bij} = \frac{m_{ij}}{\Delta h_{ij}} \quad (4.58)$$

m_{Bij} değerleri; dengeli yükseklik farklarının duyarlıkları (komşuluk duyarlıkları) hakkında bilgi veren, ağıın datumundan bağımsız (invariant) ölçütlerdir [11].

4.3 Nivelman Ağlarında Güven Ölçütleri

Güvenilirlik ölçütü, kaba hatası bakımından bir ölçünün hangi oranda denetlenebildiğini gösteren bir büyüklüktür. n sayıda ölçü için n sayıda güvenilirlik ölçütü belirlenir[15]. Dengeleme sonuçlarına ve onların duyarlıklarına ilişkin yorumlar, matematik modelin gerçeği yansıtması durumunda doğrudur. Model hataları ya da sistematik hatalar dengeleme sonuçlarını etkilemektedir. Duyarlık ölçütleri yalnız başlarına sonuçların güvenilirliğini tanımlamada yetersiz kalırlar. Bu nedenle kaba hatalı ölçüleri ayırma gücü olan iç güvenilirlik ve ortaya çıkarılamayan model hatalarının dengeleme sonuçlarına olan etkilerini gösteren dış güvenilirliğin belirlenmesi gerekir[11]. Jeodezik ağlarda güven, ağıın geometrik yapısının olası model hatalarına karşı duyarlılığı olarak tanımlanmakta ve model hatalarının ortaya çıkartılabildiği ağlar, güvenilir ağlar olarak adlandırılmaktadır. Güven ölçütleri, ortaya çıkartılamayan model hataları için sınır değerler vermektedir [16].

4.3.1 İç Güven Ölçütü

Ölçülerde var olduğu kanıtlanabilen Δl_i hata sınır değerleri iç güvenilirlik ölçütleridir. Bu büyüklükler ile bir jeodezik ağıın iç güvenilirliği tanımlanır. Güvenli bir ağda Δl_i sınır değerlerinin küçük ve olabildiğince eşit büyüklükte olması istenir[15].

Bir jeodezik ağıın iç güvenilirliği, ölçülerdeki hataların kontrol edilebilirliği anlamına gelmekte ve model hataları için belli bir test gücü ile açığa çıkarılabilecek en küçük sınır değerler olarak tanımlanmaktadır.

I_i ölçüsünde yapılan ΔI_i kaba hatası, geçerli bir model ile yapılan dengeleme sonucunda bulunur ve düzeltmelere etkisi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir. Geçerli bir dengeleme işleminde matematik model,

$$I + \mathcal{G} = Ax, \quad P \quad (4.59)$$

şeklinde kurulur. Düzeltmeler,

$$\mathcal{G} = -Q_{gg} P I \quad (4.60)$$

eşitliğinden hesaplanır. Geçersiz bir dengeleme modelinde genişletilmiş fonksiyonel model,

$$I + \mathcal{G} = I' - \Delta' + \mathcal{G} = Ax \quad (4.61)$$

şeklinde olur. Düzeltmeler,

$$\mathcal{G} = \mathcal{G} + \Delta \mathcal{G} \quad (4.62)$$

$$\Delta \mathcal{G} = -Q_{gg} P \Delta I \quad (4.63a)$$

$$\Delta \mathcal{G}_i = -(Q_{gg} P)_{ii} \Delta I_i = -r_i \Delta I_i \quad (4.63b)$$

bağıntısından hesaplanır. $\text{İz}(Q_{gg} P) = \sum r_i = r = n - u$ olduğu düşünülürse serbestlik ölçütü r_i , fazla ölçü sayısı r içinde i . ölçünün payı (redundanz) anlamına gelir. r_i büyüklüğü ağı geometrisini tanımlar ve ölçüdeki sistematik ya da kaba hataların $\mathcal{G}_i$ düzeltilmesi içindeki payını verir.

Serbestlik ölçütleri önemli birer güven ölçütüdürler. Bunlar herhangi bir ölçüde yapılacak kaba hatanın yüzde kaçının, bu ölçüye ilişkin düzeltmeye yansıtacağını gösterirler. Ölçülerin birbirini karşılıklı kontrol edebilmesi için redundanz paylarının %100'e yakın olmaları istenir. Serbestlik ölçütleri genellikle $r_i > 0.5$ olmalı, zorunlu hallerde $r_i > 0.3$ olarak belirlenmelidir. İç güven ölçütü, bir ölçüdeki kaba hatanın model hipotezinin testi ya da model hatalarının genel testi yöntemlerinin biriyle açığa çıkarılabilmesi için en az ne büyüklükte bir değere ulaşması gerektiğini gösterir. I_i ölçüsünde yapılan ΔI_i kadar bir hatanın Baarda test büyüklüğüne etkisi

$$\Delta W_i = \frac{\Delta \mathcal{G}_i}{\sigma \sqrt{q_{\mathcal{G}_i \mathcal{G}_i}}} = \sqrt{r_i} \frac{\Delta I_i}{\sigma_i} \quad (4.64)$$

eşitliği ile hesaplanır. $\sigma_i = \sigma / \sqrt{P_i}$, I_i ölçüsünün ortalama hatasıdır. Bir ΔI_i hatasının büyüklüğü bilinmediğinden öngörülen istatistik güven $S = 1 - \alpha_0$ için hangi büyüklükte

bir hatanın, γ_0 test gücü ile ortaya çıkarılabileceği sorusuna yanıt aranır. Yanılma olasılığı α_0 ve test gücü γ_0 'a bağlı olarak dış merkezlik parametresi $W_0 = \Delta_0 W_i$ belirlenir. Hatanın alt sınır değeri (4.64) ten

$$\Delta_{0i} = \sigma_{l_i} \sqrt{\frac{W_0}{r_i}} \quad (4.65)$$

hesaplanır. İyi kontrol edilebilir bir ağda iç güven ölçütleri birbirine yakın ve küçük sayısal değerler olmalı ve gözlemlerden hiç biri için

$$\Delta_{0i} \leq 8m_i \quad (4.66)$$

sınır değerini aşmamalıdır. Özet olarak, Δ_{0i} hata sınır değerleri; ölçülerin ortalama hatalarına, r_i serbestlik ölçütleri ile tanımlanan ağ geometrisine, $1 - \alpha_0$ istatistik güveni ile γ_0 test gücüne göre belirlenen W_0 parametresine bağlıdır.

Ölçü hatalarının hepsi karşılıklı olarak birbirini ve dengeleme modelini etkilediklerinden önce iç güven ölçütü Δ_{0i} değerinin en büyük olduğu l_i ölçüsü ayıklanıp gereğinde yenilendikten 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 [11].

4.3.2 Dış Güven Ölçütü

Ortaya çıkarılamayan kaba hataların nokta koordinatlarına ya da bunların fonksiyonlarına etkisi, bir ağın niteliği açısından büyük önem taşır. Δ_{li} hata sınır değerlerinin dengeleme sonuçlarına etkisi önemsiz ise dış güvenilirlik sağlanmış olur[15]. Ağın dış güvenirliliği, ortaya çıkarılamayan ölçü hatalarının dengeleme sonuçlarına olan etkileri ile açıklanır. Bir l_i ölçüsüne ait Δ_{0i} hatasının x bilinmeyenler vektörüne Δ_{xi} etkisini bulabilmek için, ölçüler arasında korelasyon olmadığı kabul edilir ve Δ_{0i} nin (4.65) teki eşiti göz önünde bulundurulursa

$$\Delta_{xi} = Q_{xx} A^T P \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix} \Delta_{0i} \quad (4.67)$$

elde edilir. Bu eşitlikten herhangi bir I_i ölçüsünde yapılan Δ_{0i} kadar hatanın ağdaki bilinmeyenlerin tümünü etkilediği görülmektedir. Koordinat hataları Δ_{xi} datuma bağlıdır. Ağın dış güveni için datuma bağlı olmayan bir ölçüt elde etmek istenirse

$$\delta_{0i}^2 = \Delta_{0xi}^T K_{xx}^{-1} \Delta_{0xi} = \frac{1}{m_0^2} \Delta x^T Q_{xx}^{-1} \Delta x \quad (4.68)$$

(4.67) eşitliği (4.68) de yerine konup gerekli kısaltmalar yapılırsa dış güven ölçütü

$$\delta_{0i}^2 = m_0^2 \frac{W_0}{p_i r_i} = \frac{1 - r_i}{r_i} W_0 \quad (4.69)$$

elde edilir. Bilinmeyenlerin herhangi bir fonksiyonunun $\varphi = \phi(x)$ maksimum hatası $\Delta_{0\varphi}$ ile gösterilirse

$$\delta_{0i} \geq \frac{\Delta_{0\varphi}}{m_\varphi} \quad (4.70)$$

bağıntısı geçerli olur ve $\Delta_{0\varphi}$ hatası Δ_{0i} ve δ_{0i} yardımıyla hesaplanabilir.

δ_{0i} değeri, datumdan bağımsız bir dış güvenilirlik ölçütüdür ve bilinmeyenlerin bir fonksiyonunun i . ölçüye ilişkin Δ_{0i} sınır hatasından ne ölçüde etkilenebileceğini gösterir. Bu etkilenme, fonksiyonun ortalama hatasının 3-4 katını aşmamalıdır. İyi bir ağda δ_{0i} değerinin olabildiğince küçük olması istenir [11].

Sonuç olarak, hangi büyüklükteki ölçü hatalarının öngörülen test gücüne bağlı olarak tanınabileceği iç güvenilirlik ölçütü ile, tanınamayan hataların dengeleme sonuçlarını ne ölçüde etkileyebilecekleri dış güvenilirlik ölçütü ile belirlenir. İyi bir iç güvenilirlik, bütün ölçülerin dengeleme ile aynı ölçüde kontrol edilebilmesi, iyi bir dış güvenilirlik ise ortaya çıkartılamayan hataların dengeleme sonuçlarına etkilerinin küçük olması ile sağlanır[16].

DÜŞEY DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİ**5.1 Statik Modelle Düşey Deformasyonların Belirlenmesi**

Bu yöntem, literatürde Teta Kare (θ^2) ölçütü ile Deformasyon Analizi olarak bilinir. Yöntemin uygulanabilmesi için iki ölçü periyodu ayrı ayrı serbest ağ dengelemesi ile dengelenir. İki dengeleme sonucunun karşılaştırılması ile bulunan fark vektörü d , ağırlık matrisi Q_{dd} ve serbestlik derecesi h olmak üzere, öncelikle θ^2 ölçütü

$$\theta^2 = d^T Q_{dd} d / h \quad (5.1)$$

eşitliğinden hesaplanır. Her bir periyodun ayrı ayrı serbest dengelenmesinden elde edilen varyansların birleştirilmesinden $S_0^2 = \frac{v_1^T p_1 v_1 + v_2^T p_2 v_2}{f_1 + f_2}$ ortak varyansı bulunur.

Sıfır hipotezi olarak $\theta^2 = s_0^2$ seçilir ve $T = \theta^2 / s_0^2$ test büyüklüğü hesaplanarak F tablo değeriyle karşılaştırılır. Sıfır hipotezi reddedildiğinde ağın herhangi bir yerinde deformasyon olduğu söylenebilir. Deformasyon olan noktayı bulmak için, ağın nokta sayısı kadar toplam aykırılık etkisi θ_i^2 hesaplanır.

$$\theta_i^2 = (d_i^T Q_{dd}^+ d_i)_i, i=1,2,\dots,m \text{ (m:nokta sayısı)} \quad (5.2)$$

Bunlardan toplam aykırılık θ^2 deki payı en büyük olan $\theta_{\max}^2 = \max(\theta_i^2)$ noktasında deformasyon olduğuna karar verilir [17].

5.2 Hannover Yaklaşımı İle Deformasyon Analizi

Ağ noktalarının konumlarının belirlenmesi için önce farklı dönemlerde yapılan ölçüler ayrı ayrı serbest ağ yöntemi ile dengelenir. Bu aşamada farklı dönemlerdeki ölçüler arasında korelasyon olmadığı kabul edilmektedir. Örneğin iki ölçme dönemi için dengeleme modeli

$$\ell_1 + v_1 = A_1 x_1, \quad A_1^T P_1 A_1 x_1 - A_1^T P_1 \ell_1 = 0 \rightarrow N_1 x_1 - n_1 = 0, \quad x_1 = N_1^+ n_1 \quad (5.3)$$

$$N_1^+ = Q_1 = (N_1 + G G^T)^{-1} G (G^T G G^T G)^{-1} G^T$$

$$s_1^2 = \frac{v_1^T P_1 v_1}{f_1}$$

$$\ell_2 + v_2 = A_2 x_2, \quad A_2^T P_2 A_2 x_2 - A_2^T P_2 \ell_2 = 0 \rightarrow N_2 x_2 - n_2 = 0, \quad x_2 = N_2^+ n_2 \quad (5.4)$$

$$N_2^+ = Q_2 = (N_2 + G G^T)^{-1} G (G^T G G^T G)^{-1} G^T$$

$$s_2^2 = \frac{v_2^T P_2 v_2}{f_2}$$

eşitliklerinde olduğu gibi kurulur. Bu eşitliklerde geçen G matrisi ağ noktalarının ağırlık merkezine indirgenmiş yaklaşık koordinatları ile kurulan bir matristir. Eğer iki ölçme dönemine ilişkin birim ağırlıklı ölçülerin standart sapmaları s_1 ve s_2 uyumlu ise bunların ağırlıklı ortalaması

$$s^2 = \frac{f_1 s_1^2 + f_2 s_2^2}{f}, \quad f = f_1 + f_2 \quad (5.5)$$

hesaplanır.

Ölçme dönemleri arasındaki hareketlerin ortaya çıkarılması için sıfır hipotezi $Bx - w = 0$ koşulu ile

$$H_0 : \begin{vmatrix} -E & E \\ x_1 \\ x_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (5.6)$$

olarak öngörülür. Bu hipotez gerçekleşiyorsa ağın herhangi bir yerinde hareket olmadığı sonucuna varılır. Aksi durumda ise PELZER(1971) tarafından aykırılık vektörü olarak adlandırılan

$$d = x_2 - x_1 \quad (5.7)$$

fark vektörü oluşturulur. Bu vektörün tekil ağırlık katsayıları matrisi ise

$$Q_{dd} = Q_{11} + Q_{22} \quad (5.8)$$

şeklinde ifade edilmektedir. (5.6) numaralı eşitlik ile verilen sıfır hipotezi geçerli ise d fark vektörünün ölçü hatalarından kaynaklandığı söylenebilir. Q_{dd} 'nin genelleştirilmiş inversi olan ağırlık matrisi (5.3) ve (5.4) eşitliklerindeki N_1 ve N_2 'nin inversine benzer şekilde

$$P_{dd} = Q_{dd}^+ = (Q_{dd} + GG^T)^{-1} G(G^T GG^T G)^{-1} G^T \quad (5.9)$$

hesaplanır. $Bx - w = 0$ formunun düzeltmelerinin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi

$$\Omega_H = v_H^T P v_H = v^T P v + R \quad (5.10)$$

olmak üzere

$$R = |x_2 - x_1|^T \left[\begin{array}{cc} -EE & \begin{bmatrix} A_1^T P_1 A_1 & 0 \\ 0 & A_2^T P_2 A_2 \end{bmatrix} \end{array} \right] \begin{bmatrix} -E \\ E \end{bmatrix} |x_2 - x_1| = d^T Q_{dd} d \quad (5.11)$$

olmaktadır. Burada önemli olan x_1 ve x_2 vektörlerinin aynı datumda olmasıdır. Eğer jeodezik datumun irdelenmesi söz konusu ise

$$\text{rang}\{Q_{11}\} = \text{rang}\{Q_{22}\} = \text{rang}\{Q_{11} + Q_{22}\} = \text{rang}\{Q_{dd}\} = h \quad (5.12)$$

olarak PELZER(1971) tarafından hesaplanan

$$\theta = \sqrt{\frac{R}{h}} \quad (5.13)$$

değeri ortalama aykırılık olarak adlandırılmıştır. Eğer eşdeğerlik testinin test büyüklüğü

$$T = \frac{\theta^2}{s^2} = \frac{d^T P_{dd} d}{s^2 h} \quad (5.14)$$

$F\{h, f, \alpha\}$ olasılık değerinden büyük ise ağırlık herhangi bir yerinde anlamlı nokta hareketi olduğu yargısına varılır. Bu durumda hareketli noktaları belirleyebilmek için d fark vektörü ve onun P_{dd} ağırlık katsayıları matrisi S hareketsiz nokta grubunu, O hareketli nokta grubunu gösteren indisler olarak

$$d = \begin{bmatrix} d_s \\ d_o \end{bmatrix}, \quad P_{dd} = \begin{bmatrix} P_{ss} & P_{so} \\ P_{os} & P_{oo} \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

biçiminde alt matrislere ayrılır. Bu alt matrisler GAUSS yöntemi ile indirgenerek

$$\bar{d}_o = d_o - P_{oo}^{-1} P_{os} d_s \quad (5.16a)$$

$$\bar{P}_{ss} = P_{ss} - P_{so} P_{oo}^{-1} P_{os} \quad (5.16b)$$

kısa gösterimleri ile $Bx-w=0$ koşulunun düzeltmelerinin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi

$$R = d^T P_{dd} d = d_s^T \bar{P}_{ss} d_s + \bar{d}_o^T P_{oo} \bar{d}_o \quad (5.17)$$

biçiminde stokastik olarak bağımsız iki bileşene ayrılır. Deformasyonların belirlenmesi aşamasında sırayla ağın her noktası kuşku duyulan O hareketli noktası olarak ele alınır. Böylece her adımda başka bir noktanın koordinatları d_o alt vektörünü oluşturur. Bu durumda nokta sayısı kadar

$$R_i = (\bar{d}_o^T P_{oo} \bar{d}_o)_i \quad (5.18a)$$

aykırılık hesaplanır. Toplam aykırılık R' deki payı en büyük olan

$$R_{maks} = maks(R_i) \quad (5.18b)$$

olan noktada α yanılma olasılığı ile hareketli olduğuna karar verilir.

Ağda hareketli başka noktalar bulunup bulunmadığını sorgulamak için fark vektörü d ve bunun ağırlık katsayıları matrisi Q_{dd} bir S -dönüşümü ile kalan noktaların datumuna dönüştürülür. Dönüşüm matrisi

$$S_i = E - G(B_i^T G)^{-1} B_i^T \quad (5.19)$$

$$d_i = S_i d \quad (5.20a)$$

$$Q_{didi} = S_i Q_{dd} S_i^T \quad (5.20b)$$

şeklindedir. Burada B_i matrisi, G matrisinin hareketli olup olmadığı sorgulanan noktasına karşı gelen satır elemanları sıfırlanarak elde edilen matristir. i 'inci datum dönüşümünden sonra fark vektörü

$$d_i = \begin{bmatrix} d_D \\ d_N \end{bmatrix} = S_i \begin{bmatrix} d_S \\ d_O \end{bmatrix} = S_i d \quad (5.21)$$

Biçiminde alt matrislerden oluşur. Burada d_D datum dönüşümüne katılan noktaları, d_N ise dönüşüme katılmayan noktaları göstermektedir. d_S ve d_O alt vektörlerine ayırma işlemi, toplam aykırılıktaki payları en büyük olan R_{maks} noktalarının tümü d_O 'da kalacak biçimde olursa i'inci adımdan sonra

$$R_{kalan} = d_D^T P_{DD} d_D \quad (5.22)$$

eşitliği ile hesaplanır. Kalan aykırılık için R_{kalan} 'ın serbestlik derecesi

$$h_D = h - m \quad (5.23)$$

m : bir boyutlu ağlarda bir, iki boyutlu ağlarda ise ikidir.

ile hesaplanan test büyüklüğü

$$T_D = \frac{R_{kalan}}{s^2 h_D} \quad (5.24)$$

F-testinin $F\{h_D, f, \alpha\}$ olasılık değerinden büyük ise i+1'inci adıma geçilir. Bu aşamada yeni bir S -dönüşümü ile yeni datum verilip matrisler alt matrislere ayrılır. Bu durumda (5.22) eşitliğinde geçen d_D ve P_{DD} i'inci adımın büyüklükleridir.

Eğer jeodezik ağ referans ve obje noktaları gibi iki aşamalı yapıya sahip ise yukarıda açıklanan irdelemeler önce referans noktaları kümesi üzerinde gerçekleştirildikten sonra obje noktalarında deformasyon araştırmasına geçilir [18].

5.3 Bağlı Güven Elipsleri (Karlsruhe Yaklaşımı) İle Deformasyon Analizi

Almanya'da Karlsruhe Üniversitesi Jeodezi Enstitüsü'nden Prof. B. Heck yürütücülüğünde 1975 – 1976 yıllarında geliştirilen bu yöntem, özellikle obje noktalarındaki değişimlerin grafik gösterimi ile görsel zenginlik içeren bir yöntemdir. Bu nedenle iki boyutlu ağlar için uygulanması durumunda, konum değişimlerinin güven alanının elipsle gösterilmesi nedeniyle “Bağlı Güven Elipsleri” veya geliştirildiği üniversitenin adıyla “Karlsruhe Yaklaşımı” olarak adlandırılmaktadır [16].

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 datumları birbirinden farklı olur. Her iki ağın datumlarını çakıştırmak 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. 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,

$$m_{xj}^2 = (m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2)_j \quad (5.25)$$

$$m_{yj}^2 = (m_{y_1}^2 + m_{y_2}^2)_j \quad (5.26)$$

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. Test işlemlerinde sıfır hipotezi,

$$H_0 : v_{xj} = 0, v_{yj} = 0 \quad (5.27)$$

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

$$t_{xj} = \frac{|v_{xj}|}{m_{xj}}, \quad t_{yj} = \frac{|v_{yj}|}{m_{yj}} \quad (5.28)$$

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

$$f = 2s - d \quad (5.29)$$

serbestlik dereceleri ile t-dağılımından alınır. $t_{xj} : t_{yj} > t_{f,1-\alpha}$ oluyorsa P_j noktası geçen zaman aralığında konum değiştirmiştir. Bu nedenle sabit nokta olarak alınamaz ve bunlar obje noktası olarak alınır. 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; $\underline{A}_2$, obje noktaları kümesi için katsayılar matrisi; $\underline{x}_1$, sabit noktalar için bilinmeyenler vektörü; $\underline{x}_2$, obje noktaları için bilinmeyenler vektörü, olmak üzere, dengelemenin matematik modelinin kısa gösterimi

$$\underline{l}_H + \underline{v}_H = \underline{A}_H \underline{x}_H \quad (5.30)$$

$$\underline{K}_H = s_0^2 \underline{Q}_H \quad (5.31)$$

biçiminde kurulur. $\underline{x}_H$ koordinatları sabit noktalara göre kısmi iz minimum yapılarak elde edilir.

t_1 ve t_2 zamanındaki obje noktalarındaki fark vektörü $\underline{d}$ ve ters ağırlık matrisi $\underline{Q}_d$ sırasıyla

$$\underline{d} = \underline{x}_2 - \underline{x}_1 \quad (5.32)$$

$$\underline{Q}_d = \underline{Q}_{(xx)1} + \underline{Q}_{(xx)2} = \begin{bmatrix} q_{dx dx} & q_{dx dy} \\ q_{dy dx} & q_{dy dy} \end{bmatrix} \quad (5.33)$$

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

$$\underline{d}_i = \begin{bmatrix} x_{2i} & x_{1i} \\ y_{2i} & y_{1i} \end{bmatrix} \quad (5.34)$$

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

$$H_0 : \underline{d}_i = \underline{0} \quad (5.35)$$

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

$$T_i = \frac{\underline{d}_i^T \underline{Q}_{di}^- \underline{d}_i}{2s_0^2} \quad (5.36)$$

şeklinde hesaplanır. Burada s_0^2 , $s_0^2 = \sqrt{\frac{\underline{v}_1^T \underline{P}_1 \underline{v}_1 + \underline{v}_2^T \underline{P}_2 \underline{v}_2}{f_1 + f_2}}$ formülüne göre

hesaplanmıştır. Test büyüklüğü F-Tablo değeri ile karşılaştırılır.

$T_i < F_{2,f,1-\alpha}$ 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, fark vektörleri ve bunların ters ağırlık matrislerinden yararlanılarak aşağıdaki bağıntılara göre hesaplanır.

Helmert Hata elipsinin elemanları,

$$A_H = m_0 \sqrt{\frac{1}{2}(q_{xx} + q_{yy} + W)} \quad (5.37)$$

$$B_H = m_0 \sqrt{\frac{1}{2}(q_{xx} + q_{yy} - W)} \quad (5.38)$$

$$\Theta_H = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2q_{xy}}{q_{xx} - q_{yy}}\right) \quad (5.39)$$

$$W = \sqrt{(q_{xx} - q_{yy})^2 + 4q_{xy}^2} \quad (5.40)$$

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

$$A_G = \sqrt{2F_{2,f,1-\alpha}} A_H \quad (5.41)$$

$$B_G = \sqrt{2F_{2,f,1-\alpha}} B_H \quad (5.42)$$

$$\Theta_G = \Theta_H \quad (5.43)$$

biçiminde 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.

Böylece bütün obje noktalarındaki fark vektörü ve bağıl güven elipsinin elemanları hesaplanmış olur. Fark vektöründen yararlanarak fark vektörünün büyüklüğü, fark vektörünün doğrultusu (5.44) ve (5.45) eşitliklerinden hesaplanır.

$$d_{fi} = \sqrt{d_i^T \cdot d_i} \quad (5.44)$$

$$T_{dog} = \arctan\left(\frac{y_{2i} - y_{1i}}{x_{2i} - x_{1i}}\right) \quad (5.45)$$

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, başlangıç obje noktası, uzunluğu (d_{fi}) ve doğrultusu (T_{dog}) 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 bağıl 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; bağıl 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 bağıl güven elipsleri yöntemi, deformasyon vektörlerinin kovaryans matrislerinin doğrudan doğruya inceleme konusu olan, bir çok yerde başarı ile uygulanmış, kısa ve gösterimi kolay bir yöntemdir[6].

Bağıl güven elipsleri ile deformasyon analizi yöntemini kısaca özetlersek; Bu yöntemle deformasyon analizinde her bir nokta için bağıl güven elipslerinin elemanları hesaplanır ve uygun bir ölçekte çizilir. Aynı şekilde bu noktalara ait hareket vektörleri de bir ucu elips merkezinde olmak üzere aynı ölçekte çizilir. Vektörün elipsi taşıdığı noktalarda, deformasyonun varlığından söz edilebilir. Bu yöntem, doğrudan doğruya analitik yöntemin geometrik bir yorumudur [19].

ALİBEY BARAJI’NDA YAPILAN DEFORMASYON ÖLÇMELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ, GENEL BİLGİLER, SAYISAL UYGULAMA

6.1 Alibey Barajı

Alibey Barajı İstanbul ilinin kuzeybatısında aynı adı taşıyan dere üzerinde inşa edilmiştir (Şekil 6.1). Toprak dolgu tipinde inşa edilen barajın gövde yüksekliği 28 m, kret uzunluğu 304 m ve rezervuar hacmi 51 milyon m³tür. Taşkından korunmak, içme ve sulama suyunu temin etmek amaçları için inşaatına 1967 yılında başlanan baraj, bölgedeki zemin ve yer altı suyu problemlerinden dolayı ancak 1983 yılında işletmeye açılabilmiştir. Alibey Barajı, zemin problemlerinin çözümünde uygulanan “Kum drenleri+Fore kazıklar” yapı tarzı ile yeryüzü üzerindeki sayılı özel barajlar arasında yer almaktadır.

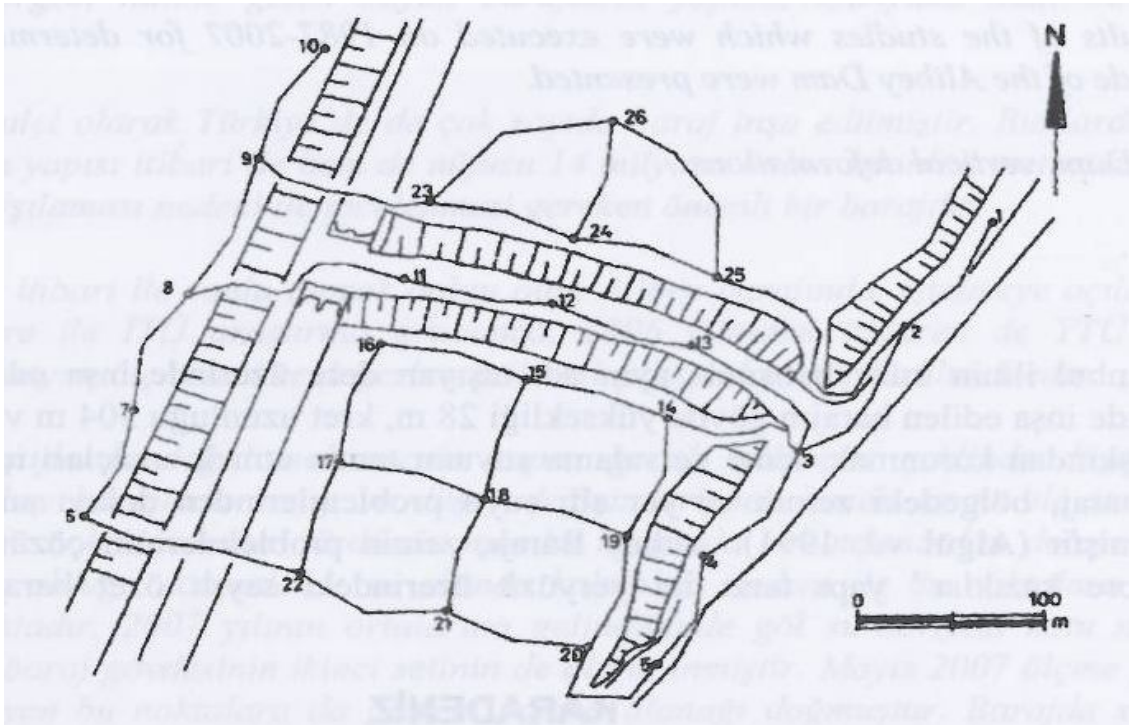


Şekil 6. 1 Alibey Barajının İstanbul Havzasındaki Yeri

Barajdaki deformasyon ölçmelerine yönelik ilk çalışmalar 1987 yılında 5 yıllık bir süreyi kapsayan “Alibey Barajı Jeodezik Deformasyon Araştırma Projesi” çerçevesinde Prof. Dr. Emirhan ALGÜL yürütücülüğünde İTÜ’den bir araştırma grubu tarafından gerçekleştirilmiştir. YTÜ Ölçme Tekniği Anabilim Dalı araştırma grubunun deformasyon ölçmeleri ve değerlendirilmesine yönelik çalışmaları ise 1996 yılındaki ilk çalışmanın ardından 1999 yılından bu yana aralıksız olarak sürdürülmektedir.

6.2 Jeodezik Kontrol Ağı ve Deformasyon Ölçmeleri

Alibey Barajı jeodezik kontrol ağı 10 referans noktası ve 16 obje noktası olmak üzere toplam 26 noktadan oluşacak şekilde tasarlanmıştır(Şekil 6.2). Referans noktalarının 5’i (1’den 5’e kadar olan noktalar) sol sahilde diğer 5’i (6’dan 10’a kadar olan noktalar) ise sağ sahilde seçilmiştir. Üç kademeli şekilde olan baraj gövdesindeki obje noktalarının 3’ü (11, 12 ve 13) birinci set olan kret üzerindedir. İkinci setteki noktalardan 6’sı mansap (14’den 19’a kadar olan noktalar) ve 4’ü (23’den 26’ya kadar olan noktalar) memba dolgularında, olacak şekilde belirlenmiştir. Üçüncü sette ise yalnız mansap tarafında 3 obje noktası (20, 21 ve 22) olacak şekilde tasarım öngörülmüştür. Referans noktalarında nispeten geniş, obje noktalarında ise daha dar olacak şekilde bütün noktalar silindirik kesitli pilye olarak tesis edilmiştir.



Şekil 6. 2 Alibey Barajı Jeodezik Kontrol Ağı ve Nivelman Ölçü Planı

Düşey değışimlerin yani baraj gövdesindeki oturmaların belirlenmesi için hassas geometrik nivelman yöntemi uygulanmıştır. İTÜ araştırma grubu yükseklik farklarını ilk periyotta (Nisan 1987) Zeiss Ni1 ve Wild N3 hassas nivoları ile diğer periyotlardaki ölçmeleri ise Zeiss Ni1 aleti ile gerçekleştirmiştir. YTÜ araştırma grubu tarafından bütün periyotlardaki ölçüler Wild N3 hassas nivosu ile yapılmıştır. Ölçmelerde 3 m uzunluğunda invar miralar, mira payandaları ve çarıkları kullanılmıştır. Geri ve ileri okumalarda nivo ile mira arasındaki mesafenin eşit olmasına azami özen gösterilmiştir. Yükseklik farkları gidiş ve dönüş olmak üzere ölçülmüştür [4].

6.3 Ölçme Dönemleri ve Ölçüler

Bu çalışmada, 1987 Nisan, 1999, 2004, 2009 ve 2011 yılları mayıs aylarında yapılan ölçüler değerlendirilmiş ve sonuçları paylaşılmıştır. Bu periyotların bazılarında, rezervuardaki su seviyesine bağlı olarak, memba tarafındaki obje noktalarının (23, 24, 25 ve 26) yükseklik farklarının, hassas geometrik nivelman yöntemi ile ölçülmesi, noktaların, kısmen ya da tamamen su seviyesinin altında kalmasından dolayı ulaşılamaması nedeni ile ölçme planına dahil edilememiştir(Ölçme planı Şekil 6.3).



Şekil 6. 3 Alibey Barajı Nivelman Ağı Üstten Görünüm

Tüm ölçme dönemlerinde aynı yaklaşık koordinat değerleri kullanılmıştır. Her ölçme periyodunun dolaylı ölçüler yöntemine göre serbest ağ dengellemeleri yapılmış olup, dengelenen ağa ilişkin bazı bilgiler Çizelge 6.1’de sunulmuştur.

Bu çizelgenin son sütununda verilen ölçme periyotlarına ilişkin, birim ağırlıklı ölçülerin standart sapma değerleri için, varyans uyumu testi yapılmış ve bütün standart sapma değerlerinin uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 6. 1 Karşılaştırılan ölçme periyotlarına ilişkin bazı serbest dengeleme bilgileri

Ölçme Dönemleri	Nokta Sayısı		Ölçülen Yükseklik Farkı Sayısı	Ω_i (mm ²)	f_i	s_i (mm)
	Referans	Objekt				
Nisan 1987	10	12	27*	2.802372	6	0.68
Mayıs 1999	10	12	52	14.537572	31	0.68
Mayıs 2004	10	12	46	11.381693	25	0.67
Mayıs 2009	10	12	54	16.119528	33	0.70
Mayıs 2011	10	12	54	16.903568	33	0.72

6.4 Deformasyon Ölçülerinin Analizi

Öncelikle düşey kontrol ağının herhangi bir yerinde anlamlı bir çökme olup olmadığının belirlenmesi için Hannover Yaklaşımına göre ağın bütünü için,

$$R_{genel} = 510220.2037 \quad , \quad \theta_{genel}^2 = 24296.2002 \quad , \quad T_{genel} = 48084.5779 \quad \rangle \quad F_{genel} = 1.8327$$

büyüklikleri hesaplanarak, ağı oluşturan nokta gruplarından birinde, noktalardan en az birinin hareketli olduğu kanısına varılmıştır.

Analiz sürecine, hareketsiz olduğu varsayılan referans noktaları ile devam edilerek, düşey değişimlerin belirlenmesine dayanak teşkil edecek hareketsiz referans noktalarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Referans noktaları kümesinde yapılan hesaplamalar sonucunda

$$R_{referans} = 634.4015 \quad , \quad \theta_{referans}^2 = 70.4891 \quad , \quad T_{referans} = 139.5048 \quad \rangle \quad F_{referans} = 2.1288$$

değerlerine ulaşılmıştır. Referans noktaları kümesinde, en az bir noktada, anlamlı düşey hareket olduğu sonucuna varılarak tek nokta hareketlerinin araştırılması aşamasına geçilmiş olup sonuçlar Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6. 2 Referans noktaları kümesinde (1987,2011) deformasyon analizi sonuçları

Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	T	F	Karar
1004	282.2837	16.8013	352.1178	87.109	2.184	Hareketli nokta var
1003	107.4082	10.3638	244.7096	69.186	2.253	Hareketli nokta var
1008	106.2714	10.3088	138.4382	45.664	2.339	Hareketli nokta var
1001	34.4738	5.8714	103.9644	41.151	2.451	Hareketli nokta var
1002	65.2127	8.0754	38.7517	19.173	2.604	Hareketli nokta var
1006	15.9448	3.9931	22.8070	15.046	2.832	Hareketli nokta var
1007	12.5080	3.5367	10.2989	10.191	3.211	Hareketli nokta var
1005	9.6567	3.1075	0.6422	1.271	3.994	Kalan referans noktaları hareketsiz

9 ve 10 numaralı referans noktalarının 24 yıllık (Nisan 1987-Mayıs 2011) süreçte hareketsiz olduğu belirlendikten sonra, obje noktalarında ve hareketli olduğu belirlenen, bu nedenle de obje noktası gibi değerlendirilecek olan referans noktalarında, deformasyon analiz sürecine geçilmiştir. Bu çalışmaya ilişkin sonuçlar Çizelge 6.3’de görülmektedir.

Çizelge 6. 3 Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (1987,2011)

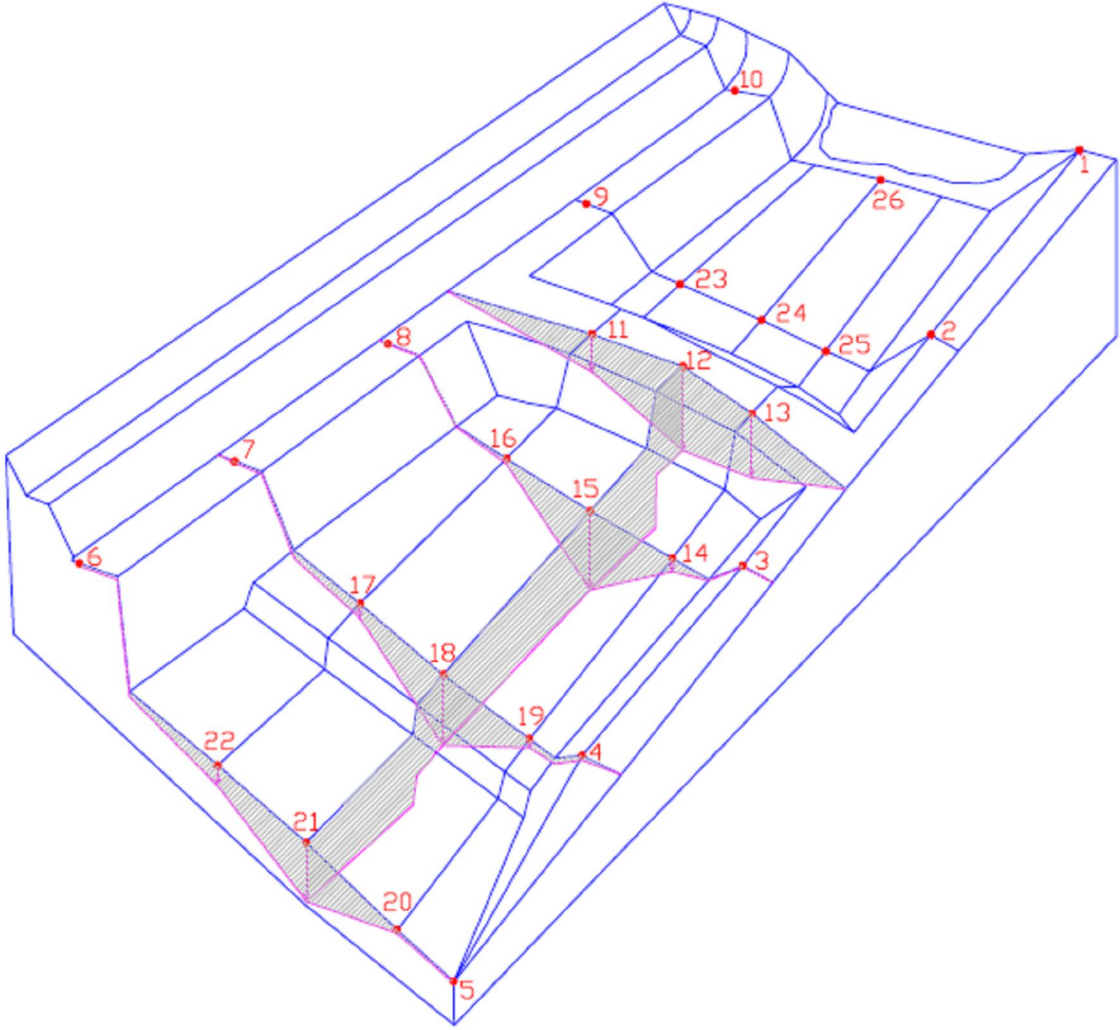
Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	T	F	Karar
1015	121917.3140	349.1666	388302.8897	38424.487	1.845	Hareketli nokta var
1018	142811.4010	377.9040	245491.4823	25571.151	1.859	Hareketli nokta var
1021	116142.6989	340.7972	129348.7833	14221.889	1.875	Hareketli nokta var
1012	34141.9564	184.7754	95206.8269	11083.747	1.891	Hareketli nokta var
1013	61649.6377	248.2935	33557.1892	4150.812	1.910	Hareketli nokta var
1011	25579.5395	159.9360	7977.6497	1052.570	1.931	Hareketli nokta var
1022	3132.5313	55.9690	4845.1184	684.926	1.954	Hareketli nokta var
1017	2762.3409	52.5580	2082.7776	317.079	1.980	Hareketli nokta var
1014	676.8162	26.0157	1405.9613	231.878	2.009	Hareketli nokta var
1019	669.3456	25.8717	736.6157	132.530	2.043	Hareketli nokta var
1004	278.4100	16.6856	458.2057	90.683	2.082	Hareketli nokta var
1003	109.9748	10.4869	348.2310	76.576	2.129	Hareketli nokta var
1008	107.5197	10.3692	240.7112	59.549	2.184	Hareketli nokta var
1005	110.4563	10.5098	130.2549	36.827	2.253	Hareketli nokta var
1001	34.4740	5.8715	95.7809	31.593	2.339	Hareketli nokta var
1002	25.4487	5.0447	70.3322	27.839	2.451	Hareketli nokta var
1016	14.1843	3.7662	56.1479	27.781	2.604	Hareketli nokta var
1020	18.3330	4.2817	37.8150	24.947	2.832	Hareketli nokta var
1006	17.5037	4.1837	20.3113	20.099	3.211	Hareketli nokta var
1007	19.6691	4.4350	0.6422	1.271	3.994	Kalan obje noktaları hareketsiz

Hareketli obje noktaları da belirlendikten sonra, bu noktalar ile hareketli referans noktalarındaki düşey değişimlerin büyüklükleri ve güven aralıkları Karlsruhe Yaklaşımına göre belirlenmiş ve Çizelge 6.4'te sunulmuştur.

Çizelge 6. 4 Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları (1987,2011)

Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)	Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)
Obje Noktaları			Hareketli Referans Noktaları		
1011	-178.711	2.387	1004	-21.204	3.705
1012	-404.763	2.887	1003	-5.345	3.397
1013	-308.941	3.163	1008	3.422	1.755
1014	-62.370	4.366	1001	-29.027	4.136
1015	-378.188	4.187	1002	-21.278	3.686
1016	-21.822	4.235	1006	-11.685	2.791
1017	-67.047	4.126	1007	-7.622	2.442
1018	-337.775	4.075	1005	-8.408	3.844
1019	-41.306	4.104			
1020	-17.105	3.943			
1021	-279.837	4.021			
1022	-97.735	4.044			

Baraj gövdesindeki çökmeleri daha iyi yorumlayabilmek adına, sonuçlar perspektif üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.4).



Şekil 6. 4 Baraj gövdesindeki çökmelerin perspektif görünüşü

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

1987 yılından 2011 yılına kadar geçen 24 yıllık süre sonunda, en fazla düşey hareketlerin(çökmelerin), sırasıyla, kret üzerindeki 12 numaralı noktada 405 mm, mansap tarafındaki 15 numaralı noktada 378 mm, 18 numaralı noktada 338 mm ve 21 numaralı noktada 280 mm olduğu belirlenmiştir.

Durumu kesitsel olarak irdelediğimizde;

Kret üzerindeki 11, 12 ve 13 numaralı noktalarda, sırasıyla, 179 mm, 405 mm ve 309 mm'lik çökmeler olduğu ve bu çökmelerinde, orta noktadan sağ ve sol sahil yönünde giderek azaldığı söylenebilir.

Mansap tarafında ise, 15, 18 ve 21 numaralı orta noktalardaki çökmelerin de, sırasıyla 378 mm, 338 mm ve 280 mm olarak, sağ ve sol sahildeki noktalara göre daha fazla olduğu, kendi içerisinde de, membadan uzaklaştıkça azalan bir eğilim gösterdiği söylenebilir.

Bu çalışmada 1987, 1999, 2004, 2009 ve 2011 yıllarında yapılan, geometrik nivelman yöntemiyle elde edilen ölçüler, kendi aralarında, 1987-1999, 1987-2004, 1987-2009, 1987-2011, 1999-2004, 2004-2009 ve 2009-2011 olarak 7 farklı şekilde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 2009-2011 dönemi hariç, tüm dönemlerde, hemen hemen tüm obje noktalarında çökmeler olduğu, 2009-2011 döneminde ise 12 numaralı nokta hariç, tüm obje noktalarında 10-40 mm aralığında yükselmeler olduğu gözlenmiştir. Bu durumda, 2009 yılına kadar çökmelerin devam

ettiği, 2009 yılından 2011 yılına kadar ise azalarak duraklamaya geğtiğinden söz edilebilir.

Milyonlarca metreküp suyun depolandığı, böylesine büyük ve önemli mühendislik yapılarının, bir takım değişik faktörlerin etkisi altında kalarak deformasyona uğraması her zaman mümkündür. Böylesine büyük mühendislik yapıları inşa edilmeden önce, gerek yer seçimi aşamasında, gerekse projelendirme çalışmaları sırasında, pek çok kriterler göz önünde bulundurularak, özenle planlanırlar. Planlama aşamasındaki araştırma ve çalışmalara gösterilecek olan, hassasiyet ve özen, inşaat aşamasında hatta işletme döneminde karşımıza çıkabilecek pek çok olumsuzluğun minimize edilmesine olanak sağlayacaktır.

Pek çok emek, para ve zaman harcanarak tesis edilen baraj gibi yapıların, inşaatın başlangıç aşamasından, bitiş aşamasına ve işletildiği süre boyunca pek çok meslek disiplini mensubu tarafından kontrol altında tutulması, çok büyük önem arz etmektedir. Bu aşamaların hepsinde Harita Mühendisleri görev almalıdırlar. Uygun nitelikte teknolojik aletler yardımı ile yapılan ölçümler ve elde edilen sonuçların değerlendirilip yorumlanmasıyla, şekil değişimlerinin belirlenebilmesi mümkündür. Can ve mal kayıplarının minimum seviyelere indirilmesi, zaman kayıplarının önlenmesi, önceden önlem alınmasının sağlanması için, bu tür yapılarda periyodik veya sürekli gözlem yapılması ve sonuçlarının değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Erkaya, H.,(1987). Mühendislik Yapılarındaki Deformasyonların Jeodezik Yöntemlerle Saptanması ve Bir Model Üzerinde Uygulanması, Doktora Tezi, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Hoşbaş, R.G.,(1992). Baraj Deformasyonlarının Belirlenmesinde Jeodezik Yaklaşımların İrdelenmesi ve Bir Öneri, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Uzel, T.,(1991). Barajların Güvenliği, Yıldız Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- [4] Hoşbaş, R.G., Erkaya, H., Ersoy, N., Gülal, V.E.,(2007).”Alibey Barajında Düşey Değişimlerin Jeodezik Yöntemlerle İzlenmesi”, 3. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 24-26 Ekim 2007, Selçuk Üniversitesi Konya, 488-494
- [5] Ünver, M.,(1994). Düşey Yöndeki Yerkabuğu Deformasyonlarının Kinematik Modelle Belirlenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [6] Tanır, E.,(2000). Deformasyon Analizinde Statik Değerlendirme Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [7] Ünver, M.,(1988). Düşey Yöndeki Yerkabuğu Hareketlerinin Duyarlıklı Nivelman Ölçüleri İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [8] Erol, S.,(2008). GPS ve Nivelman Ölçüleriyle Deformasyonların Belirlenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [9] Hoşbaş, R.G., “Deformasyon Ölçmeleri Ders Notları”.
- [10] Hekimoğlu, Ş., Erenoğlu, R.C.,(2005). “Nivelman Ağlarında Robust Yöntemlerle Uyuşumsuz Ölçü Analizi ve Sonuçlarının Klasik Yöntemle Karşılaştırılması”, 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ İstanbul, 481-490
- [11] Yalçinkaya, M.,(1996). “Nivelman Ağlarında Duyarlık ve Güven Ölçütleri”, HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetim Dergisi, 80:73-84.

- [12] Hekimoğlu, Ş., Erenoğlu, R.C.,(2007). "Jeodezik Ağlarda Uyuşumsuz Ölçülerin Klasik yaklaşım ve Robust Yöntemlerle Belirlenmesi", HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetim Dergisi, 97:97, 3-8
- [13] Setan, H., Singh, R.,(2001). "Deformation Analysis of a Geodetic Monitoring Network", Geomatica. 55:3.
- [14] Demirel, H., "Deformasyon Analizi Ders Notları".
- [15] Demirel, H.,(2009). Dengeleme Hesabı, 3. Baskı, YTÜ Yayınları, 192-194, İstanbul.
- [16] Turan, F.,(2007). Dolgu Tipli Barajlarda Düşey Değişimlerin Hassas Trigonometrik Nivelman Yöntemiyle Belirlenmesi Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Bayrak, T.,(2006/2). "Yamula Barajındaki Düşey Deformasyonların Jeodezik Yöntemlerle izlenmesi", HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetim Dergisi, 95:19.
- [18] Demirkaya, S., Hoşbaş, R.G., Erkaya, H., "Hannover Yaklaşımı İle Geometrik Analiz Sürecine Bir Kısa Yol Önerisi", 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ İstanbul, 457-459
- [19] Kalkan, Y., Alkan, R.M., (2005). "Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri", 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ İstanbul, 69
- [20] Erkaya, H., "Yükseklik Ölçmeleri Ders Notları".
- [21] Hoşbaş, R.G., Erkaya, H., Gülal, V.E., (2003). "Baraj Deformasyonlarının Üç Boyutlu Geometrik Modelle İrdelenmesi", 1. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 30-31 Ekim 2003, Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul, 161

DİĞER PERİYOTLARA İLİŞKİN DEFORMASYON ANALİZLERİ

A-1 Deformasyon Ölçülerinin Analizi (1987-1999)

Hannover Yaklaşımına göre ağın bütünü için,

$$R_{genel} = 101233.0313, \quad \theta_{genel}^2 = 4820.6205, \quad T_{genel} = 10286.2477 \rangle F_{genel} = 1.8481$$

hesaplanmıştır. Ağı oluşturan nokta gruplarından birinde, noktalardan en az biri hareketlidir. Referans noktaları kümesinde yapılan hesaplamalar sonucunda,

$$R_{referans} = 666.1973, \quad \theta_{referans}^2 = 74.0219, \quad T_{referans} = 157.9481 \rangle F_{referans} = 2.1431$$

değerlerine ulaşılmıştır. Referans noktaları kümesinde, en az bir noktada, anlamlı düşey hareket olduğu sonucuna varılarak tek nokta hareketlerinin araştırılması aşamasına geçilmiştir.

Çizelge EK-A-1. 1 Referans noktaları kümesinde (1987,1999) deformasyon analizi sonuçları

Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	T	F	Karar
1003	369.9870	19.2350	296.2102	79.007	2.199	Hareketli nokta var
1007	43.2661	6.5777	252.9442	77.105	2.267	Hareketli nokta var
1006	16.9029	4.1113	236.0412	83.944	2.352	Hareketli nokta var
1008	24.9003	4.9900	211.1409	90.107	2.464	Hareketli nokta var
1009	40.8087	6.3882	170.3323	90.864	2.618	Hareketli nokta var
1010	154.1748	12.4167	16.1574	11.492	2.846	Hareketli nokta var
1004	10.8368	3.2919	5.3206	5.677	3.224	Hareketli nokta var
1005	5.3180	2.3061	0.0025	0.005	4.009	Kalan referans noktaları hareketsiz

1 ve 2 numaralı referans noktaları hareketsizdir.

Çizelge EK-A-1. 2 Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (1987, 1999)

Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	T	F	Karar
1015	39699.0558	199.2462	61533.9754	6565.065	1.861	Hareketli nokta var
1018	31191.0010	176.6097	30342.9701	3407.678	1.875	Hareketli nokta var
1012	10412.1149	102.0398	19930.8553	2362.694	1.890	Hareketli nokta var
1013	14097.4134	118.7325	5833.4418	732.200	1.907	Hareketli nokta var
1011	2847.1382	53.3586	2986.3037	398.261	1.925	Hareketli nokta var
1021	1014.6661	31.8538	1971.6376	280.472	1.946	Hareketli nokta var
1019	502.5429	22.4175	1469.0947	223.911	1.968	Hareketli nokta var
1016	388.5513	19.7117	1080.5434	177.359	1.994	Hareketli nokta var
1003	374.0312	19.3399	706.5122	125.630	2.024	Hareketli nokta var
1005	178.1702	13.3480	528.3420	102.489	2.057	Hareketli nokta var
1022	129.8012	11.3930	398.5408	85.041	2.097	Hareketli nokta var
1017	53.6857	7.3271	344.8551	81.761	2.143	Hareketli nokta var
1020	60.3928	7.7713	284.4623	75.873	2.199	Hareketli nokta var
1007	43.2659	6.5777	241.1964	73.524	2.267	Hareketli nokta var
1006	13.5972	3.6874	227.5992	80.942	2.352	Hareketli nokta var
1008	22.2301	4.7149	205.3692	87.643	2.464	Hareketli nokta var
1009	38.1671	6.1780	167.2021	89.194	2.618	Hareketli nokta var
1010	141.3190	11.8878	25.8831	18.410	2.846	Hareketli nokta var
1014	12.6215	3.5527	13.2616	14.149	3.224	Hareketli nokta var
1004	13.2590	3.6413	0.0025	0.005	4.009	Kalan obje noktaları hareketsiz

Çizelge EK-A-1. 3 Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları(1987, 1999)

Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)	Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)
Obje Noktaları			Hareketli Referans Noktaları		
1011	-90.721	3.296	1003	8.945	1.845
1012	-206.391	2.969	1007	-45.738	3.877
1013	-147.522	2.500	1006	-41.813	3.969
1014	-12.281	3.310	1008	-39.825	3.748
1015	-189.490	3.315	1009	-42.355	4.136
1016	-2.342	3.441	1010	-41.104	4.435
1017	-24.309	3.309	1004	-6.512	2.451
1018	-124.001	3.171	1005	-4.643	2.760
1019	-1.616	3.103			
1020	-17.549	2.915			
1021	-45.279	3.152			
1022	-35.506	3.391			

A-2 Deformasyon Ölçülerinin Analizi (1987-2004)

Hannover Yaklaşımına göre ağı bütün için,

$$R_{genel} = 218289.9707, \quad \theta_{genel}^2 = 10394.7605, \quad T_{genel} = 22718.2811 \rangle F_{genel} = 1.9067$$

hesaplanmıştır. Ağı oluşturan nokta gruplarından birinde, noktalardan en az biri hareketlidir. Referans noktaları kümesinde yapılan hesaplamalar sonucunda,

$$R_{referans} = 610.6374, \quad \theta_{referans}^2 = 67.8486, \quad T_{referans} = 148.2866 \rangle F_{referans} = 2.1977$$

değerlerine ulaşılmıştır. Referans noktaları kümesinde, en az bir noktada, anlamlı düşey hareket olduğu sonucuna varılarak tek nokta hareketlerinin araştırılması aşamasına geçilmiştir.

Çizelge EK-A-2. 1 Referans noktaları kümesinde (1987, 2004) deformasyon analizi sonuçları

Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	T	F	Karar
1004	375.2925	19.3725	235.3450	64.295	2.253	Hareketli nokta var
1001	45.0071	6.7087	190.3379	59.428	2.320	Hareketli nokta var
1002	129.1247	11.3633	61.2131	22.297	2.406	Hareketli nokta var
1008	41.4142	6.4354	19.7989	8.654	2.517	Hareketli nokta var
1005	8.3376	2.8875	11.4613	6.262	2.671	Hareketli nokta var
1007	7.4391	2.7275	4.0222	2.930	2.898	Hareketli nokta var
1010	2.6418	1.6254	1.3803	1.508	3.278	Kalan referans noktaları hareketsiz

3,6 ve 9 numaralı referans noktaları hareketsizdir.

Çizelge EK-A-2. 2 Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (1987, 2004)

Nokta No	R_I	θ_I	R_{kalan}	T	F	Karar
1015	84879.4553	291.3408	133410.5155	14578.775	1.919	Hareketli nokta var
1018	51841.0931	227.6864	81569.4080	9382.848	1.933	Hareketli nokta var
1012	21112.3276	145.3008	60457.0804	7340.669	1.948	Hareketli nokta var
1013	30957.0702	175.9462	29500.0102	3792.575	1.964	Hareketli nokta var
1011	13408.6121	115.7956	16091.3981	2198.036	1.982	Hareketli nokta var
1021	12200.0976	110.4541	3891.3005	566.976	2.002	Hareketli nokta var
1022	1031.0687	32.1103	2860.2318	446.513	2.025	Hareketli nokta var
1017	1176.2983	34.2972	1683.9335	283.102	2.050	Hareketli nokta var
1014	698.7026	26.4330	985.2309	179.439	2.080	Hareketli nokta var
1005	466.4185	21.5967	518.8124	103.081	2.113	Hareketli nokta var
1004	111.5508	10.5618	407.2615	89.009	2.152	Hareketli nokta var
1020	52.8089	7.2670	354.4526	86.075	2.198	Hareketli nokta var
1001	45.0073	6.7087	309.4453	84.539	2.253	Hareketli nokta var
1002	129.1236	11.3633	180.3217	56.300	2.320	Hareketli nokta var
1008	41.4705	6.4398	138.8513	50.578	2.406	Hareketli nokta var
1016	17.6120	4.1967	121.2393	52.995	2.517	Hareketli nokta var
1019	109.7784	10.4775	11.4609	6.262	2.671	Hareketli nokta var
1007	7.4388	2.7274	4.0221	2.930	2.898	Hareketli nokta var
1010	2.6418	1.6254	1.3803	1.508	3.278	Kalan obje noktaları hareketsiz

Çizelge EK-A-2. 3 Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları (1987, 2004)

Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)	Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)
Obje Noktaları			Hareketli Referans Noktaları		
1011	-129.899	1.748	1004	-12.583	1.447
1012	-290.237	1.749	1001	-21.523	2.280
1013	-224.123	1.506	1002	-13.824	1.659
1014	-40.710	2.538	1008	3.699	1.171
1015	-263.111	2.586	1005	4.004	1.891
1016	-21.082	2.648	1007	-2.309	1.154
1017	-45.084	2.493	1010	-1.743	1.462
1018	-193.907	2.438			
1019	-18.022	2.345			
1020	-8.745	2.106			
1021	-111.099	2.337			
1022	-59.364	2.436			

A-3 Deformasyon Ölçülerinin Analizi (1987-2009)

Hannover Yaklaşımına göre ağın bütünü için,

$$R_{genel} = 463957.9020, \quad \theta_{genel}^2 = 22093.2334, \quad T_{genel} = 45536.4474 \rangle F_{genel} = 1.8327$$

hesaplanmıştır. Ağı oluşturan nokta gruplarından birinde, noktalardan en az biri hareketlidir. Referans noktaları kümesinde yapılan hesaplamalar sonucunda,

$$R_{referans} = 791.7880, \quad \theta_{referans}^2 = 87.9764, \quad T_{referans} = 181.3286 \rangle F_{referans} = 2.1288$$

değerlerine ulaşılmıştır. Referans noktaları kümesinde, en az bir noktada, anlamlı düşey hareket olduğu sonucuna varılarak tek nokta hareketlerinin araştırılması aşamasına geçilmiştir.

Çizelge EK-A-3. 1 Referans noktaları kümesinde (1987, 2009) deformasyon analizi sonuçları

Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	T	F	Karar
1003	490.8478	22.1551	300.9402	77.534	2.184	Hareketli nokta var
1001	155.7213	12.4788	145.2189	42.759	2.253	Hareketli nokta var
1008	77.2676	8.7902	67.9513	23.342	2.339	Hareketli nokta var
1004	39.0730	6.2508	28.8783	11.904	2.451	Hareketli nokta var
1005	7.1558	2.6750	21.7226	11.193	2.604	Hareketli nokta var
1002	20.4460	4.5217	1.2766	0.877	2.832	Kalan referans noktaları hareketsiz

6, 7, 9 ve 10 numaralı referans noktaları hareketsizdir.

Çizelge EK-A-3. 2. Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (1987, 2009)

Nokta No	R_f	θ_f	R_{kalan}	T	F	Karar
1015	88734.4011	297.8832	375223.5009	38668.729	1.845	Hareketli nokta var
1018	139905.2357	374.0391	235318.2625	25527.124	1.859	Hareketli nokta var
1021	102538.8519	320.2169	132779.4105	15204.008	1.875	Hareketli nokta var
1012	37934.9075	194.7689	94844.5030	11499.080	1.891	Hareketli nokta var
1013	62098.7227	249.1962	32745.7804	4218.278	1.910	Hareketli nokta var
1011	24155.5454	155.4205	8590.2350	1180.358	1.931	Hareketli nokta var
1022	2722.5795	52.1783	5867.6555	863.846	1.954	Hareketli nokta var
1017	2104.1726	45.8713	3763.4829	596.687	1.980	Hareketli nokta var
1014	1449.4476	38.0716	2314.0354	397.456	2.009	Hareketli nokta var
1005	694.4768	26.3529	1619.5585	303.462	2.043	Hareketli nokta var
1003	533.2416	23.0920	1086.3169	223.901	2.082	Hareketli nokta var
1019	493.1252	22.2064	593.1917	135.848	2.129	Hareketli nokta var
1001	155.7215	12.4788	437.4702	112.709	2.184	Hareketli nokta var
1020	107.8382	10.3845	329.6320	97.058	2.253	Hareketli nokta var
1016	194.6029	13.9500	135.0291	46.385	2.339	Hareketli nokta var
1008	77.1335	8.7826	57.8956	23.866	2.451	Hareketli nokta var
1004	36.1738	6.0145	21.7218	11.193	2.604	Hareketli nokta var
1002	20.4453	4.5216	1.2766	0.877	2.832	Kalan obje noktaları hareketsiz

Çizelge EK-A-3. 3. Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları (1987, 2009)

Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)	Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)
Obje Noktaları			Hareketli Referans Noktaları		
1011	-170.818	1.993	1003	5.194	2.897
1012	-386.343	2.382	1001	-24.813	3.603
1013	-299.786	2.669	1008	5.727	1.083
1014	-90.546	3.671	1004	-16.267	3.074
1015	-384.348	3.579	1005	-11.638	3.239
1016	-40.431	3.700	1002	-10.488	3.229
1017	-83.131	3.490			
1018	-339.450	3.413			
1019	-54.981	3.413			
1020	-36.973	3.293			
1021	-288.690	3.359			
1022	-116.701	3.422			

A-4 Deformasyon Ölçülerinin Analizi (1999-2004)

Hannover Yaklaşımına göre ağın bütünü için,

$$R_{genel} = 29314.2819, \theta_{genel}^2 = 1395.9182, T_{genel} = 3015.9582 \rangle F_{genel} = 1.7471$$

hesaplanmıştır. Ağı oluşturan nokta gruplarından birinde, noktalardan en az biri hareketlidir. Referans noktaları kümesinde yapılan hesaplamalar sonucunda,

$$R_{referans} = 894.9797, \theta_{referans}^2 = 99.4422, T_{referans} = 214.8503 \rangle F_{referans} = 2.0500$$

değerlerine ulaşılmıştır. Referans noktaları kümesinde, en az bir noktada, anlamlı düşey hareket olduğu sonucuna varılarak tek nokta hareketlerinin araştırılması aşamasına geçilmiştir.

Çizelge EK-A-4. 1 Referans noktaları kümesinde (1999, 2004) deformasyon analizi sonuçları

Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	T	F	Karar
1005	295.4467	17.1886	599.5330	161.916	2.106	Hareketli nokta var
1001	66.1211	8.1315	533.4120	164.638	2.175	Hareketli nokta var
1008	54.5902	7.3885	478.8218	172.420	2.262	Hareketli nokta var
1007	35.8624	5.9885	442.9594	191.408	2.374	Hareketli nokta var
1009	39.8519	6.3128	403.1075	217.734	2.529	Hareketli nokta var
1006	94.7814	9.7356	308.3261	222.052	2.756	Hareketli nokta var
1010	283.7225	16.8441	24.6036	26.579	3.134	Hareketli nokta var
1002	17.5647	4.1910	7.0389	15.208	3.916	Kalan referans noktaları hareketsiz

3 ve 4 numaralı referans noktaları hareketsizdir.

Çizelge EK-A-4. 2 Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (1999, 2004)

Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	T	F	Karar
1008	306478.1314	553.6047	62593.0216	6761.784	1.760	Hareketli nokta var
1021	5478.0470	74.0138	23042.5510	2620.247	1.775	Hareketli nokta var
1018	6321.5630	79.5083	16720.9880	2007.034	1.791	Hareketli nokta var
1015	5479.1878	74.0215	11241.8002	1428.737	1.808	Hareketli nokta var
1013	1904.9214	43.6454	9336.8787	1260.803	1.827	Hareketli nokta var
1012	4132.6955	64.2860	5204.1833	749.595	1.848	Hareketli nokta var
1011	2749.1041	52.4319	2455.0791	378.881	1.872	Hareketli nokta var
1020	691.8845	26.3037	1763.1947	293.037	1.898	Hareketli nokta var
1005	915.7355	30.2611	847.4592	152.582	1.928	Hareketli nokta var
1014	174.8849	13.2244	672.5743	132.103	1.963	Hareketli nokta var
1001	66.1211	8.1315	606.4532	131.028	2.003	Hareketli nokta var
1007	35.8636	5.9886	570.5896	136.977	2.050	Hareketli nokta var
1009	39.8532	6.3129	530.7364	143.336	2.106	Hareketli nokta var
1006	94.8208	9.7376	435.9156	134.546	2.175	Hareketli nokta var
1010	283.8049	16.8465	152.1107	54.774	2.262	Hareketli nokta var
1022	35.3068	5.9420	116.8039	50.472	2.374	Hareketli nokta var
1017	23.1438	4.8108	93.6601	50.589	2.529	Hareketli nokta var
1002	17.5647	4.1910	76.0954	54.803	2.756	Hareketli nokta var
1019	10.6988	3.2709	65.3966	70.647	3.134	Hareketli nokta var
1016	58.3578	7.6392	7.0389	15.208	3.916	Kalan obje noktaları hareketsiz

Çizelge EK-A-4. 3 Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları (1999, 2004)

Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)	Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)
Obje Noktaları			Hareketli Referans Noktaları		
1011	-33.158	2.027	1005	16.469	3.103
1012	-77.370	2.154	1001	-13.925	1.859
1013	-70.059	2.458	1008	48.823	2.509
1014	-21.283	2.145	1007	48.835	2.520
1015	-66.504	2.291	1009	47.019	2.181
1016	-11.646	2.137	1006	47.316	1.994
1017	-13.703	2.395	1010	44.025	1.793
1018	-62.794	2.589	1002	-6.607	2.434
1019	-9.255	2.806			
1020	15.995	3.045			
1021	-58.713	2.337			
1022	-16.841	1.824			

A-5 Deformasyon Ölçülerinin Analizi (2004-2009)

Hannover Yaklaşımına göre ağın bütünü için,

$$R_{genel} = 102825.8953, \theta_{genel}^2 = 4896.4712, T_{genel} = 10326.6444 \rangle F_{genel} = 1.7404$$

hesaplanmıştır. Ağı oluşturan nokta gruplarından birinde, noktalardan en az biri hareketlidir. Referans noktaları kümesinde yapılan hesaplamalar sonucunda,

$$R_{referans} = 302.6746, \theta_{referans}^2 = 33.6305, T_{referans} = 70.9267 \rangle F_{referans} = 2.0439$$

değerlerine ulaşılmıştır. Referans noktaları kümesinde, en az bir noktada, anlamlı düşey hareket olduğu sonucuna varılarak tek nokta hareketlerinin araştırılması aşamasına geçilmiştir.

Çizelge EK-A-5. 1 Referans noktaları kümesinde (2004, 2009) deformasyon analizi sonuçları

Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	T	F	Karar
1005	149.5176	12.2277	153.1570	40.376	2.100	Hareketli nokta var
1004	91.9919	9.5912	61.1651	18.428	2.169	Hareketli nokta var
1001	50.1888	7.0844	10.9763	3.858	2.256	Hareketli nokta var
1006	3.9339	1.9834	7.0424	2.970	2.368	Hareketli nokta var
1003	3.7659	1.9406	3.2765	1.728	2.523	Kalan referans noktaları hareketsiz

2, 7, 8, 9 ve 10 numaralı referans noktaları hareketsizdir.

Çizelge EK-A-5. 2 Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (2004, 2009)

Nokta No	R_I	θ_I	R_{kalan}	T	F	Karar
1021	43029.1778	207.4348	59796.7176	6305.556	1.754	Hareketli nokta var
1018	29668.5771	172.2457	30128.1368	3344.219	1.768	Hareketli nokta var
1015	14893.8483	122.0404	15234.2885	1784.948	1.784	Hareketli nokta var
1012	3499.7612	59.1588	11734.5272	1455.770	1.801	Hareketli nokta var
1013	7402.5816	86.0383	4331.9457	571.004	1.820	Hareketli nokta var
1011	2371.1018	48.6940	1960.8439	275.694	1.842	Hareketli nokta var
1016	523.0392	22.8701	1437.8047	216.595	1.865	Hareketli nokta var
1022	545.4733	23.3554	892.3314	144.763	1.892	Hareketli nokta var
1014	162.8403	12.7609	729.4911	128.208	1.922	Hareketli nokta var
1003	66.2686	8.1406	663.2225	127.158	1.957	Hareketli nokta var
1019	65.8351	8.1139	597.3874	125.989	1.997	Hareketli nokta var
1020	79.6874	8.9268	517.7000	121.314	2.044	Hareketli nokta var
1017	281.2959	16.7719	236.4042	62.322	2.100	Hareketli nokta var
1005	149.5167	12.2277	86.8874	26.178	2.169	Hareketli nokta var
1001	50.1889	7.0844	36.6986	12.900	2.256	Hareketli nokta var
1004	29.4881	5.4303	7.2104	3.041	2.368	Hareketli nokta var
1006	3.9339	1.9834	3.2765	1.728	2.523	Kalan obje noktaları hareketsiz

Çizelge EK-A-5. 3 Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları (2004, 2009)

Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)	Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)
Obje Noktaları			Hareketli Referans Noktaları		
1011	-43.191	1.263	1005	-18.812	2.190
1012	-98.720	1.409	1004	-6.977	1.750
1013	-78.612	1.344	1001	-6.626	1.274
1014	-52.879	2.956	1006	-1.659	1.139
1015	-124.250	2.924	1003	1.759	1.234
1016	-22.337	3.025			
1017	-41.012	2.837			
1018	-148.550	2.741			
1019	-40.008	2.627			
1020	-31.319	2.413			
1021	-180.593	2.641			
1022	-60.243	2.856			

A-6 Deformasyon Ölçülerinin Analizi (2009-2011)

Hannover Yaklaşımına göre ağın bütünü için,

$$R_{genel} = 2184.3073, \theta_{genel}^2 = 104.0146, T_{genel} = 207.8837 \rangle F_{genel} = 1.7176$$

hesaplanmıştır. Ağı oluşturan nokta gruplarından birinde, noktalardan en az biri hareketlidir. Referans noktaları kümesinde yapılan hesaplamalar sonucunda,

$$R_{referans} = 200.2086, \theta_{referans}^2 = 22.2454, T_{referans} = 44.4596 \rangle F_{referans} = 2.0231$$

değerlerine ulaşılmıştır. Referans noktaları kümesinde, en az bir noktada, anlamlı düşey hareket olduğu sonucuna varılarak tek nokta hareketlerinin araştırılması aşamasına geçilmiştir.

Çizelge EK-A-6. 1 Referans noktaları kümesinde (2009, 2011) deformasyon analizi sonuçları

Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	T	F	Karar
1005	63.1877	7.9491	137.0210	34.231	2.080	Hareketli nokta var
1001	33.2752	5.7685	103.7458	29.621	2.149	Hareketli nokta var
1006	33.0433	5.7483	70.7025	23.551	2.236	Hareketli nokta var
1004	24.4059	4.9402	46.2966	18.506	2.348	Hareketli nokta var
1007	19.3394	4.3977	26.9572	13.469	2.503	Hareketli nokta var
1009	5.4876	2.3426	21.4696	14.303	2.730	Hareketli nokta var
1008	3.0440	1.7447	18.4257	18.413	3.108	Hareketli nokta var
1010	18.3483	4.2835	0.0774	0.155	3.890	Kalan referans noktaları hareketsiz

2 ve 3 numaralı referans noktaları hareketsizdir.

Çizelge EK-A-6. 2 Obje noktaları ve hareketli referans noktaları için deformasyon analizi sonuçları (2009, 2011)

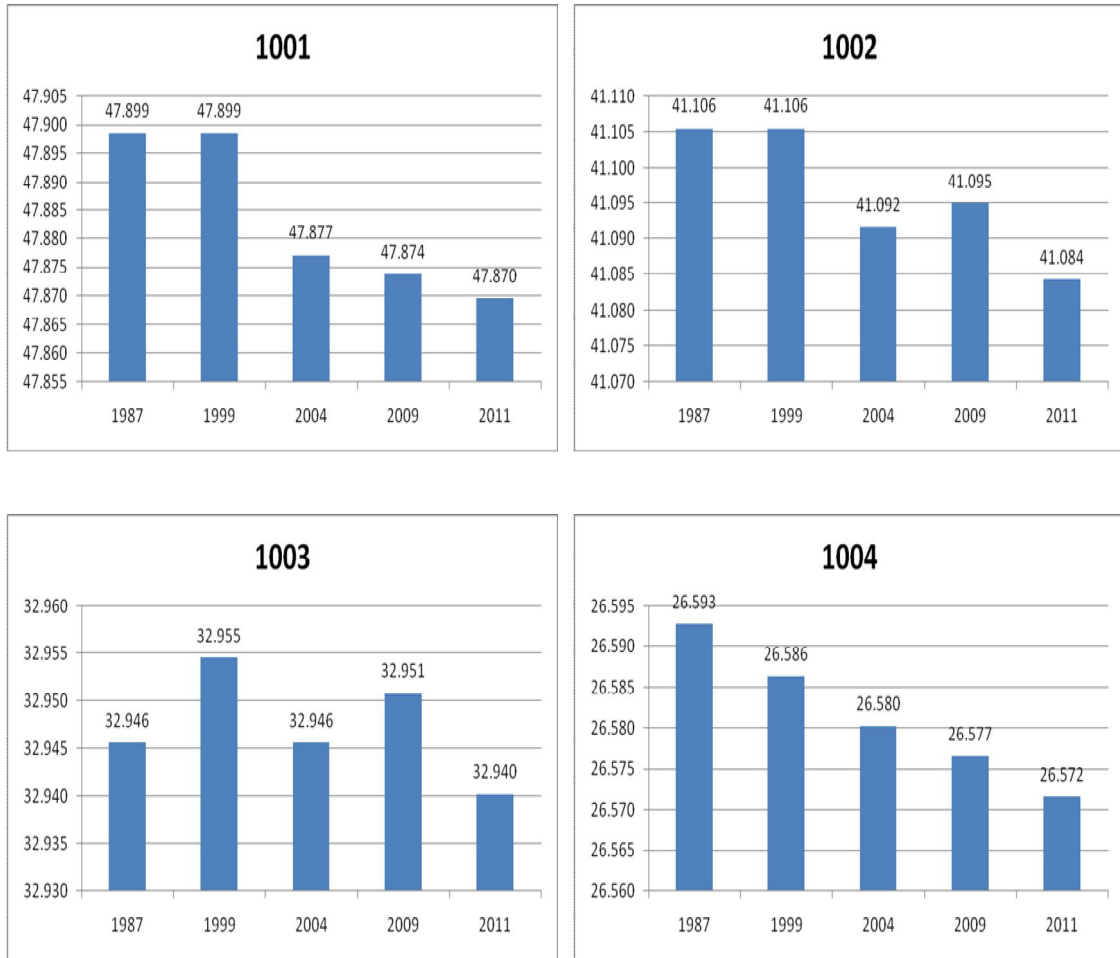
Nokta No	R_f	θ_f	R_{kalan}	T	F	Karar
1018	48522.5393	220.2783	9294.8246	928.832	1.731	Hareketli nokta var
1020	520.3506	22.8112	1218.6978	128.194	1.746	Hareketli nokta var
1014	480.4859	21.9200	738.2119	81.966	1.762	Hareketli nokta var
1012	201.1111	14.1814	537.1008	63.144	1.779	Hareketli nokta var
1022	107.6324	10.3746	429.4684	53.646	1.798	Hareketli nokta var
1015	86.0100	9.2742	343.4584	45.762	1.820	Hareketli nokta var
1001	33.2752	5.7685	310.1832	44.281	1.844	Hareketli nokta var
1006	33.0433	5.7483	277.1399	42.607	1.870	Hareketli nokta var
1011	23.0338	4.7994	254.1061	42.321	1.901	Hareketli nokta var
1019	19.4507	4.4103	234.6554	42.635	1.936	Hareketli nokta var
1007	19.3394	4.3977	215.3159	43.033	1.976	Hareketli nokta var
1016	14.1717	3.7645	201.1443	44.667	2.023	Hareketli nokta var
1017	62.7969	7.9244	138.3474	34.563	2.080	Hareketli nokta var
1021	23.7778	4.8763	114.5696	32.711	2.149	Hareketli nokta var
1005	63.1877	7.9491	51.3819	17.115	2.236	Hareketli nokta var
1004	24.4059	4.9402	26.9760	10.783	2.348	Hareketli nokta var
1009	5.5054	2.3464	21.4706	10.728	2.503	Hareketli nokta var
1008	2.8576	1.6905	18.6130	12.400	2.730	Hareketli nokta var
1010	14.8918	3.8590	3.7212	3.719	3.108	Hareketli nokta var
1013	3.6438	1.9089	0.0774	0.155	3.890	Kalan obje noktaları hareketsiz

Çizelge EK-A-6. 3 Noktalardaki düşey hareket büyüklükleri ve güven aralıkları (2009, 2011)

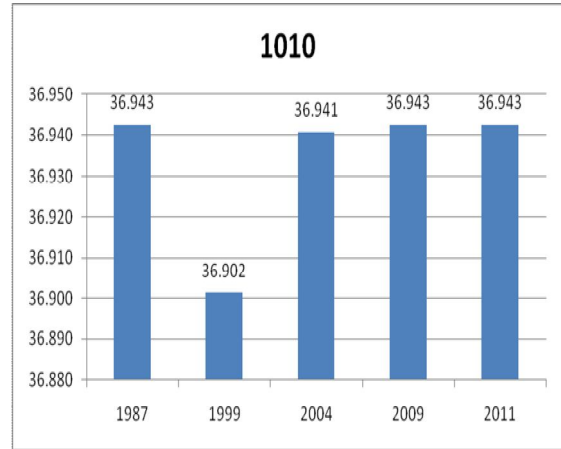
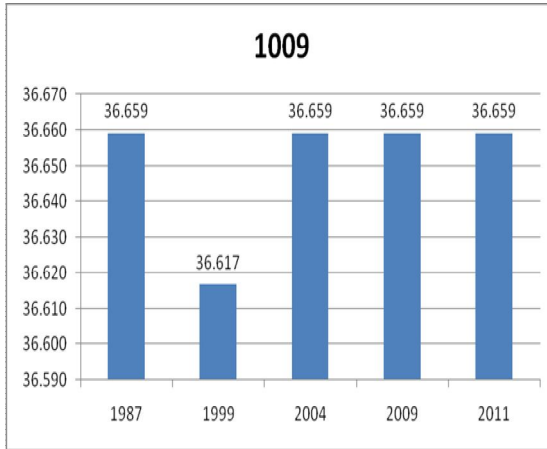
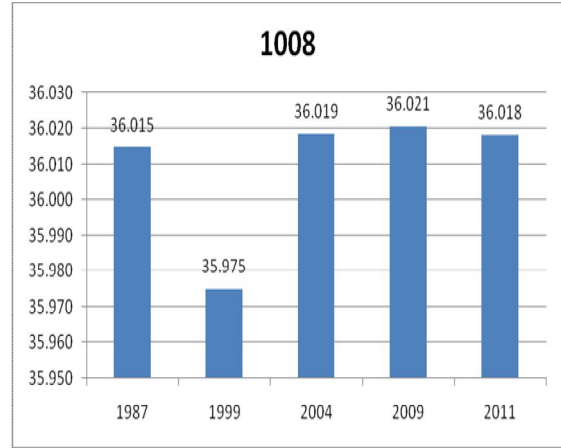
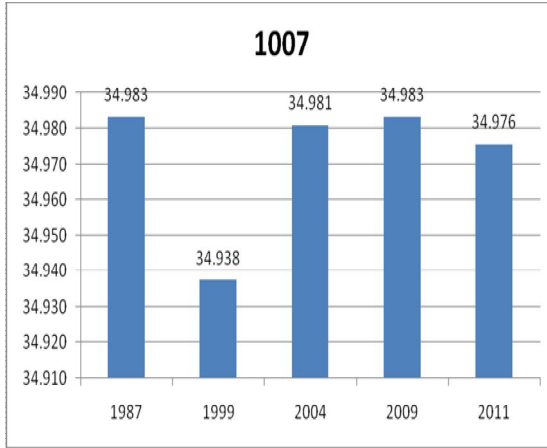
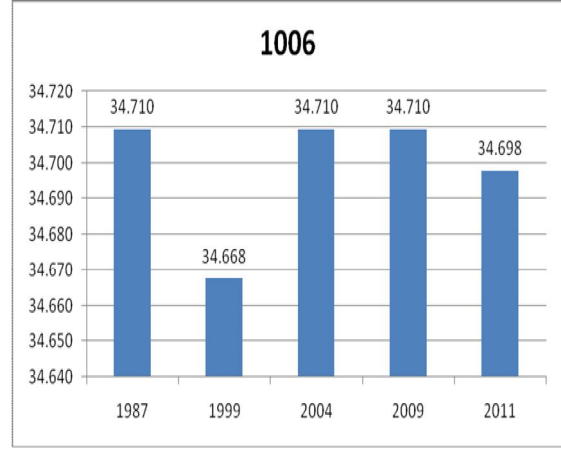
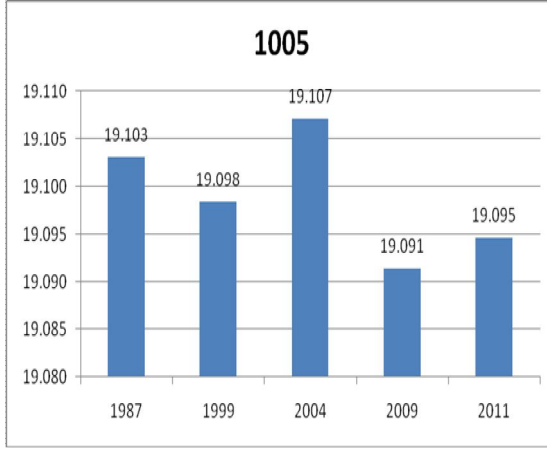
Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)	Nokta No	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)
Obje Noktaları			Hareketli Referans Noktaları		
1011	2.810	2.284	1005	13.884	2.479
1012	-7.727	2.372	1001	6.426	2.101
1013	1.537	3.193	1006	-1.013	2.077
1014	38.822	1.874	1004	5.754	2.485
1015	16.805	2.551	1007	3.797	2.450
1016	29.253	2.082	1009	10.203	2.360
1017	26.726	2.617	1008	8.520	2.429
1018	12.319	3.315	1010	9.631	1.805
1019	24.322	2.400			
1020	30.517	2.897			
1021	19.497	2.892			
1022	29.604	2.051			

REFERANS VE OBJE NOKTALARININ YÜKSEKLİKLERİNİN ÖLÇME DÖNEMLERİNE GÖRE GRAFİKSEL GÖSTERİMLERİ

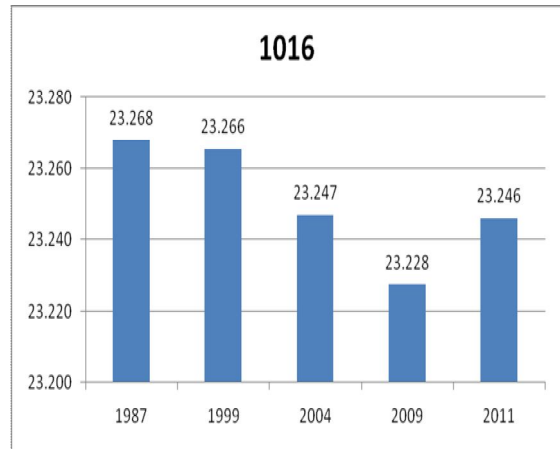
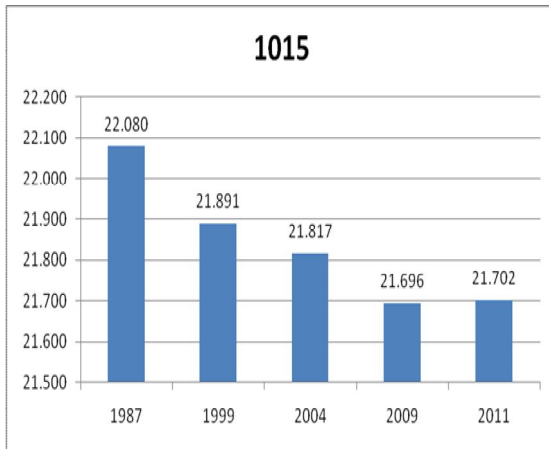
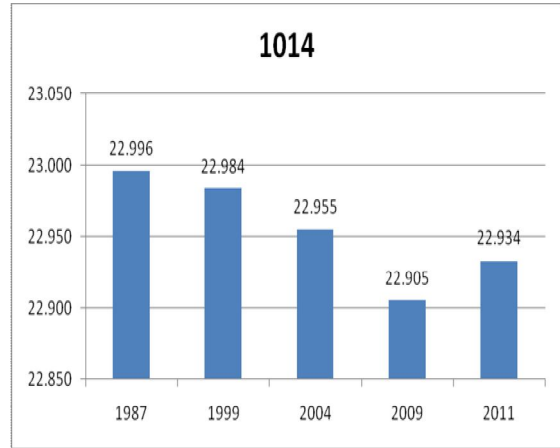
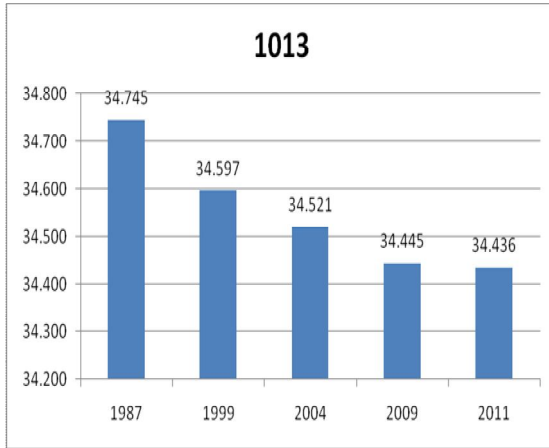
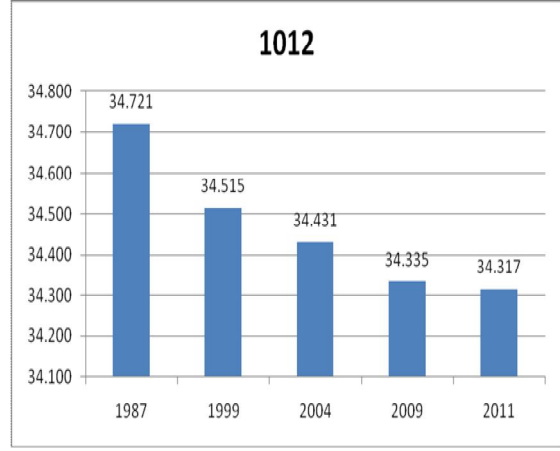
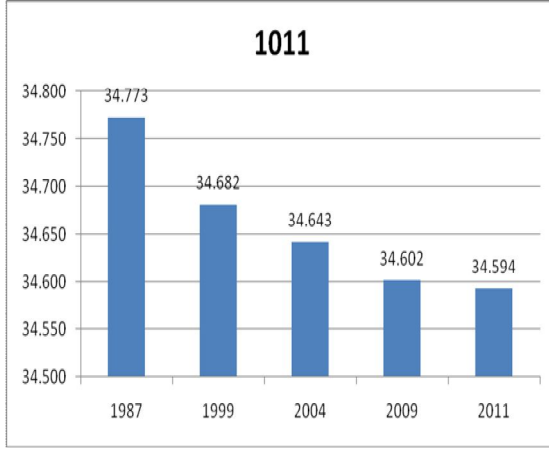
B-1 Referans Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Grafiksel Gösterimleri (Yükseklikler metre birimindedir)



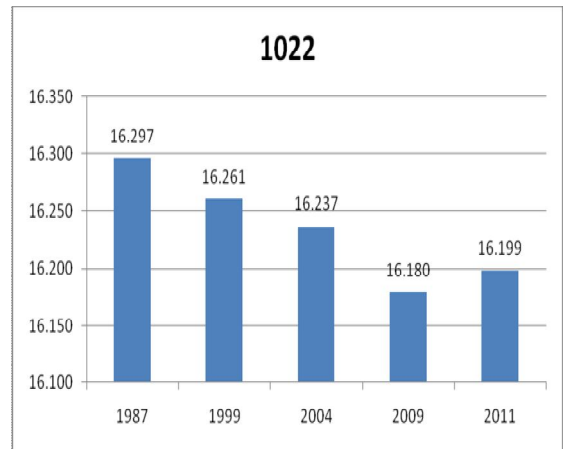
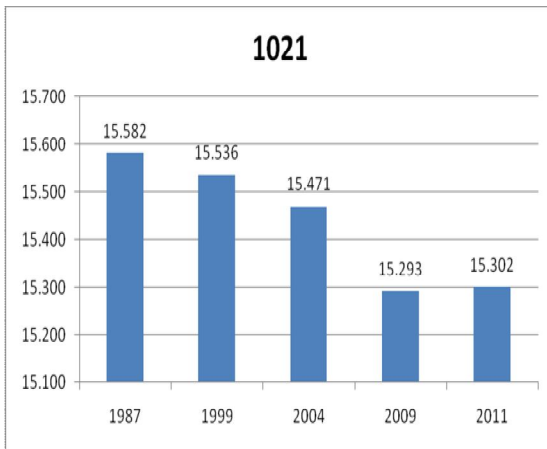
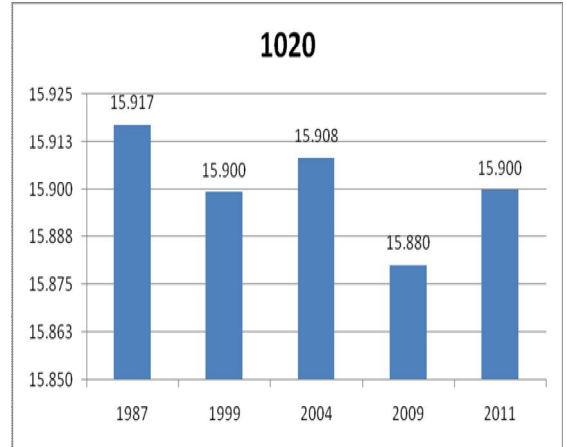
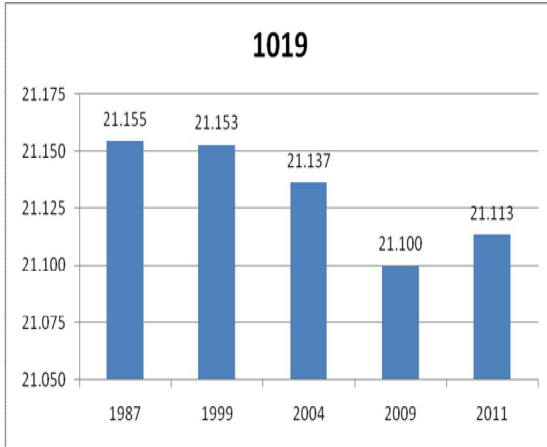
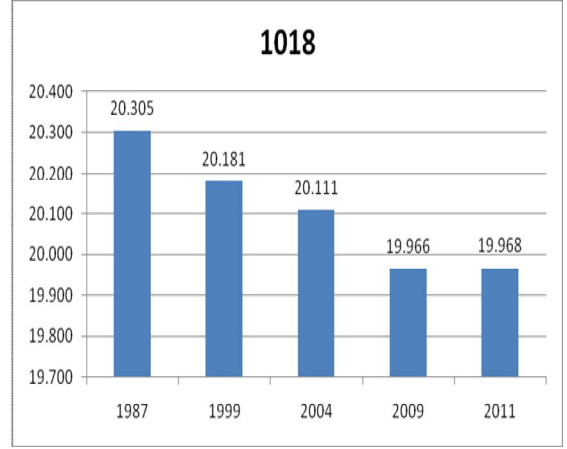
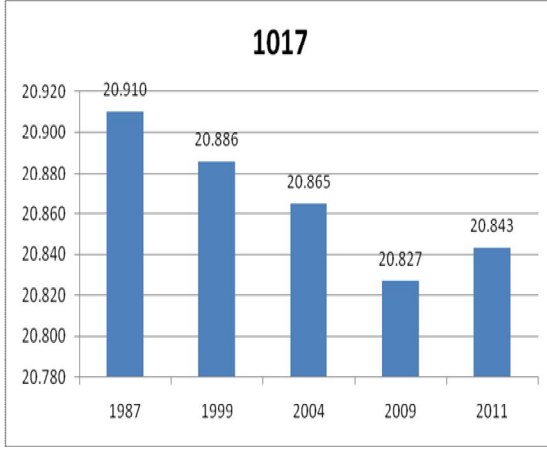
B-1 Referans Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Grafiksel Gösterimleri (Yükseklikler metre birimindedir)(Devam)



B-2 Obje Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Grafiks
Gösterimleri (Yükseklikler metre birimindedir)

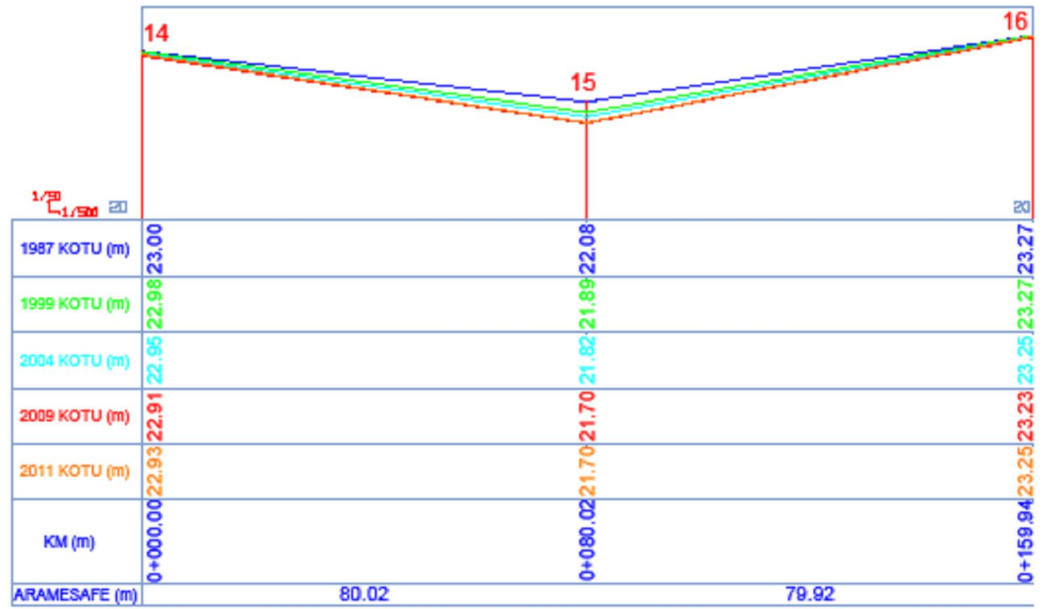
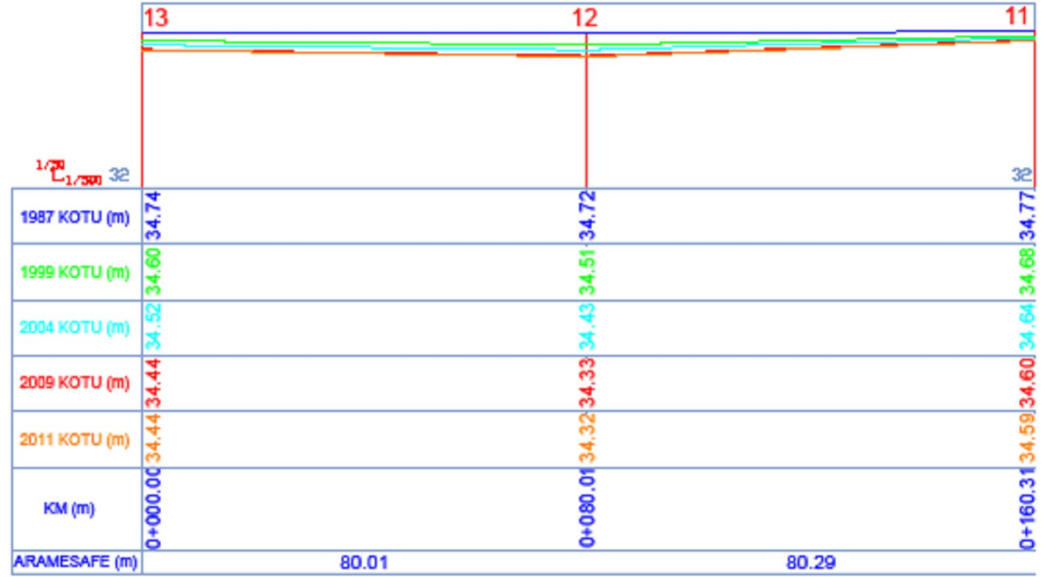


B-2 Obje Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Grafiks
Gösterimleri (Yükseklikler metre birimindedir)(Devam)

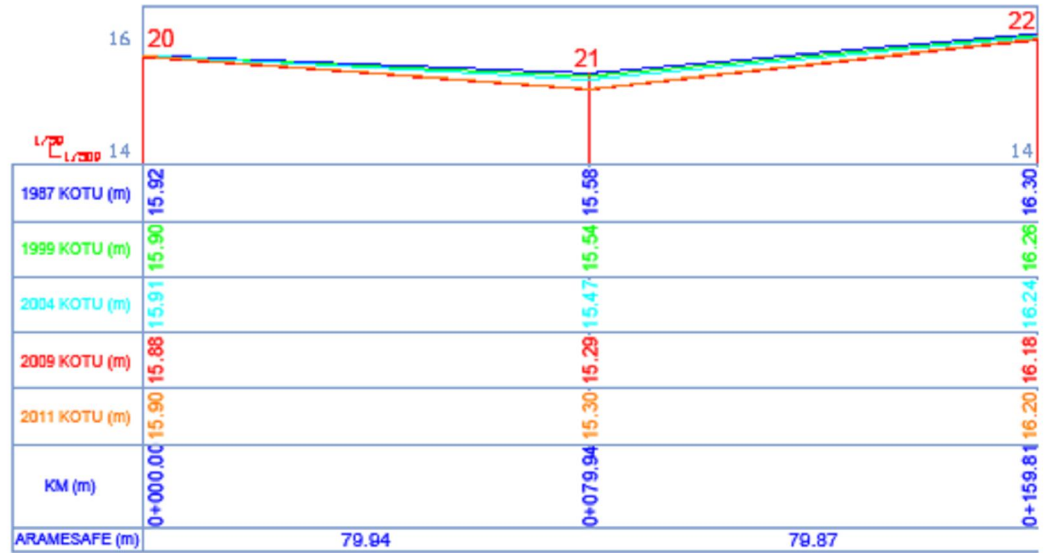
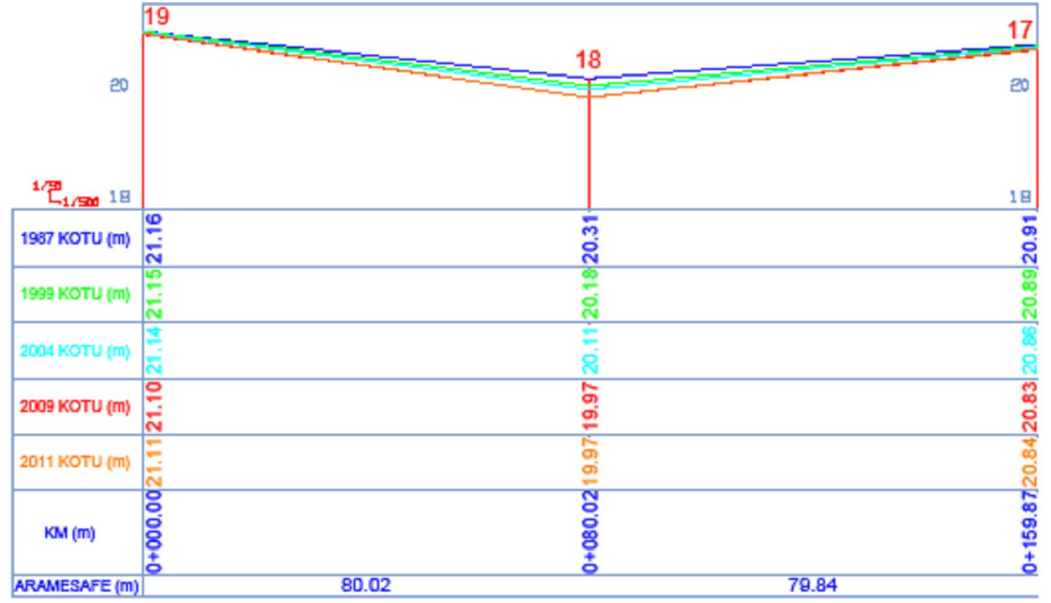


**REFERANS VE OBJE NOKTALARININ YÜKSEKLİKLERİNİN ÖLÇME
DÖNEMLERİNE GÖRE KESİT GÖSTERİMLERİ**

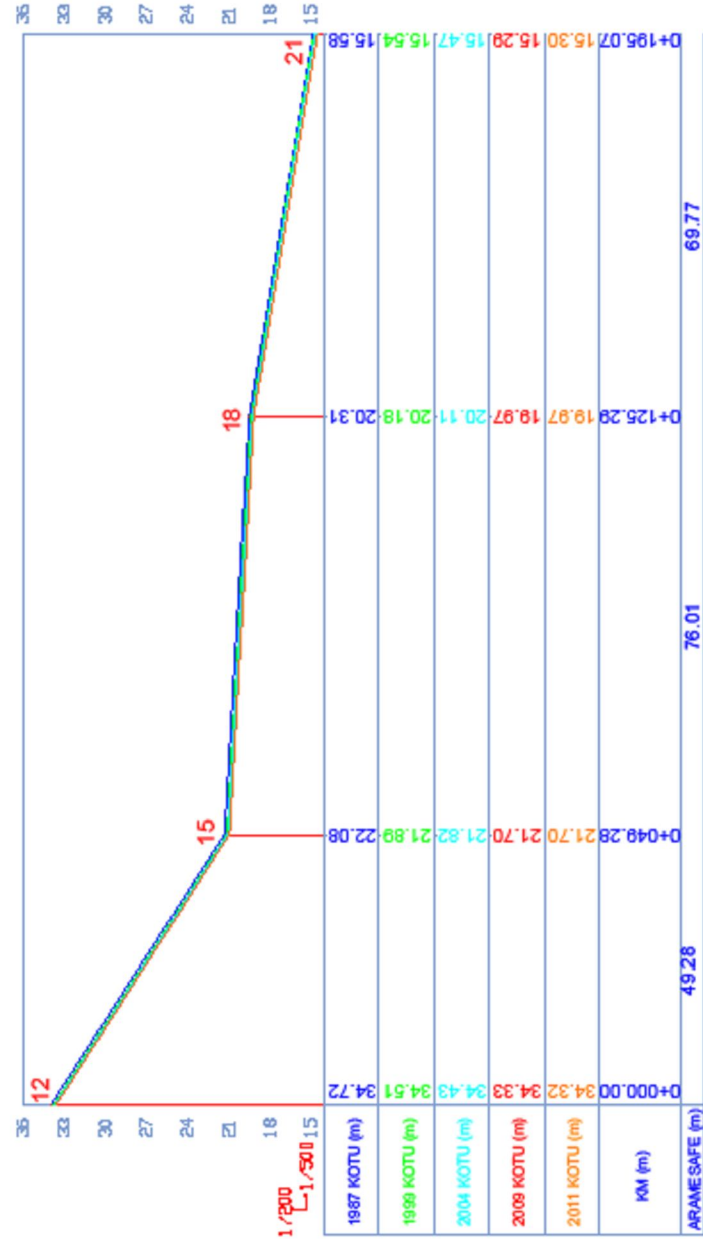
C-1 Obje Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Kesitsel Gösterimleri



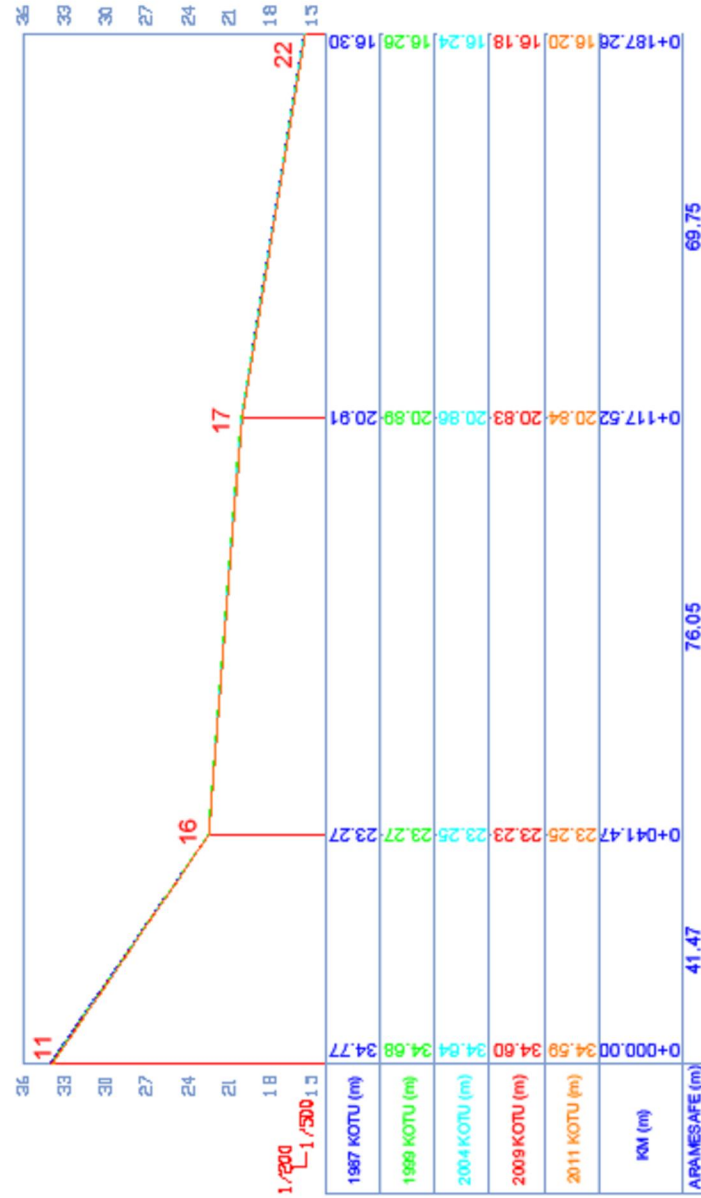
**C-1 Obje Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Kesitsel Gösterimleri
(Devam)**



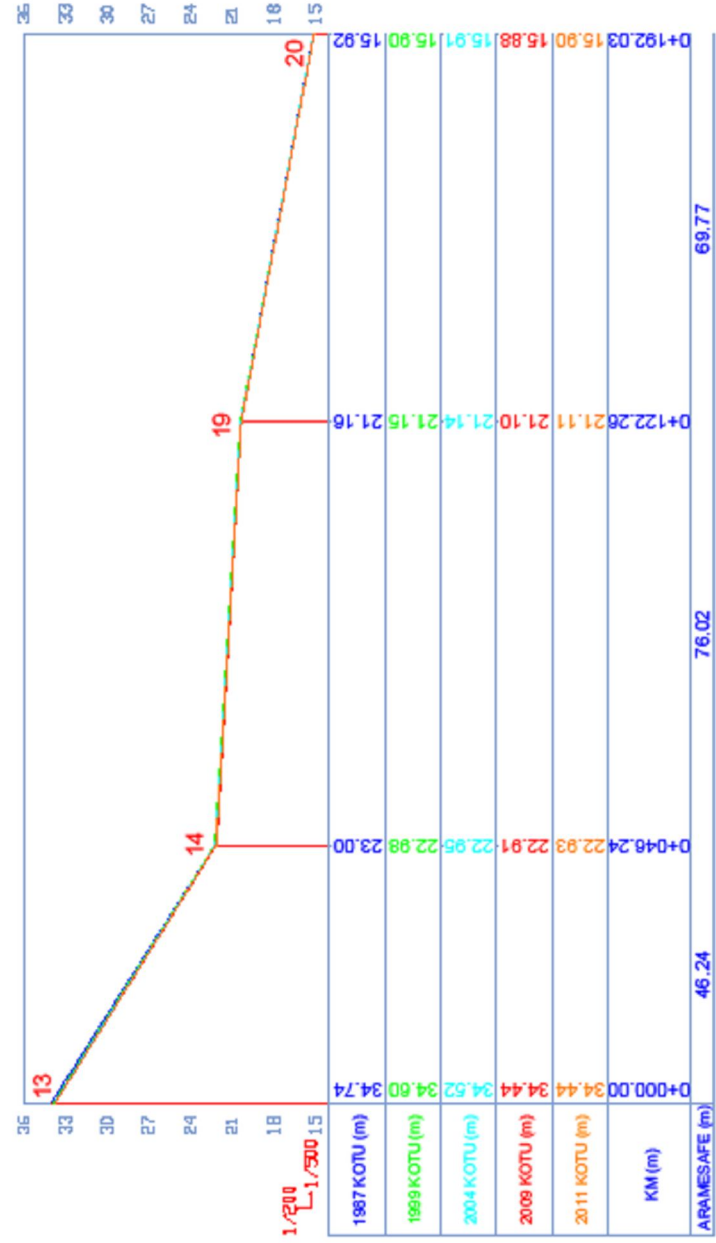
C-1 Obje Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Kesitsel Gösterimleri
(Devam)



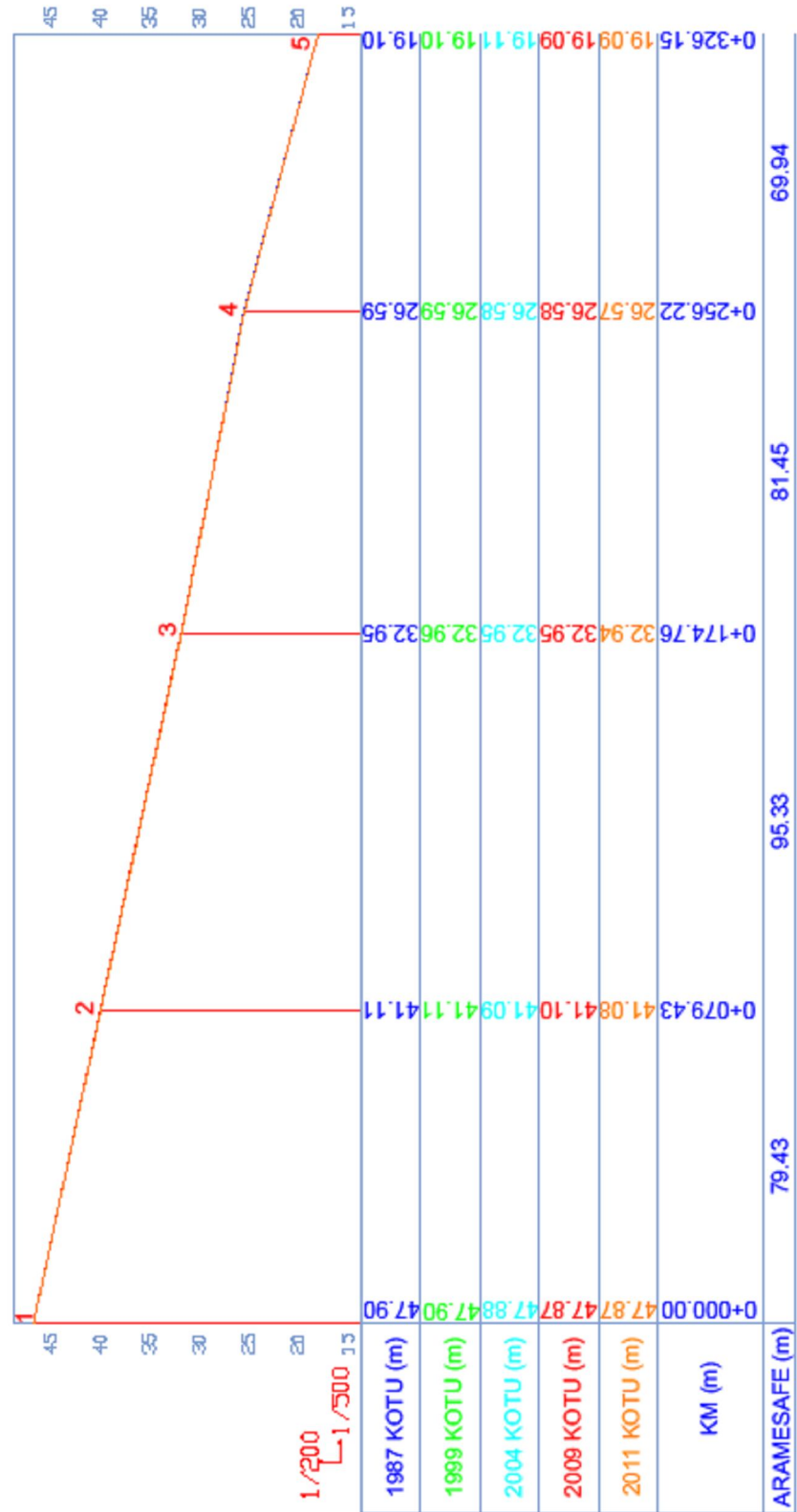
C-1 Obje Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Kesitsel Gösterimleri
(Devam)



C-1 Obje Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Kesitsel Gösterimleri
(Devam)



C-2 Referans Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Kesitsel Gösterimleri



C-2 Referans Noktalarının Yüksekliklerinin Ölçme Dönemlerine Göre Kesitsel Gösterimleri (Devam)

	6	7	8	9	10
1/200					
1/500					
1987 KOTU (m)	0+000.00	0+069.99	0+146.31	0+237.26	0+313.29
1999 KOTU (m)	34.71	34.98	36.02	36.66	36.94
2004 KOTU (m)	34.67	34.98	36.02	36.66	36.94
2009 KOTU (m)	34.71	34.98	36.02	36.66	36.94
2011 KOTU (m)	34.70	34.98	36.02	36.66	36.94
KM (m)	0+000.00	0+069.99	0+146.31	0+237.26	0+313.29
ARAMESAFE (m)	69.99	76.33	90.95	76.03	

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet UYSAL
Doğum Tarihi ve Yeri : 28.07.1974 – Eskişehir
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ahmetuysal7@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Müh. ABD. Geomatik Programı	Yıldız Teknik Üniversitesi	Devam Ediyor
Lisans	İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fot. Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	1996
Lise	Elektronik Bölümü	Yunusemre Teknik Lisesi	1992

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2008 – Devam Ediyor	GAZDAŞ Trakya Böl. Doğalgaz Dağ. A.Ş.	Harita Mühendisi

	Çerkezköy İşletme Müdürlüğü	Yapım Sorumlusu
2006-2008	RÖNTGENSAN Müh. Hizm. İnş. Ltd. Şti.	Kontrol Mühendisi
2002-2006	İNTAŞ İnş. Taah. Tic. Ltd. Şti.	Etüd Proje Şefi
2001-2002	KIRCAL İnş. San. Ve Tic. A.Ş.	Etüd Proje Şefi
1998-1999	Simge İnşaat Ltd. Şti.	Saha Mühendisi
1997-1998	DÖNÜŞÜM Harita İnş. Ltd. Şti.	Şirket Ortağı
1997-1997	ÜNAL Harita İmar İnş. Tic.San. Ltd. Şti.	Şantiye Şefi