

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAKSİM-KABATAŞ FÜNİKÜLER HATTINDA
DEFORMASYON ÖLÇMELERİ**

Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Esin YAŞAR

**FBE Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı Geomatik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. R. Gürsel HOŞBAŞ

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Deformasyon Tanımı.....	1
1.2 Deformasyon Ölçmelerinin Gelişim Süreci.....	1
2. DEFORMASYONA NEDEN OLAN FAKTÖRLER ve DEFORMASYON ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ.....	4
2.1 Deformasyona Neden Olan Faktörler.....	4
2.1.1 Tektonik Hareketler.....	4
2.1.2 Yerel Hareketler.....	4
2.2 Deformasyon Araştırma Modelleri.....	5
2.2.1 Statik Model.....	5
2.2.2 Kinematik Model.....	6
2.2.3 Dinamik Model.....	6
2.3 Deformasyon Ölçmelerinin Uygulama Alanları.....	7
3. JEODEZİK YÖNTEMLERLE DEFORMASYON ÖLÇMELERİ.....	8
3.1 Yatay Yöndeki Deformasyonları Belirlemek Amacıyla Kullanılan Jeodezik Ölçme Yöntemleri.....	8
3.1.1 Jeodezik Kontrol Ağı Yöntemi.....	8
3.1.1.1 Ölçme (Gözlem) Noktaları.....	9
3.1.1.2 Obje (Deformasyon) Noktaları.....	10
3.1.1.3 Yöneltilme Noktaları.....	10
3.1.1.4 Sigorta Noktaları.....	11
3.1.1.5 Nirengi Ağıının Ölçülmesi.....	11
3.1.2 Hassas Poligon Yöntemi.....	12
3.1.3 Aliyman Yöntemi.....	13
3.2 Düşey Yöndeki Deformasyonları Belirlemek Amacıyla Kullanılan Jeodezik Ölçme Yöntemleri.....	14
3.2.1 Hassas Geometrik Nivelman Yöntemi.....	14
3.2.1.1 Hassas Geometrik Nivelmana Etki Eden Hatalar.....	15

3.2.2	Hidrostatik Nivelman Yöntemi.....	17
3.2.2.1	Metron Hortumlu Su Düzeceleri.....	20
4.	TÜNEL İNŞAATLARINDA YAPILAN JEODEZİK ÖLÇMELER.....	22
4.1	Klasik Metodla Derin Tünel Yapımı.....	24
4.1.1	N.A.T.M. (Yeni Avusturya Tünel Metodu) Hakkında Genel Bilgiler.....	24
4.1.1.1	NATM Tünel Kazılarının Yönlendirilmesi.....	25
4.1.1.2	Tünel Stabilesinin İzlenmesi.....	27
4.2	Deformasyona Neden Olan Faktörler.....	27
4.2.1	Zeminin Jeolojik Yapısı.....	27
4.2.2	Tünelin Yapılış Şekli.....	28
4.3	Beklenen Deformasyonlar.....	29
4.4	Deformasyon Ölçmeleri.....	30
4.5	NATM Tünel Metodunda Deformasyonların İzlenmesi.....	31
4.5.1	Tünel Üstünde Yapılan Ölçümler.....	31
4.5.1.1	Oturma Bulonu Ölçmeleri.....	31
4.5.1.2	Çubuk Ekstensonometre Ölçümleri.....	33
4.5.1.3	İnklinometre Ölçümleri.....	33
4.5.2	Tünel İçinde Yapılan Ölçümler.....	34
4.5.2.1	Koveryans (Yaklaşım) Bulonu Ölçümleri.....	34
4.5.2.2	Tape (Band) Ekstensonometre Ölçümleri.....	34
4.5.2.3	Elektro Optik 3D Ölçümü.....	36
4.6	Yük ve Basınç Hücreleri ile Yapılan Ölçümler.....	36
4.7	TBM Tünel Metodu.....	36
4.7.1	TBM Makinesinin Yönlendirilmesi.....	38
4.7.2	Tünel Stabilesinin İzlenmesi.....	39
4.7.3	Tünel İç Kaplama İmalatının Ölçümlerle Kontrolü.....	39
4.8	Batırma Tünel (Immersed Tube) Yöntemi.....	39
5.	DEFORMASYON ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	42
5.1	Dolaylı Ölçüler Dengelemesi.....	42
5.2	Serbest Ağ Dengelemesi.....	43
5.2.2	Tüm İz Minimum Çözümü.....	43
5.2.3	Kısmi İz Minimum Çözümü.....	44
5.2.4	Klasik Dengeleme.....	45
5.2.5	S-Dönüşümü.....	45
5.3	Nivelman Ağlarında Duyarlık ve Güven Ölçütleri.....	46
5.3.1	Nivelman Ağlarında Duyarlık Ölçütleri.....	46
5.3.1.1	Model Hipotezinin Testi.....	47
5.3.1.2	Genişletilmiş Modelin Testi.....	48
5.3.1.3	Dengeli Yükseklik Farklarının Bağlı Hataları.....	50
5.3.2	Nivelman Ağlarında Güven Ölçütleri.....	50
5.3.2.1	İç Güven Ölçütü.....	51
5.3.2.2	Dış Güven Ölçütü.....	52
6.	JEODEZİK DEFORMASYON ÖLÇÜLERİNİN ANALİZİ.....	54
6.1	Deformasyon Analizinde Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri.....	54

6.1.1	Analitik Yöntemle Deformasyon Analizi.....	54
6.1.2	Bağıl Güven Elipsleri Yöntemi (Karlsruhe Yaklaşımı) İle Deformasyon Analizi.....	54
6.1.2.1	Matematiksel Modelin Kurulması.....	55
6.1.2.2	Referans Noktalarının Belirlenmesi.....	55
6.1.2.3	Deformasyonların Yerelleştirilmesi.....	56
6.1.2.4	Deformasyonların Grafik Yorumu.....	58
6.1.3	Ortalama Aykırılıklar Yöntemi (Hannover Yaklaşımı) İle Deformasyon Analizi.....	59
6.1.3.1	Matematiksel Modelin Oluşturulması.....	59
6.1.3.2	Test İstatistiğinin Oluşturulması.....	60
6.1.3.3	Referans Noktalarının Belirlenmesi.....	61
7.	TAKSİM-KABATAŞ FÜNİKÜLER SİSTEMİNDE DEFORMASYON ÖLÇMELERİ.....	64
7.1	Füniküler Sisteminin Tanımı.....	64
7.2	Taksim Kabataş Füniküler Sisteminin Tanıtımı.....	64
7.3	Füniküler Hattın Teknik Özellikleri.....	66
7.3.1	Teknik Parametreler.....	67
7.4	Çalışma Bölgelerindeki Yükseklik Verilerinin Değerlendirilmesi	69
7.4.1	AKM Bölgesi Dengeleme Sonucu Yükseklik Değerleri.....	69
7.4.2	Binalar Bölgesi (0+400 km) Dengeleme Sonucu Yükseklik Değerleri	75
7.4.3	Alman Konsolosluğu Bölgesi Dengeleme Sonucu Yükseklik Değerleri	85
7.5	Hassas Yükseklik Verilerinin Deformasyon Analizi	90
7.5.1	AKM Bölgesindeki Hassas Yükseklik Verilerinin Analizi.....	91
7.5.2	(0+400)'deki Binalar Bölgesindeki Hassas Yükseklik Verilerinin Analizi.....	93
7.5.3	Alman Konsolosluğu Bölgesindeki Hassas Yükseklik Verilerinin Analizi.....	95
7.5.4	Konverjans Ölçülerine Ait Deformasyon Analizi Sonuçları.....	97
8.	SONUÇLAR.....	99
	KAYNAKLAR.....	101
	ÖZGEÇMİŞ.....	103

SİMGE LİSTESİ

A	Katsayılar matrisi
A_y	Kullanılan ışık ışınının mikron cinsinden dalga boyu
d	Fark vektörü
E	Birim matris
f	Serbestlik derecesi
H	Yükseklik
K_{yy}	Bozucu parametrelerin varyans kovaryans matrisi
m_o	Birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatası
n	Ölçü sayısı
N	Normal denklem katsayılar matrisi
r	Fazla ölçü sayısı (redundanz)
Q	Dengelenmiş ölçülerin ağırlık katsayıları matrisi
Q_{yy}	Bozucu parametrelerin ters ağırlık matrisi
u	Bilinmeyen sayısı
x_g	Koordinat bilinmeyeni vektörü
x	Küçültülmüş koordinat bilinmeyeni
v	Düzeltilme
u_g	Bozucu parametre sayısı
σ_T	Nokta konum hatası
G	Ağ noktalarının ağırlık merkezine indirgenmiş yaklaşık koordinatları ile kurulan matristir
H_0	Sıfır hipotezi
R	Aykırılık
θ	Ortalama aykırılık
T	Eşdeğerlik test büyüklüğü
F	Fisher dağılımı
R_{kalan}	Kalan aykırılık
h_D	R_{kalan} 'nın serbestlik derecesi
T_D	Hesaplama test büyüklüğü

KISALTMA LİSTESİ

N.A.T.M Yeni Avusturya Tünel Metodu

T.B.M Tünel Açma Makinesi

E.P.B.M Earth Pressure Balance Method (Zemin Basıncı Dengeleme Metodu)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Jeodezik kontrol ağı yöntemi.....	9
Şekil 3.2 Pilye olarak tesis edilmiş kontrol noktaları.....	10
Şekil 3.3 Leica TC 2002 Elektronik takeometresi hidrostatik nivelman aletinin iç yapısı.....	12
Şekil 3.4 Kapalı ve açık su düzeci.....	17
Şekil 3.5 Hidrostatik nivelman aleti	18
Şekil 3.6 Hidrostatik nivelman aletinin iç yapısı	19
Şekil 4.1 Duvarda sürekli sabit kalacak konsol tabanı.....	23
Şekil 4.2 Sabit parçaya yerleştirilen konsol kotu.....	23
Şekil 4.3 Üzerine montaj edilebilmesi için pim vidası.....	24
Şekil 4.4 NATM Lazer ile Ölçüm şeması	26
Şekil 4.5 Tünele etkiyen kuvvetler.....	29
Şekil 4.6 P1 kuvvetinin etkisiyle meydana gelen şekil değişikliği.....	29
Şekil 4.7 P1 ve P2 kuvvetinin etkisiyle meydana gelen şekil değişikliği.....	30
Şekil 4.8 Bina üzerinde tesis edilen oturma bulonu.....	32
Şekil 4.9 Toprak zeminde ve asfaltta tesis edilen oturma bulonu.....	32
Şekil 4.10 İnklinometre.....	33
Şekil 4.11 Tape ekstensometre.....	35
Şekil 4.12 Tape ekstensometre ölçümleri	35
Şekil 4.13 Elektro optik 3D ölçümü.....	36
Şekil 4.14 TBM yönlendirilmesi.....	38
Şekil 4.15 Batırma tüp inşaat metodu.....	40
Şekil 4.16 Batırma tüp inşaat metodu.....	40
Şekil 7.1 Taksim-Kabataş funiküler sistem güzergahı.....	64
Şekil 7.2 Taksim-Kabataş funiküler sistem yapımı.....	65
Şekil 7.3 WILD NAK2 otomatik nivo.....	66
Şekil 7.4 Taksim-Kabataş funiküler hattı güzergahı ve çalışma bölgeleri.....	68

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Hassas geometrik nivelmana etki eden hatalar	17
Çizelge 7.1 Güzergah parametreleri.....	67
Çizelge 7.2 İşletme parametreleri.....	67
Çizelge 7.3 Araç parametreleri.....	67
Çizelge 7.4 AKM bölgesindeki obje noktalarının periyotlara göre yükseklik değişimleri.....	68
Çizelge 7.5 1108 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	69
Çizelge 7.6 5301 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	69
Çizelge 7.7 5551 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	70
Çizelge 7.8 5002 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	70
Çizelge 7.9 5004 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	70
Çizelge 7.10 6002 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	71
Çizelge 7.11 6004 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	71
Çizelge 7.12 9001 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	71
Çizelge 7.13 1001 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	72
Çizelge 7.14 5401 No'lu Obje Noktasının Periyotlara Göre Değişim Çizelgesi.....	72
Çizelge 7.15 5001 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	72
Çizelge 7.16 5003 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	73
Çizelge 7.17 6001 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	73
Çizelge 7.18 6003 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	73
Çizelge 7.19 4601 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	74
Çizelge 7.20 9002 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	74
Çizelge 7.21 Binalar bölgesindeki obje noktalarının periyotlara göre yükseklik değişimleri.....	75
Çizelge 7.22 1001 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	77
Çizelge 7.23 1002 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	78
Çizelge 7.24 1105 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	78
Çizelge 7.25 3801 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	78
Çizelge 7.26 4001 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	79
Çizelge 7.27 4002 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	79
Çizelge 7.28 4003 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	79
Çizelge 7.29 4004 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	80
Çizelge 7.30 4005 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	80

Çizelge 7.31 4006 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	80
Çizelge 7.32 4007 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	81
Çizelge 7.33 4008 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	81
Çizelge 7.34 4009 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	81
Çizelge 7.35 4010 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	82
Çizelge 7.36 4011 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	82
Çizelge 7.37 4012 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	82
Çizelge 7.38 3801 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	83
Çizelge 7.39 3802 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	83
Çizelge 7.40 3803 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	83
Çizelge 7.41 3804 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	84
Çizelge 7.42 3805 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	84
Çizelge 7.43 Alman Konsolosluğundaki obje noktalarının periyotlara göre yükseklik değişimleri.....	85
Çizelge 7.44 300 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	86
Çizelge 7.45 100 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	86
Çizelge 7.46 1105 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	86
Çizelge 7.47 10 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	87
Çizelge 7.48 20 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	87
Çizelge 7.49 30 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	87
Çizelge 7.50 40 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	88
Çizelge 7.51 50 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	88
Çizelge 7.52 111 No'lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi.....	88
Çizelge 7.53 Bölgelere göre karşılaştırılan ölçü periyotları ve ölçü tarihleri.....	89
Çizelge 7.54 Hassas geometrik nivelman tanı dengelemesi sonuçları.....	89
Çizelge 7.55 AKM Bölgesi jeodezik deformasyon analizi.....	91
Çizelge 7.56 AKM Bölgesi deformasyon vektörleri tablosu.....	91
Çizelge 7.57 (0+400)' deki Binalarda jeodezik deformasyon analizi.....	93
Çizelge 7.58 (0+400)' deki Binalar bölgesi deformasyon vektörleri tablosu.....	93
Çizelge 7.59 Alman Konsolosluğu Bölgesindeki jeodezik deformasyon analizi.....	95
Çizelge 7.60 Alman Konsolosluğu Bölgesi deformasyon vektörleri tablosu.....	95
Çizelge 7.61 0+325 km' deki Yüksekliklerin periyotlara göre değişimi.....	96
Çizelge 7.62 0+340 km' deki Yüksekliklerin periyotlara göre değişimi.....	96

Çizelge 7.63 0+355 km’ deki Yüksekliklerin periyotlara göre değişimi.....	97
Çizelge 7.64 0+380 km’ deki Yüksekliklerin periyotlara göre değişimi.....	97

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanması sırasında; beni her zaman yönlendiren, her konuda bilgi ve tecrübesini esirgemeyen Sn. Yard. Doç. Dr. R. Gürsel Hoşbaş' a, uygulama ve teknik konulardaki çalışmalarını aktaran Dr. Ahmet Ünlütepe' ye, çalışmanın uygulama kısmındaki verileri almamda ve kullanmamda bana yardımcı olan Yapı Merkezi Çalışanlarına, tezin yazılması ve hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Nursu Tunalıoğlu' na, Arş. Gör. Mehmet Gür' e ve Arş. Gör. N. Onur Aykut' a bu süreçte beni yalnız bırakmayan ve manevi olarak destekleyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Günümüzde, büyük mühendislik yapılarının ve bu yapıların çevrelerinde oluşan hareketlerin izlenmesi, mühendislik yapılarına etki eden büyüklüklerin zamana bağlı olarak yapıda meydana getirdiği deformasyon değerlerinin belirlenmesi ve bu değişimlerin yapıda herhangi bir hasara neden olup olmayacağının önceden tespit edilebilmesi insan ve çevre güvenliği için çok büyük önem taşımaktadır. Özellikle büyük mühendislik yapılarında deformasyon ölçmelerinin yapılması ve ölçümler sonucu elde edilen verilerin doğru yorumlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, Taksim – Kabataş Füniküler Sistemine ilişkin düşey deformasyonları belirlemek üzere yapılan ölçme verileri değerlendirilmiştir. Ölçümler için güzergah üzerinde üç farklı alan seçilmiştir. Genel olarak seçilen alanlar; çalışma hattı boyunca yeryüzünde mevcut olan binaların köşe noktalarını ve ayrıca funiküler hattın bu bina alanlarına denk gelen güzergahlarını kapsamaktadır. Seçilen alanların karakteristik özelliklerinin olmasına dikkat edilmiştir. Bu durum göz önünde bulundurularak; Alman Konsolosluğu, Atatürk Kültür Merkezi’ nin Yemekhanesi ve binaların yoğun olduğu yerleşim alanı seçilmiştir.

Çalışmada; yeryüzü ölçümleri için, yersel jeodezik ölçüm olarak nivelman ölçümleri baz alınırken; tünel içinde ise konverjans ölçümleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: deformasyon analizi, deformasyon, nivelman ölçümü, funiküler sistem, konverjans ölçümleri

ABSTRACT

Nowadays; it is very important for humans and enviromental security to monitoring the big engineering structures and the movements that happen near them, determining the deformations which effect these structures by the function of time and determining these effects to be caused any damages as much as earlier. Especially for the big engineering structures it is necessary to make deformation measurements and also comment these datas right that obtained with these measurements.

In this study; the deformation measurements for the Taksim- Kabataş funicular system is examined. For these measurements; three different area is chosen. Generally; these chosen areas are the corner points of the structures on the earth's surface and also these areas are included to the funicular system's alignment through the earth surface. It is aimed that the chosen areas have the characteristic properties. Through to this aim; the areas are the German Consulate, AKM and the buildings that found intensively.

In this study; for the earth surveys, levelling measurements are made and for the tunnel surveys that include converian measurements are also made.

Key words: deformation analysis, deformation, levelling measurements, funicular system, converian datas

1. GİRİŞ

1.1 Deformasyon Tanımı

Baraj, tünel, köprü, kule, endüstri binaları gibi büyük mühendislik yapıları ve çevrelerinde oluşan hareketlerin, deformasyon ölçüleri ile izlenmesi gerekir. Böylece oluşan deformasyona göre zamanında önlem alınarak, sosyal ve ekonomik zararların önüne geçilmiş olunur. Engebeli topografyaya sahip yerlerde yol geçişlerinin yapıldığı tünel inşaatları aşamasında izlenmeye başlanarak oluşan hareketlerin yönü ve hızının belirlenmesi gerekir. Böylece gerekli önlemler önceden alınarak hem ekonomiye hem de sosyal çevreye yarar sağlanır.

Yeryüzündeki bazı bölgeler ve mühendislik yapıları ile bunların yakın çevreleri geçici ya da kalıcı özellikte değişik faktörlerin etkisi altında bulunurlar. Bu faktörleri;

- Zeminin fiziksel özellikleri,
- Bölgedeki yer kabuğu hareketleri,
- Yapının kendi ağırlığı ve kullanılan malzemenin türü,
- Yapıya etkiyen hareketli dış yükler (Trafik yükü ve rüzgar kuvveti vb)
- Jeolojik ve atmosferik birtakım etmenler ve
- Suyun dinamik basıncı

olarak sıralamak mümkündür. Bu faktörlerden dolayı bir bölgede, yapıda veya çevresinde oluşan geometrik şekil değişimleri deformasyon olarak adlandırılır. Jeodezide bu kavram bir 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 olarak tanımlanır (Hoşbaş, 1992).

Deformasyon olarak tanımlanan bu değişmelerinin saptanması için yapılan ölçmelere “deformasyon ölçmeleri”, bu ölçülerin değerlendirilerek deformasyonların saptanması ve yorumlanmasına da “deformasyon analizi” adı verilmektedir (Hoşbaş, 2004).

1.2 Deformasyon Ölçmelerinin Gelişim Süreci

Büyük mühendislik yapılarında zaman içerisinde meydana gelen ve önemli kayıplara yol açan kazalardan dolayı, insanlar bu yapıların davranışlarını zamana bağlı olarak incelemenin önemini

anlamışlar ve Ölçme Tekniği Anabilim Dalının çok önemli bir uzantısı olan deformasyon ölçmeleri bilim dalı doğmuştur (Özhan, 1994).

Bu anlamda ilk deformasyon ölçmeleri 1860'da ABD'nin California Eyaletinde San-Andreas fay kuşağında yapılmış ve 1876-1906 yıllarında yatay açı gözlemleri tekrarlanmıştır.

Mühendislik yapılarındaki en büyük deformasyonlar barajlarda meydana geldiğinden dolayı, bu yönde yapılan deformasyon ölçmeleri oldukça geliştirilmiş ve literatüre geçen ilk deformasyon ölçüsü bir baraj hakkında olmuştur.

Bu söz konusu ölçüler 1908 yılında Almanya'nın Thusingen Eyaletinde bulunan Gotheur Barajında yapılmış olan ölçülerdir. Burada baraj üzerinde baraj kretinin ortasında seçilen iki noktanın yatay hareketleri, aliyman yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu konuda ikinci önemli bir uygulama da yine Almanya'da bir kemer baraj olan Pfafensprung'da 1928 yılında yapılmıştır. Bütün bu çalışmalar yapılırken basit sayısal çözümler veya grafik tespitler kullanılmıştır. Zamanla, gelişen dünyanın enerji sorununa çare olması amacıyla süratli bir şekilde barajlar inşa edilmeye başlanmıştır. Ancak bunların sayı olarak büyük çoğunluğu, deformasyonlar iyi incelenmediğinden dolayı ya yıkılmış ya da yıkılma tehlikesi bulunduğu için kullanıma açılmamışlardır.

1928 yılında ABD'de 50 metre yüksekliğindeki San-Francisko Barajının çökmesi sonucu 436 kişinin ölümüyle sonuçlanan faciadan sonra, deformasyon ölçmelerinde oldukça hassas yöntemlerin kullanılma zorunluluğu belirmiştir.

Bu zamana kadar yıkılan baraj sayısı 250'yi bulunca 1929 yılında düzenlenen bir sempozyumda konu ele alınmış ve hemen ardından aynı yılda bu konuda ilk yazılı kitap W. Lang tarafından yayımlanmıştır. W. Lang'ın kitabı ve getirdiği öneriler ışığında, aliyman ve önden kestirme yöntemlerine ek olarak hassas poligon yöntemi de kullanılmaya başlanmıştır. 1960'lı yıllara kadar jeodezik deformasyon ölçmelerinde ulaşılmak istenen hedef hesapların kolaylaştırılması olmuştur. Poligonların baraj duvarı üzerinden her iki tarafa kayalara uzatılması ve alet teknolojisinin gelişmesi ile triyangülasyon (üçgenleme) gündeme gelmiştir. İstatistiksel analiz bilimi ve gelişmiş bilgisayarların kullanıma girmesiyle, hesaplarda jeodezik ağ dengelemesi ve jeodezik deformasyon analizi hakim olmuştur ve deformasyona uğramış noktanın tespiti ve sonuçların hassasiyetinin yüksek olması yönünde güvenilir veriler elde edilmiştir. Tüm bu gelişmelere Aschlimann, Baumann, Löschner, Milev, Pelzer, Welsch, Niemeier ve diğerlerinin önemli katkıları olmuştur.

Deformasyon ölçme teknikleri ve uygulaması ülkemizde 1960'lı yıllardan sonra gündeme gelmiştir. Ancak tam anlamıyla ciddi boyutlarda çalışmalar yapılmamıştır. Örnek verecek olursak Kemer-Bozdoğan Barajında ölçü tesisleri kurulmuş fakat ölçüler yıllarca yapılamamıştır. Yine Sarıyar Barajında ilk ölçü değerleri elde edilmiş fakat daha sonra bunların nasıl değerlendirileceği bilinmediğinden dolayı ölçüler tekrarlanmamıştır. Daha sonra yapılmış olan Gökçekaya, Keban ve Oymapınar Barajlarında yapılan ölçüler, ilk bilimsel nitelikteki ölçülerdir.

Yine Kuzey Anadolu fay kuşağında yer kabuğu hareketleri araştırılmış ve bu çalışmalar belli aralarla yinelenmiştir (Hoşbaş, 1992).

2. DEFORMASYONA NEDEN OLAN FAKTÖRLER VE DEFORMASYON ARAŞTIRMA MODELLERİ

Jeodezi, yeryüzünde çok çeşitli olan hareketler içinden oluşumu insan ve çevresi için felaketlere sebep olabilecek niteliktekileri de araştırmaktadır. Bu hareketlerin irdelenmesi onların oluşum mekanizmalarını kavramak ve böylece isabetli tahminlerde bulunarak tehlikeyi önleyici tedbirler almak açısından çok gerekli ve önemlidir. Araştırılması gerekli etkenleri tektonik hareketler ve yerel hareketler olarak sınıflandırabiliriz (Özhan, 1994).

2.1 Deformasyona Neden Olan Faktörler

2.1.1 Tektonik Hareketler

Yerkabuğu hareketli bir takım tabakalardan oluşmaktadır.

- Tabakaların birbirlerinden uzaklaşması; bu tür bir hareket şiddetli bir sarsıntıya sebep olmaz.
- Tabakaların yan yana sürtünmeleri sonucu zayıf noktada oluşan çatlak boyunca ilerleyen kırılmalar meydana gelir.
- Okyanus tabakasının kara tabakasının altına kayması; bu durumda zemin üzerinde büyük çatlaklar meydana gelir.
- Karasal tabakalar arasındaki yaklaşma, çarpma ile sonuçlanır ve büyük sarsıntılara yol açar.

Bütün bu tektonik hareketler, aslında dünya yüzeyi oluşumunun daha henüz tamamlanmadığının bir göstergesidir (Özhan, 1994).

2.1.2 Yerel Hareketler

Toprak kayması bu tür hareketlere karakteristik bir örnek oluşturur. Çoğu kez bu durum, dış etkiler altındaki tabakanın, altında bulunan ve dış etkilerden etkilenmeyen tabakadan ayrılması şeklinde oluşur. Bunlardan başka, aşağıda saydığımız etkenler de deformasyona neden olurlar.

- Yeraltı zenginliklerinin alınması halinde meydana gelen hareketler. Örneğin; Kapalı bir maden işletmesinde açılan galerilerin çökmesi vs. Bu gibi hareketlerde çoğu zaman jeolojik yapının dengesi bozulur. Bu denge yeniden sağlanıncaya dek hareket devam eder.
- Okyanuslarda, gel-git olayının etkisiyle okyanus tabanında oluşan ve sarsıntıya yol açan hareketler.

- Güneş ışınları, ısı değişiklikleri, fırtınalar gibi bazı meteorolojik etkilere doğan hareketler.
- Yapının kendi ağırlığı ve zeminin buna mukavemet edememesinden doğan hareketler.
- Yapıya etki eden dış yükler.
- Yapım, proje ve işletme hatalarından doğan hareketler.
- Trafik yoğunluğu veya makine tesislerinin meydana getirdiği küçük çaptaki sarsıntılar sonucu temelde oluşan gevşemeler.
- Büyük kentleşme sonucu yer kabuğuna aşırı yüklemeye doğan hareketler (Erkaya, 1987).

2.2 Deformasyon Araştırma Modelleri

Deformasyonlar, beklenen hareket tarzına, yerel koşullar ve meteorolojik koşullara bağlı olarak belirlenen ölçme yöntemleri ile tespit edilirler. Ölçme yöntemleri de problemin şekline ve uygulama yapılacak bölgenin büyüklüğüne göre seçilirler. Bütün bunlar için de farklı modeller geliştirilmiştir (Özhan, 1994).

Bu modeller:

1. Statik Model
2. Kinematik Model
3. Dinamik Model şeklinde sınıflandırılabilir.

2.2.1 Statik Model

Doğruluğun en fazla elde edildiği model olması nedeni ile çok kullanılan bir modeldir. Bu modelde, deformasyon ölçmesi yapılacak bölgede, ölçümler tamamlanıncaya kadar karakteristik noktaların konum ve yüksekliklerinin sabit kaldığı kabul edilir. Geometrik değişimlerin başlangıç zamanı, ölçüler tamamlandıktan hemen sonra olarak kabul edilir ve belli periyotlarla yineleme ölçüleri yapılır. Deformasyon analizi bu iki ölçü zamanı arasındaki değişimlere göre istatistik hesapların da yardımıyla yapılır (Özhan, 1994).

Buna göre modelin özellikleri;

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

şeklinde özetleyebiliriz (Hoşbaş, 2003).

2.2.2 Kinematik Model

Bu modelde üzerinde deformasyon araştırması yapılacak bölge veya yapının karakteristik noktalarının yaptığı hareketler irdelenmektedir.

Deformasyon araştırması yapılacak bölgenin çok büyük olması durumunda, tüm karakteristik noktaların hareketlerini belirlemek için gerekli ölçüler uzun bir sürede elde edilmektedir. Parametre olarak karakteristik noktalarda meydana gelen değişimler ve bu değişimin zamana bağlı olarak hızı ele alınmak durumundadır (Özhan, 1994).

Deformasyon ölçmelerinde temel prensiplerden biri de ölçülerin kısa sürede tamamlanma gereğidir. Fakat kinematik modelde uzun bir zaman söz konusudur. Bu nedenledir ki, literatürde kinematik modele az rastlanılmaktadır.

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 (Hoşbaş, 2003).

2.2.3 Dinamik Model

Bu modelde geometrik değişimlerle beraber, deformasyona etkiyen kuvvetlerin değişimleri, birbirleriyle ilişkileri ve bu kuvvetlerin oluşmalarına neden olan dönüşüm fonksiyonu irdelenmektedir. Örnek olarak bir tünel ele alınacak olursa trafik yoğunluğu, tünel iç ve dış cephesindeki ağırlık binmeleri veya bir su tüneliyse; suyun miktarı, akış hızı hem tüneli hem de tünel çevresini yaptığı basınç kuvveti etkisinden dolayı deformasyona uğratar. Deformasyonların oluşumunu, buna etkiyen kuvvetlerle yapı karakteristiklerinden oluşan bir dönüşüm fonksiyonu gösterir. Bu modelin amacı da dönüşüm fonksiyonlarının belirlenmesi, nedenler ve oluşan deformasyonların yer, zaman ve frekans ilişkilerinin ortaya konmasıdır (Özhan,1994).

Dinamik modelin özelliklerini;

- Obje periyodik ya da sürekli olarak ölçülür,
- Objeye etkiyen büyüklükler ölçülür,
- Hareketler etki büyüklüklerinin fonksiyonu olarak analiz edilir,

şeklinde özetlenebilir (Hoşbaş, 2003).

2.3 Deformasyon Ölçmelerinin Uygulama Alanları

Deformasyon ölçmeleri mühendislik yapıları ve doğal objeler dâhil çok farklı disiplinlerde gündeme gelebilir. Bunların kapsamlı olanlarından bazıları şunlardır;

Mühendislik yapılarının inşaatındaki ölçmeler: Köprü, baraj, tünel ve gökdelen gibi yapılardaki şekil değişikliklerinin araştırılmasına yönelik ölçmelerdir. Bu araştırmalar daha çok yapının yapım özellikleri ile malzeme kontrolüne olanak sağlar. Ayrıca işletme zararlarını ve çevre için tehlikelerini önlemek amacıyla şekil bozukluklarının önceden fark edilmesini de sağlar.

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.

Zemin ve kaya mekaniği, mühendislik jeolojisi ölçmeleri: Yeryüzünün şekil bozukluklarının ve yerel hareketlerin araştırılmasına yönelik ölçmelerdir. Örneğin, zemin oturmaları, heyelanlar ve tektonik hareketler gibi. Yeraltından kütle çıkarmaları sonucu oluşan zemin hareketleri de bu çerçeveye girer.

Dar anlamda jeodezik deformasyon ölçmelerinin ödevi, 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 (Özhan, 1994).

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.

3. JEODEZİK YÖNTEMLERLE DEFORMASYON ÖLÇMELERİ

Jeodezik yöntemlerle deformasyon ölçmeleri güvenilir ve doğru sonuçlar vermesi nedeniyle daha yaygın olarak kullanılır. Jeodezik yöntemler ölçme periyotlarına göre ikiye ayrılırlar.

- a) *Sürekli Ölçme Yöntemi*: Deformasyon bölgesi veya deformasyona uğrayan yapının karakteristik noktaları sürekli olarak gözlenir.
- b) *Ayrık Ölçme Yöntemi*: Bu yöntemde ise karakteristik noktalar belli periyotlara göre ölçülür. Örneğin; yılda bir, iki yılda bir vs.(Özhan, 1994)

Deformasyonu belirlemek amacıyla kullanılan jeodezik ölçme yöntemleri ise şunlardır;

1. Yatay yöndeki deformasyonları belirlemek amacıyla kullanılan yöntemler

- Jeodezik Kontrol Ağı Yöntemi
- Hassas Poligon Yöntemi
- Aliyman Yöntemi
 - Açı Yöntemi
 - Direkt Yöntem

2. Düşey yöndeki deformasyonları belirlemek amacıyla kullanılan yöntemler

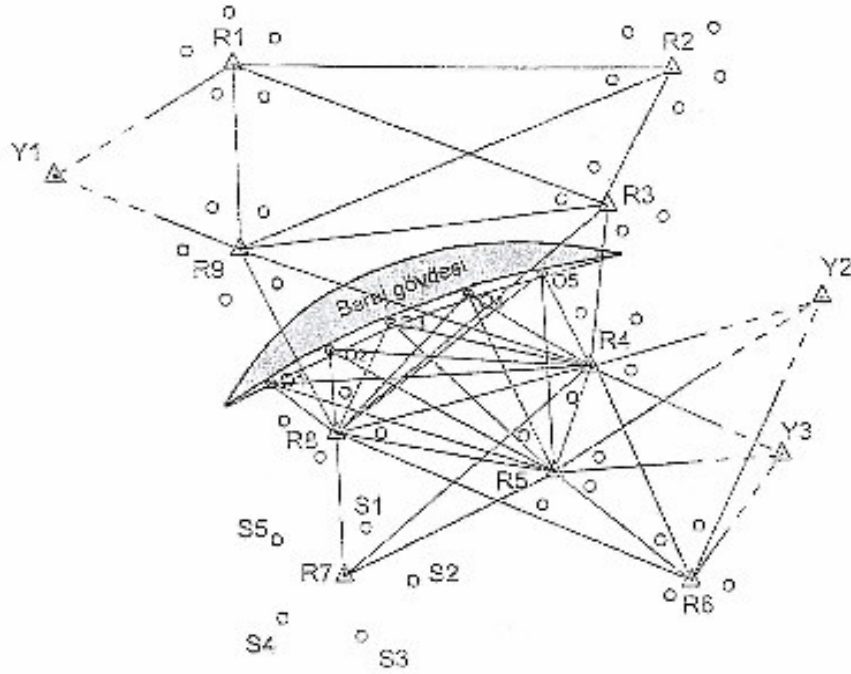
- Hassas Geometrik Nivelman
- Hassas Trigonometrik Nivelman
- Hidrostatik Nivelman

3.1 Yatay Yöndeki Deformasyonları Belirlemek Amacıyla Kullanılan Jeodezik Ölçme Yöntemleri

3.1.1 Jeodezik Kontrol Ağı Yöntemi

Deformasyon araştırması için kullanılan en hassas yöntem nirengi ağı yöntemidir. Nirengi ağı, birbirine geometrik gözlemlerle bağlı noktaları içerir.

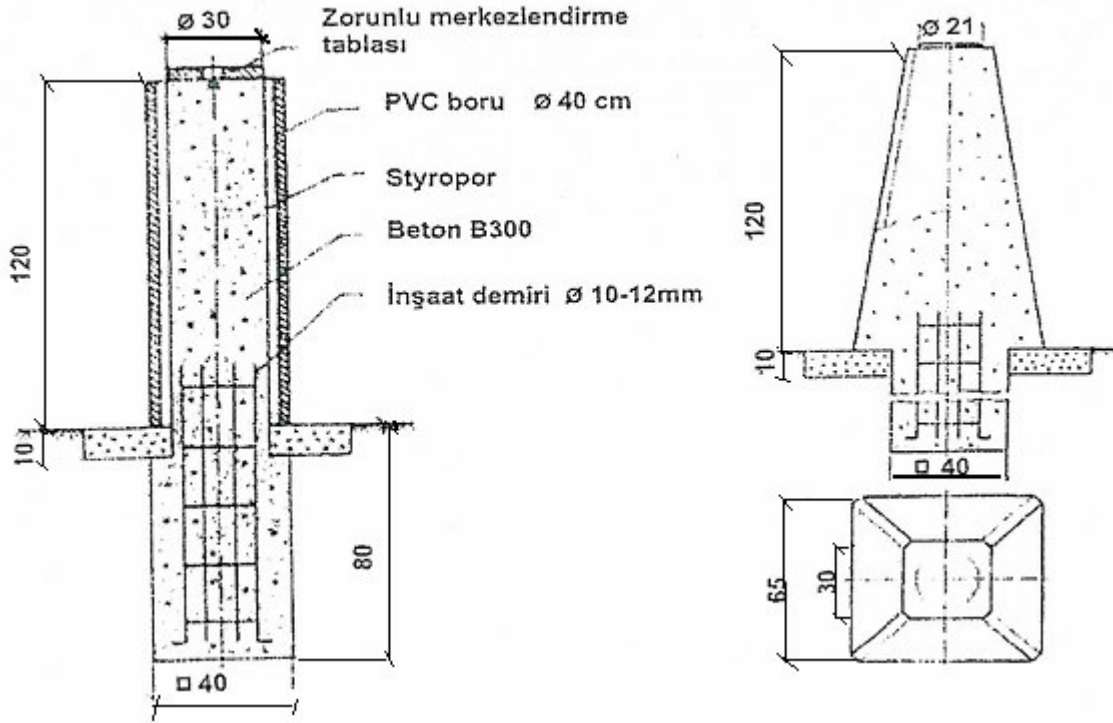
Bir nirengi ağı, ölçü yapılacak bölgeyi kapsayacak şekilde tesis edilerek ya objede beklenen deformasyonların yönleri dikkate alınarak yerel bir sistemde koordinatlandırılır, ya da koordinatları bilinen noktalara dayandırılır. Nirengi ağında dört türlü nokta tesisi yapılır (Özhan, 1994).



Şekil 3.1 Jeodezik Kontrol Ağı Yöntemi (Hoşbaş, 2004)

3.1.1.1 Ölçme (Gözlem) Noktaları

Bu noktalara kontrol noktaları da denir. Deformasyon bölgesindeki obje noktalarının (Bunlara karakteristik nokta veya deformasyon noktası da denilir) gözlenmesi amacıyla, bu noktalara yakın yerlere tesis edilen ve üzerine alet kurulabilen noktalardır. Ölçme noktaları, deformasyon kuvvetlerinin etki etmediği sağlam bir zeminde tesis edilmelidirler. Ölçme noktaları içine demir döşenmiş betondan kare ya da daire kesitli pilye olarak tesis edilirler. Pilye yüzeyleri beyaza boyanarak, sert plastik malzeme veya ahşapla kaplanarak dış etkenlerden korunur (Özhan, 1994).



Şekil 3.2 Pilye olarak tesis edilmiş kontrol noktaları (Hoşbaş, 2004)

3.1.1.2 Obje (Deformasyon) Noktaları

Deformasyon ölçüsü yapılacak cisim üzerinde seçilen karakteristik noktalardır. Obje noktalarının işaretleri, büyüklük ve şekil bakımından, ölçme yöntemine ve jeodezik ağın yapısına uygun olarak seçilmelidir. Ayrıca aletin dürbün büyütmesine, kilağı çizgisinin durumuna, diyafram açıklığına ve aradaki mesafeye göre de düşünülmelidir.

Hedef levhaları ya doğrudan doğruya yapı üzerine ya da duvar çizgisi üzerine monte edilirler. Çok az hassasiyet beklenen deformasyon ölçmelerinde ise obje noktalarını işaretlemeye gerek kalmaz (Özhan, 1994).

3.1.1.3 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, yöneltme noktalarına olan doğrultular ölçülür. Geriden kestirme hesabı yapılarak, gözlem noktalarının deformasyona uğrayıp, uğramadıkları araştırılır. İlk aşamada deformasyon nedenleri ve nasıl etki ettiği tam olarak bilinmediğinden, yöneltme noktaları seçilirken jeoloji mühendisleri ile birlikte çalışılmalıdır. Ölçme noktaları ve yöneltme noktaları, deformasyon ölçülerinde kullanılan sabit noktalardır (Özhan, 1994).

3.1.1.4 Sigorta Noktaları

Sabit noktalarda meydana gelebilecek deformasyonların büyüklüğünü ve yönünü belirlemek amacıyla, sağlam kaya veya sağlam zemine yerleştirilen taşlar üzerinde özel çivilerle belirlenir. Bunlar sabit noktaların yakın çevresinde (10-20 m) ve etraflarına homojen olarak dağılmış şekilde tesis edilirler. Sayıları 3- 4 kadar olabilir. Sigorta noktaları sadece sabit noktaların kontrolü amacıyla tesis edilmiş olup, ağa dahil değildirler (Aydın, 2000).

3.1.1.5 Nirengi Ağının Ölçülmesi

Nirengi ağı arazinin topografik yapısına uygun olarak tesis edildikten sonra ölçülerin yapılma aşamasına geçilir. Deformasyon ölçülerine başlamadan önce alet hataları kontrol edilir varsa giderilir, elektronik uzunluk ölçerlerin kalibrasyonları yapılır. Ölçüler, önceden tespit edilmiş olan ölçme planına göre atmosferik etkilerin en az olduğu saatlerde, örneğin sabah erken veya öğleden sonra saat 3-4 civarı yapılır. Ölçme esnasında deformasyonların gerçekleşmediği varsayıldığından ölçme işleri çok kısa zamanda tamamlanmalıdır. Ölçüler yapılırken daha sonra değerlendirme kriteri olması açısından hava sıcaklığı, rüzgarın hızı, yapının ıslığı ve ölçü saati not edilir (Özhan, 1994).

Nirengi ağının ölçülmesi için kullanılacak aletler seçilirken beklenen deformasyonun büyüklüğü, istenilen duyarlılık, alet ve insan gücünün maliyeti göz önünde bulundurulmalıdır. Bir nirengi ağı; doğrultu veya açı, kenar, açı-kenar ağı şeklinde ölçülebilir.

3.1.1.5.1 Doğrultu Gözlemleri

Doğrultu gözlemleri yüksek hassasiyetli teodolitlerle yapılır. Bu teodolitler grad saniyesini doğrudan okuyan ve dürbün büyütme çarpanı 30-40 civarında olan aletlerdir. Günümüzde ise elektronik aletler ile oldukça hassas ölçüler elde edilebilmekte ve operatöre kullanım rahatlığı sağlamaktadır. Örneğin elektronik takeometreler; Leica TC2002 iki grad saniyesini, ZEISS REC-ELTA bir grad saniyesini doğrudan okumaktadır. Şekil 3.3’de görülen elektronik takeometresinin

(total station) uzunluk ölçme doğruluğu 1+1 ppm, açı ölçme doğruluğu uygun atmosferik koşullarda, ATR sistemi ile özel prizmalar kullanılarak 0.15 mgon' dur (Henriques, 2006).



Şekil 3.3 Leica TC 2002 Elektronik Takeometresi (www.e-messmer.de/images/tc2002.jpg)

Doğrultu gözlemleri yapabilmek için bakılan noktalara hedef levhası yerleştirilmeli, ölçü elektronik aletle yapılıyorsa reflektör konulmalıdır (Özhan, 1994).

3.1.1.5.2 Uzunluk Ölçmeleri

Uzunluklar günümüzde elektronik uzunluk ölçerler yardımıyla ölçülmektedir. Alet seçimi ağıdan beklenen hassasiyete bağlıdır. Genellikle ölçü hassasiyeti $m_s = \pm (1mm + 1ppm)$ ve buna yakın doğrulukta olan aletler kullanılmaktadır (Şekil 3.3).

Bunların dışında amaca uygun olması durumunda invar çelik şerit metreler, 10m'ye kadar olan çok kısa uzaklık ölçmelerinde ise özel olarak imal edilmiş baz lataları da kullanılabilir (Özhan, 1994).

3.1.2 Hassas Poligon Yöntemi

Hassas nirengi ağı yöntemi, bazı amaçlar için uygulaması oldukça zaman alıcı olduğundan dolayı pek tercih edilmez. Bu nedenden dolayı, yüksek hassasiyet beklenen çalışmalarda nirengi ağı yöntemi yerine hassas poligon yöntemi kullanılabilir.

Yakın zamana kadar poligon geçkisinin bağlantı noktalarının koordinatlarının sabit olduğu varsayılmıştır. Günümüzde ise bu noktaların da hareket edebileceği göz önünde bulundurularak, jeodezik bir kontrol ağı yardımıyla hareketler incelenmekte ya da poligon geçkisinin dengeleme hesabı, serbest ağ yöntemine göre yapılmaktadır. İki periyot arasındaki koordinatlar referans

noktalarında yapılan Helmert dönüşümü ile karşılaştırılmaktadır. Objelerdeki deformasyonlar buradan elde edilen parametrelerle ikinci periyottaki koordinatların birinci döneme dönüştürülmesinden sonra hesaplanmaktadır.

Galeri içindeki poligon noktaları, galeri duvarına monte edilen bir çelik konsol üzerine tesis edilirler. Bu noktaya alet kurulması için konsol üzerine zorunlu merkezleştirme altlığı monte edilir. Poligon kırılma açıları $0.1''$ doğrulukla ölçen aletlerle ölçülür. Poligon kenarları ise invar teli veya Leica TC 2000 serisi aletler gibi elektronik takeometrelerle (total station) ölçülür. Galerideki poligon koordinatları da ölçülerin en küçük kareler yöntemine göre dengelenmesiyle hesaplanır.

3.1.3 Aliyman Yöntemi

Aliyman yönteminde, noktaların belirli bir doğrultuya göre yaptıkları yatay hareket incelenir. Bu yöntem genellikle barajlarda, baraj gövdesinin yatay hareketini veya kretin yatay hareketini belirlemek için uygulanmaktadır. Aliyman doğrultusu belirlenirken aşağıdaki kurallara dikkat edilmelidir.

- a) Aliyman doğrultusunun iki ucu, hareketsiz olduğu kesinlikle saptanan sağlam zemin üzerine tesis edilmelidir.
- b) Aliyman doğrultusunun iki ucu zemin üzerine pilye olarak tesis edilmelidir. Bunun nedeni ölçü aletinin merkezleme hatalarının giderilmesi ve pilye boyutlarının güneş ışınlarından minimum derece etkilenmesi gösterilebilir (Uzel, Eren, Kıymaz, Coşkun, Türk ve Seçkin 2006)
- c) Obje noktalarının aliyman doğrultusuna uzaklıkları mümkün olduğu kadar eşit tutulmalıdır. Obje noktaları da özel zemin işaretleri ile zemine monte edilmelidir.
- d) Aliyman doğrultusu sapma miktarlarının kolayca ölçülebileceği nitelikte, mümkünse kayma yönüne dik olacak şekilde geçirilmelidir.
- e) Sağlam zemin üzerine tesis ettiğimiz pilyeler mümkün olduğu kadar obje noktalarına yakın olmalıdır.
- f) Aliyman doğrultusu, ışığın kırılma etkisinden korunmak amacıyla, kretin 70 cm kadar yukarısından geçirilmelidir.

Doğrudan sapma miktarları iki türlü belirlenir:

1. Direkt Yöntem
2. Açık Yöntemi

Bu yöntemlerin her ikisinde de hassasiyeti arttırmak amacıyla noktaların yarısının aliymanın bir ucundan, diğer yarısının da öteki ucundan ölçülerek belirlenmesi yoluna gidilmiştir.

Aliyman doğrultusunun bir ucuna aliyman teodoliti kurulur ve obje noktalarına da sabit ya da hareketli özel gözlem plakaları (mira) yerleştirilir. Ölçüler aliymanın her iki ucundan ve teodolitinin her iki durumunda yapılır. Elde edilen sapmaların ortalamaları alınarak deformasyon miktarları belirlenir (Özhan, 1994).

3.2 Düşey Yöndeki Deformasyonları Belirlemek Amacıyla Kullanılan Jeodezik Ölçme Yöntemleri

3.2.1 Hassas Geometrik Nivelman Yöntemi

Birinci ve ikinci derece ülke nivelman ağlarının ölçülmesinde, yerkabuğunun düşey yöndeki hareketlerinin belirlenmesinde, bina, köprü, baraj, tünel, karayolları gibi büyük mühendislik yapılarında meydana gelebilecek çökmelerin saptanmasında hassas nivelman yöntemi kullanılır. Ölçme donanımını; hassas nivolar, sıcaklık ve nem değişimlerinden etkilenmeyen, tek parça halindeki invar miralar, payandaları ve mira çarıkları oluşturur.

Hassas geometrik nivelman; uzun süre konum değiştirmeden sabit kalabilecek nivelman noktalarının inşaatıyla başlar. Bu noktaların tesisleri, başlangıç ölçülerinin yapılmasından 3 –6 ay önce tamamlanmış olmalıdır.

Mira okumaları yapıldıktan sonra sağ ile sol yüzey okuma ortalamalarının farkları alınır. Bu fark belli bir k katsayısını geçemez. Bu k katsayısı mirayı üreten fabrika tarafından tespit edilir. Hesaplar k katsayısına göre kabaca kontrol edilebilir.

$$W_g = k - (geri_{sağ} - geri_{sol}) \quad (3.16)$$

$$W_i = k - (ileri_{sağ} - ileri_{sol}) \quad (3.17)$$

hesaplandıktan sonra;

$$W = W_i - W_g \quad (3.18)$$

bulunur. Noktalar arasındaki yükseklik farkı;

$$H_b - H_a = Geri_{sol} - İleri_{sol} + \frac{W}{2} \quad (3.19)$$

$$H_b - H_a = Geri_{sağ} - İleri_{sağ} + \frac{W}{2} \quad (3.20)$$

formüllerinden bulunur. İki formülden bulunan yükseklikler arasındaki farklılıklar varsa bir hata var demektir. Geri ve ileri okumaların sayısı fazla ise, formülde (g) ve (i) şeklinde yerlerine konurlar. Ayrıca mira 0.5 cm bölümlü ise bulunan yükseklik değeri de ikiye bölünür.

bir gidiş- dönüş ölçüsünün normal koşullarda karesel ortalama hatası $\pm 0.2\text{mm}$ kadardır. Gidiş-dönüş ölçüsünün karesel ortalama hatası;

$$m = \pm \sqrt{\frac{(dd)}{2n}} \quad (3.21)$$

formülüyle bulunur. Gidiş-dönüş ölçülerinin ortalaması ile elde edilen bir yükseklik farkının karesel ortalama hatası ise;

$$M = \pm \frac{m}{2} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(dd)}{n}} \quad (3.22)$$

formülüyle bulunur. Burada;

(dd) = Gidiş-dönüş ölçüler farkının kareleri toplamı

n = Çift ölçü farlarının (d ' lerin) sayısıdır.

3.2.1.1 Hassas Geometrik Nivelmana Etki Eden Hatalar

Hassas nivelman çalışmalarında yüksek bir doğruluk elde edebilmek için bir takım esaslara dikkat etmek gereklidir. Bunlardan bazıları;

- Mira alet uzaklığı, geri-ileri okumalar için eşit ve yaklaşık 20-30 metre arasında olmalıdır.
- Alet ve mira kurulan yerler mümkün olduğunca sert zeminler üzerinde seçilmelidirler.
- Geri ve ileri mira okumaları gidiş-dönüş için aynı güzergah üzerinde yapılmalıdır.
- Mira bölüm başlangıç hatasının etkisini önlemek amacıyla, ölçüye hangi mira ile başlanmışsa, o mira ile bitirilmelidir.
- Zemine yakın yerlerde ışığın kırılma etkisinden kurtulmak amacıyla, gözlem çizgisi zeminden en az 50-70 cm yüksekten geçirilmelidir.
- Nivelman ölçülerine, bölge ve mevsim durumuna göre sabah gün ağarmasıyla başlanır ve sıcaklığın artması ile beraber mira görüntüsünde titreşimler başladığı zaman son bulur.

Hassas geometrik nivelmanda gerek kişisel gerekse alet donanımından ve dış ortamdan kaynaklanan hatalar meydana gelebilir. Hassas geometrik nivelmana etki eden hata kaynakları ve bu hataların giderilmesi işlemleri Çizelge 3.1’de görülmektedir.

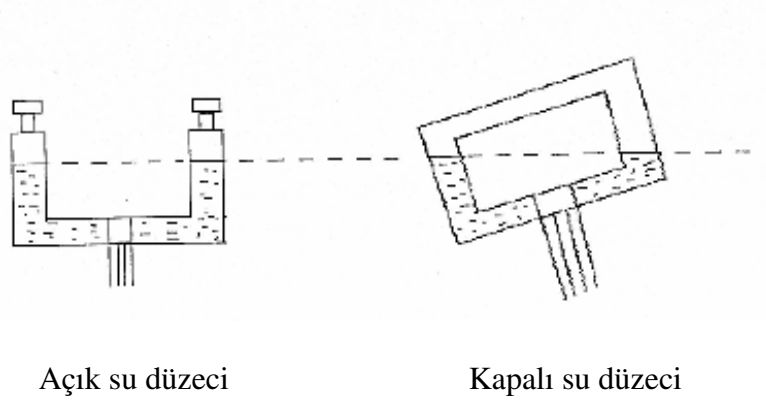
Çizelge 3.1 Hassas geometrik nivelmana etki eden hatalar (Hoşbaş, 2004)

Hata kaynakları	Hatanın giderilmesi
Küresellik nedeni ile oluşan gözlem Doğrultusu hatası	Geri ve ileri okumalarda nivo ile mira arasındaki uzaklıkların yaklaşık eşit alınması ile
Kompensatörlü nivolarda gözlem çizgisinin eğik olması	Geri-ileri / ileri-geri şeklinde okuma yaparak ve her okumada küresel düzecen kontrolü ile.
Gözlem doğrultusuna sıcaklığın etkisi	İki kompensatör durumunda ölçü Yapararak
Sistematik ve miranın raslantısal dağılım hatası	Miraların kalibrasyonu ve miranın genleşme katsayısının belirlenmesi ile
Miraların batma hatası	Nivelman çarıkları kullanılarak
Miraların eğikliği	Miralardaki küresel düzecen ayarlanması ile
Miranın düşey hareketleri	Gözlem süresinin kısa tutulması ile
Simetrik olmayan düşey kırılma	Gözlem süresinin kısa tutulması ve gidiş-dönüş ölçülerinin farklı zamanlarda yapılması ile
Raslantısal gözlemci hataları	Mikrometre tamburunun çok iyi ayarlanması ve ölçülerin çok kez yinelenmesi veya sayısal nivoların kullanımı ile
Kaba hatalar	Cift nivelman ile
Rüzgar etkileri	Mira payandaları kullanılarak ve miranın sarsılmadığı durumlarda ölçü yapmakla

3.2.2 Hidrostatik Nivelman Yöntemi

Hidrostatik kanunlara göre yapılan bu nivelman aslında bir çeşit geometrik nivelmandır. Su yüzeyinin yatay olması nedeniyle yatay gözlem ekseni yerine su yüzeyi kullanılmıştır.

Su düzeçleri hidrostatik aletlerin en basiti olup, açık su düzeci ve kapalı su düzeci olmak üzere iki çeşittir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Kapalı ve açık su düzeci

Birleştirme borusunun ortasına takılan bir kovan ile sistem kullanılır. Sıvının üst yüzeyi yatay bir doğrultu teşkil eder. Bu üst yüzler ile miraya çıplak gözle bakılır ve okuma yapılır. Geri ve ileri okuma farkı iki nokta arasındaki yüksekliği verir.

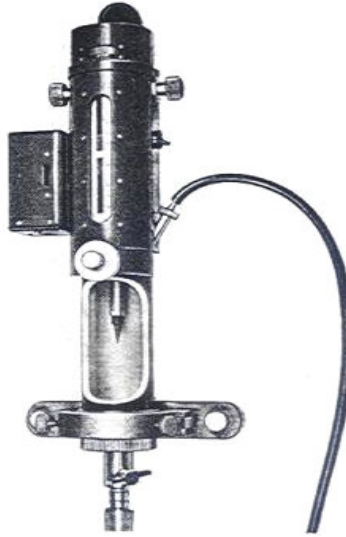
Bunlardan başka bir de hortumlu su düzeçleri vardır. Bunların hassasiyeti basit su düzeçlerine nazaran daha yüksektir. Bu tür aletler iki cam şişenin 20-40 m uzunluğunda plastik bir hortum ile birleştirilmesinden elde edilirler.

İki nokta arasındaki yükseklik farkı, şişelerin üzerindeki bölümlerden geri ve ileri okuma farkları ile bulunur. Burada iki ölçü noktasının birbirini görmesinin zorunlu olmaması önemli bir avantajdır.

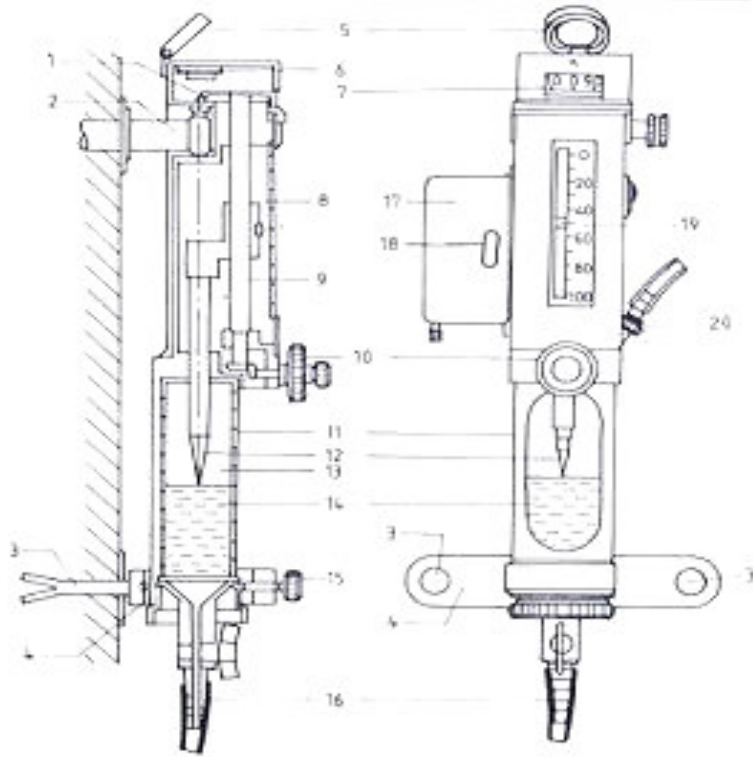
Hassas hortumlu su düzeçlerinde okumalar, mikrometre vidası yardımıyla yapılır. Bir iğne ucu sıvı yüzeyine temas ettirilir. Mikroskop düzeneği aracılığıyla bu ayarlamaların inceliği sağlanır. Cam şişeler ise pirinç veya çelik kap içerisine, sadece milimetre bölümleri görünecek şekilde yerleştirilirler. Hortumun şişeye bağlandığı yerdeki musluk aracılığıyla da sıvı serbest bırakılır veya kapatılır. Bazı tiplerinde ise kapların düşeyliğini sağlamak için kabın tabanına birbirine dik iki düzeç konur. Daha sonra iki kap ölçü noktaları üzerine düşey olarak yerleştirilir, musluklar

açılır, sıvı denge sağladıktan sonra okuma yapılır. Sistemin hassas olabilmesi için aletin her yerinde eşit sıcaklık koşullarının sağlanması gereklidir. Aksi halde sıvı değişik sıcaklıklarda değişik genleşmeler gösterir. Yani iki kaptaki su seviyesi aynı olmaz. Bundan başka, hortumun içindeki hava kabarcıkları da hassasiyeti etkileyeceğinden okumalara başlamadan önce hortumu iyice sallamak suretiyle olası hava kabarcıkları eritilmelidir. Eşit hava kabarcıklarının oluşması ve suyun denge konumuna gelmesi için 10-15 dakika beklenir ve okumalar yapılır.

Bu düzenekle 25 metreye kadar hassas nivelman yapılır. Fakat mesafe arttıkça bu hassasiyet yarıya düşer. Bununla beraber, izole edilmiş donanım ile kullanılan hortumlu su düzeçlerinin uzaklıkla değişmez. 100 metrede bile hassas nivelman yapılabilir (Özhan, 1994).



Şekil 3.5 Hidrostatik nivelman aleti (Fialovszky, 1983)



Şekil 3.6 Hidrostatik nivelman aletinin iç yapısı (Deumlich, 1982)

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Sayaç | 11. Düzeç aydınlatma aynası |
| 2. Tespit vidası | 12. Temas mili |
| 3. Sıkıştırma halkası | 13. Gözlem mili |
| 4. Ara parça | 14. Cam silindir |
| 5. Ölçme yapılacak civata | 15. Tesviye vidaları |
| 6. Ayar halkası | 16. Hortum musluğu |
| 7. Kardan eklemi | 17. Silindir düzeç |
| 8. Eklem halkası | 18. Kontra vida |
| 9. Konsol kol | 19. Tespit derecesi |
| 10. Havalandırma vidası | 20. Doldurma musluğu |

3.2.2.1 Metron Hortumlu Su Düzecleri

Çok küçük yükseklik değişimlerini belirlemeye yarayan bu alet Prof. Niemczks tarafından geliştirilmiştir. Taban oturumu geniş ve çok yüksek binalarda, köprülerde, barajlarda meydana gelebilecek deformasyonların belirlenmesinde, ayrıca madencilik çalışmalarında, tasman etkilerinin tespitinde ± 0.01 mm' lik bir hassasiyetle sonuç verir. Hiç kuşkusuz bu da, hidrostatik yöntemin hassas nivelmana oranla çok daha fazla hassasiyet sağladığının göstergesidir.

Bu alet iki ölçme civatası, iki duvar plağı ve içinde cam şişelerin bulunduğu iki kaptan oluşmuştur. Ölçme civataları, ölçü noktalarına çimento ile sabitlenir ve ölçme kaplarının ön plağı bir vida ile bu civatalara takılır. İki ölçme kabını 100 metre uzunluğundaki bir plastik hortum birleştirir. Hortumun iç yüzeyi gayet pürüzsüzdür ve sıvı olarak saf su kullanılır. Su doldurma işlemine, su kontak milin ucuna değene kadar devam edilir. Olası hava kabarcıklarını da çıkarmak için hortum sallanır. 10- 15 dakika beklendikten sonra okumalar yapılır.

Ölçme düzeneği, ön tarafı açık birer metal kap içinde bulunan iki cam silindirden ibarettir. Cam silindirlerin üst tarafında bir havalandırma vidası vardır. Her iki ölçme kabını tam düşey hale getirmek için, birbirine dik olarak konulmuş ve hassasiyetleri 1' olan iki silindir düzeç kullanılır. Bu düzeçlerin altındaki kontra vida çıkarılır ve altında bulunan düzenleme vidaları çevrilerek düzeç ortalanır. Silindirlerdeki su seviyesi, bir kumanda halkası çevrilerek kontakt milin sivri ucu su yüzeyiyle temas ettirilmek suretiyle belirlenir. Kontakt uçlar ayarlandıktan sonra sayaç yardımıyla okuma yapılır.

İki operatörün aynı zamanda 10 okuma yapması uygundur. Bundan sonra ölçme kaplarının yerleri değiştirilir ve 10 okuma daha yapılır. Her iki ölçme serisinin aritmetik ortalamaları farkı, yükseklik farkını verir. Burada karesel ortalama hata ± 0.01 mm'dir elde edilen hassasiyet, hassas nivelmandan çok daha fazladır.

Metron hortumlu su düzeçlerinden başka, Freiberg hortumlu su düzeçlerinden de söz edebiliriz. Bunlar da aşağı yukarı metron hortumlu su düzeçi gibidir. Yalnız bu sistem için özel sehpa geliştirilmiştir. Böylece hortumun uzunluğuna bağlı olmadan ölçmeler yapılabilir. Bu alette ± 0.01 mm incelikte okuma yapılabilir (Özhan, 1994).

Hidrostatik nivelman yönteminin kullanımı özellikle aşağıdaki durumlarda daha iyi sonuçlar vermektedir;

- Hassas nivelman aletleriyle elde edilenden çok daha fazla bir hassasiyet beklendiğinde,
- Kuvvetli yer hareketlerinin bulunduğu ya da ışığın kırılmasının etkili olduğu bölgelerdeki ölçmelerde,
- Yanına ulaşılabilmesi güç olan noktaların yükseklik belirlenmesinde,
- Yerçekimi değişimlerinin ya da yer hareketlerinin belirlenmesinde,
- Yükseklik noktalarının, özellikle büyük mühendislik yapılarının ve makine tesislerinin yüksekliklerinin kesintisiz ve sürekli kontrolünde.

4. TÜNEL İNŞAATLARINDA YAPILAN ÖLÇMELER

Tünel ölçmeleri diğer yer üstü inşaat projeleri için gereken ölçmelerle benzerlikler taşımakla beraber kendine özgü bazı yöntemlerin ve alet- ekipman donanımının kullanımını da gerektirmektedir. Ölçümlerin doğrudan kontrol edilmelerinin olanaksız olması nedeniyle de yer üstündeki ölçmelere göre daha hassas ölçümler gerekli olmaktadır. Bu yüzden tünel uygulama yöntemleri için de bazı farklı ölçümler ve ölçme aletlerinin kullanımı söz konusu olmaktadır (Ünlütepe, 2003).

Her tünel alanı için uygulanması gerekli ölçme işlemleri, tünel güzergâhını kapsayacak bir ölçme ağının oluşturulmasıyla başlar. Buna göre bütün tünel uygulamaları için gerekli ölçme uygulamaları şöyle sıralanabilir:

- İnşaat alanının kapsayan bir nirengi ağının oluşturulması
Nirengi noktaları arasında poligon ağı
Yine aynı alanda oluşturulacak bir nivelman ağı
- Topoğrafyanın ölçümü ve haritaların hazırlanması
- Tünel tasarımlarının hazırlanması
- Tünel giriş yapılarının inşaatı için yapılan ölçmeler
- Proje parametrelerinin araziye işaretlenmesi ve ilave saha ölçümlerinin tamamlanması

Tünel inşaatına ilişkin tasarım değerlerine bağlı olarak tünel kazılarının yönlendirilmesi; tip kesitlere uygun olarak inşası, gerekli destek detaylarının yerleştirilmesi, tünel iç kaplama aşamalarının tamamlanması için dışarıda oluşturulan nokta sistemine bağlı olarak tünel giriş yapısı aracılığıyla tünel içerisine taşınan üç boyutlu (x,y,z) ölçme ağına ihtiyaç duyulur. Bu ölçüm ağına ilişkin ölçüm noktaları; eğer tünel giriş yapısı yaklaşım tüneli ise doğrudan ölçümlenerek içeriye bir poligon ağının devamı olarak ulaştırılır. Eğer giriş yapısı şaft ise ölçüm noktaları şaft üzerinde oluşturulan ve dışarıdaki ölçüm ağına bağlı olarak konumlandırılan noktaların “Optik Çekül” aracılığıyla şaft tabanına taşınması ile oluşturulur.

Tünel girişine kadar taşınmış bulunan poligon ve nivelman noktaları aracılığıyla tünel kazılarının başlatılması ve projeye uygun olarak ilerlemesi sağlanır. Tünelin yeraltında ilerlemesiyle birlikte poligon noktaları ve nivelman noktaları tünel uygulamalarına destek verebilecek şekilde iletirilir.

Tünel ölçümleri için yararlanılan poligon ve nivelman noktaları tünel duvarlarında u profilli metal malzeme ile sağlam bir şekilde tesis edilir. Doğrudan ölçmelerin yapılabilmesi için “total

station” yerleşebilecek şekilde yapılır. Tünel içerisinde oluşturulacak poligon ağının noktaları inşaatın konum hassasiyetine ilişkin beklentilere bağlı olarak sadece zincir formu bir poligon ağı yerine tünelin her iki yakasına zig-zag şeklinde yerleştirilerek en az birden fazla geri noktadan gözlem şansı yaratılmasıyla yeraltındaki ölçüm ağının duyarlılığı artırılabilir (Ünlütepe, 2003).



Şekil 4.1 Duvarda sürekli sabit kalacak konsol tabanı



Şekil 4.2 Sabit parçaya yerleştirilen konsol kotu



Şekil 4.3 Üzerine montaj edilebilmesi için pim vidası

Bununla beraber yeraltında tesis edilen ölçüm ağına ait noktalar yukarıdaki tünel giriş yapısı civarındaki noktalardan başlanarak tünel içerisinde tesis edilen son noktaya kadar belli aralıklarla ölçülür ve ağ dengelemesi sonucu belirlenen konum farklılıkları düzeltilir. En son olarak tünel kazılarının bitirilmesinden bir süre önce de böyle bir son kontrolün yapılması işin gerekliliğine göre yararlı olacaktır. Bu ölçülerin tekrarlanmasının en önemli nedeni ise tüneller inşaa edildiği süreçte inşaat teknikleri ve zemin koşullarına bağlı olarak değişen boyutlarda stabilite problemine maruz kalmalarıdır. Gerçekte çoğu kez tünel inşaatı açısından emniyetli ve gözle fark edilebilen herhangi bir hareketlilik olmamasına rağmen çok küçük boyuttaki mikro hareketlilikler tünel içi ölçüm ağını ciddi biçimde olumsuz etkileyebilmektedir. Bu tür kontrol ölçümlerinin bir diğer nedeni de önceki ölçümlerde oluşabilecek olan bazı sistematik hataların zamanında ortaya çıkarılarak olumsuz etkilerinin azaltılmasıdır. Bunun yanı sıra ölçüm koşullarındaki zorluk derecesi yüksek ve uzun kazı mesafesi bulunan tüneller kazı sırasında “Gyromat” ölçümleriyle de tünel içerisindeki ölçme şebekesinin yukarıdaki ölçme şebekesiyle uyumu kontrol edilerek gerek duyulursa kazı doğrultusuna düzeltme getirilebilir.

4.1 Klasik Metodla Derin Tünel Yapımı

4.1.1 N.A.T.M (Yeni Avusturya Tünel Metodu) Hakkında Genel Bilgiler

Geleneksel Tünel Açma Yöntemlerinden en yaygın olarak bilineni (NATM) “Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu”dur. Klasik metotla tünel açma tekniklerinin en deneysel ve esnek olarak uygulanabildiği tünelcilik anlayışı NATM metodudur. NATM, yöntemi özünde kazı sonrası

oluşacak deformasyonun bir kısmının ana kayaya, bir kısmının ise tahkimat elemanına taşıttırılması esasına dayanmaktadır (w3.balikesir.edu.tr/~atufan/xcrs/metro.doc).

NATM tünel güzergahı boyunca yapılan Jeodezik-Jeoteknik etüdler ile topoğrafya, derinlik ve inşaa edilecek tünel geometrisine bağlı olarak prensipte tünel inşaat detayları belirlenir. Bununla beraber uygulama sırasında sürekli zemin gözlemleri ve deformasyon ölçmelerinden elde edilen sonuçlara göre uygulamaya ilişkin kazı intervalleri ve aşamaları, destek (iksa, kolon püskürtme beton) cinsi ve sıklıkları, tünel tabanı inşa tipi ile kullanılacak ekipman yeniden gözden geçirilerek daha uygun hale getirilir. Bunun sonucunda tünellerde gerektiği kadar destekleme kullanılarak iyi bir zamanlama ve optimum maliyetle gerek duyulduğu ölçüde yapı emniyeti sağlanır. NATM' nin amacı zemin gerilmelerini dengelemek ve kaplamanın maksimum esnekliğini sağlamaktır. Gerilmeler değil deformasyonlar ölçülür. NATM zeminin izin verilen kontrollü deformasyonlarıyla, zemin kütlelerinin doğurduğu kesme gerilmelerini dengeler ve böylelikle zeminin göçme eğilimini azaltır, diğer bir deyişle kaplamaya gelen yükü azaltır.

NATM tünel metodu için; uygulama sırasında elde edilecek zeminin reaksiyonlarına göre yeniden uygulama detayları düzenlendiği için deformasyon ölçmelerinin önemi büyüktür.

NATM metoduyla tünel açımı sırasında gerekli olacak diğer ölçmeler şöyle özetlenebilir.

1. Tünel kazılarının yönlendirilmesi

Lazer cihazlarının kullanılması,

Klasik yöntemlerle kazıların ve iksa yerleştirme işleminin desteklenmesi,

Enkesitlerin alınması,

Tünel kazısının tamamlanması ve yeni ölçüm şebekesinin tesis edilmesi,

Tünel içi kaplamasının yönlendirilmesi,

2. Tünel stabilitesinin izlenmesi

Tünel dışında yapılan deformasyon ölçümleri

Tünel içerisinde yapılan deformasyon ölçümleri

4.1.1.1 NATM Tünel Kazılarının Yönlendirilmesi

Tünel inşaatları sırasında kazı doğrultusunun belirlenmesi ve destek elemanlarının yerleştirilmesi en temel ölçme çalışmasıdır. Klasik anlamda tünel kazılarının yönlendirilmesi ve diğer tünel uygulamaları doğrudan ölçme ekiplerinin elektronik takeometre (total station) nivelman ve yardımcı donanımları aracılığıyla sürekli uygulayıcı birimleri desteklemesi şeklinde

Bu tür tünел uygulamaları sırasında tünел kazılarının tamamlanmasıyla her iki ucu açılan tünelde ölçme şebekesi revize edilir ve tünел iç kaplaması için ölçme işlemleri sürdürülür. Genellikle tünел iç kaplaması revize edilmiş ölçüm şebekesi yardımıyla yine en kesitleri hazırlanarak teorik iç yüzeyden olan sapmalar kontrol edilerek tamamlanır.

4.1.1.2 Tünel Stabilitesinin İzlenmesi

NATM tünel metodunda deformasyonların izlenmesi; uygulamanın güvenilirliği ya da yeterliliğinin doğrulanması açısından son derece önemlidir. Burada kazı ve destek detayları büyük ölçüde deformasyon bulgularına göre düzenlenmektedir. Bu nedenle tünel üzerinde ve tünel içerisinde deformasyon ölçüm programına uygun ölçümler gerçekleştirilir. Deformasyon ölçümlerinin bir kısmı Jeodezik ölçme uygulamalarıyla diğer kısmı ise Jeodezik yöntemler gerektirmeyen diğer yollarla yapılır. Ancak bu ölçümlerin tamamının Jeodeziciler tarafından yapılması ve değerlendirilerek ilgili birimlerin görüşüne sunulması giderek kabul gören bir uygulama olmaktadır (Ünlütepe, 2003).

4.2 Deformasyona Neden Olan Faktörler

Tünellerde deformasyona neden olan faktörleri zeminin jeolojik yapısı ve tünelin yapılış şekli olmak üzere 2 başlık altında toplayabiliriz.

4.2.1 Zeminin Jeolojik Yapısı

Yer yüzeyinden derine doğru inildikçe, yumuşak ve ayrışmış zemin, yerini kaya ya da sağlam zeminlere bırakır. Zeminin homojenliğini bozan değişik yüzeylerdeki tabakalanmalar, kırıklar, çatlaklar, fay kuşakları ve yeraltı suyu hareketlerinden dolayı, derine inildikçe sağlam zeminden beklenen mukavemet azalır. Bu nedenlerden dolayı tünel güzergahının jeolojik yapısı araştırılmalıdır. Bunun için, yüzeyde uygun görülen sıklıkla, belirli noktalarda sondaj işlemi yapılır. Sondaj işlemleri sonucu, jeolojik yapılanmaya göre oluşabilecek yaklaşık deformasyon miktarları belirlenir ve tünelin neresinde ne oranda tahkimat yapılacağı bulunur.

Bunlardan başka mevcut yapılanma da deformasyona sebep olabilir. Bu da, binaların boyutları, taşıyıcı sistemleri ve yapının yaşı gibi kriterler hakkında bilgi edinmeyi zorunlu kılar. Bunlardan başka kanalizasyon- gaz ve su boruları, bunlar için kullanılan malzeme ve tünel hattına göre konumları da belirlenmelidir.

4.2.2 Tünelin Yapılış Şekli

Tünelin derinliği, çapı ve tünel açma yöntemi, tünel içinde deformasyona yol açar. Derinliği ve çapı büyük olan tünellerde ve patlayıcı madde ile açılan tünellerde daha büyük deformasyonlar gözlenir.

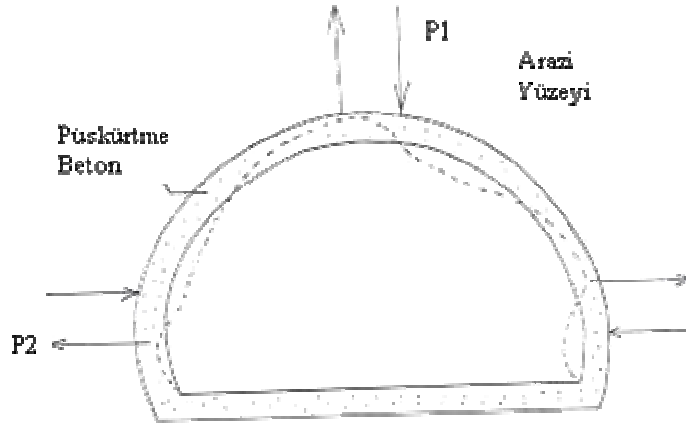
Zeminin gevşemesi sonucu kendi kendini taşıma direnci azalarak deformasyonlar meydana gelir. Bu nedenle olası gevşemeler önlenmeye çalışılır. Gevşemeyi önlemek için oluşturulacak iksalar ve aralıkları, olması beklenen deformasyona göre tayin edilir. Fakat kazı uzunluğunun fazla olduğu durumlarda, deformasyon miktarı artacağından, kontrol altına almak oldukça güçtür. Hatta zaman zaman göçükler bile meydana gelebilir. Bunun için, beklenen deformasyona göre kazı uzunluğu da ayarlanmalıdır.

Zeminin gevşemesini önleyebilecek bir başka tedbir de kazı yüzeyinin havayla temasını kesmektir. Bunun için kazının hemen ardından, kazı yüzeyi püskürtme beton (shotcrete) ile kaplanır. Kazı sonrası iksa yerleştirme ve püskürtme beton ile kaplama mümkün olduğunca süratli yapılmalıdır. Duvarlarda sağlamlaştırma işlemi yapıldıktan sonra ise taban kazısına başlanır.

Bütün bunlara rağmen, bir kesitte sağlamlaştırıcı inşaa tamamlansa bile deformasyon devam edebilir. Bunun nedeni ise zemindeki henüz sönmölenmemiş gerilme değışimleri, yeraltı suyunun boşaltılmaması ve tünel kabuğunun arkasını zorlamasıdır. Yeraltından açılan her boşluk drenaj vazifesi görerek su ile dolar. Bu mevcut suyun tünel dışına tahliye edilmesi zorunludur. Çünkü üzerini kapatıp geçmek de bir şekilde su basıncına yol açar. Su boşaltıldıktan sonra ise oluşan boşluklar gerilmelerden doğan hareketlerin sönmölenmesini engelleyeceğinden betonla doldurulurlar.

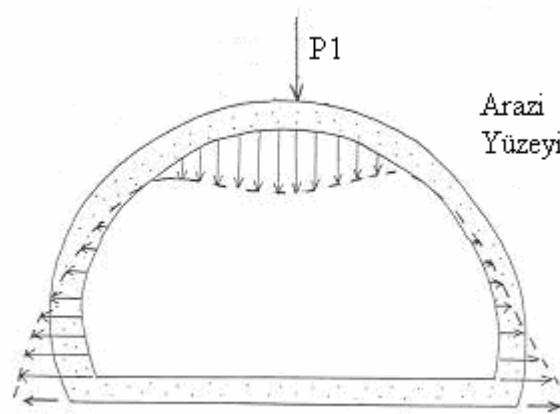
4.3 Beklenen Deformasyonlar

Tünel güzergahı kazısı devam ederken, oluşan boşluk nedeniyle tünel kesitine bir takım kuvvetler etkir. Bu kuvvetler, arazinin yükü ve iç kaplamalar nedeniyle oluşan sistemin kendi ağırlığıdır. Yine tünel kesitinde jeolojik yapının değişmesinden dolayı, nadiren de olsa tünel tabanında kabarma veya çökme olabilir.



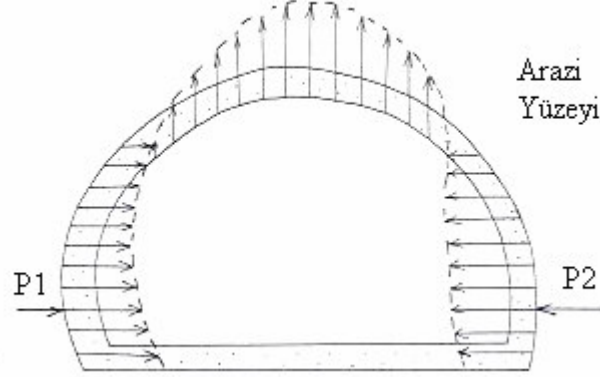
Şekil 4.5 Tünele etkiyen kuvvetler (Özhan, 1994)

Şekil 4.5’ de tünele etkiyen kuvvetleri görmekteyiz. Burada, $P = P1 + P2$ olmaktadır. $P1$ kuvvetinin etkisiyle tünel tavanında aşağı doğru bir eğilme gözlenir. Buna bağlı olarak da tünel duvarları yana doğru açılabilir. Şekil:4.6’da $P1$ kuvvetinin etkisiyle meydana gelen şekil değişikliği görülmektedir.



Şekil 4.6 $P1$ kuvvetinin etkisiyle meydana gelen şekil değişikliği (Özhan, 1994)

P_2 kuvvetinin etkisiyle de, tünel duvarları tünel içine doğru şekil değiştirirler. Buna bağlı olarak da, bu değişme tünel tavanının yukarı doğru itilmesine sebep olur. Şekil:4.7' de P_2 kuvvetinin etkisinden dolayı meydana gelen şekil değişikliği görülmektedir.



Şekil 4.7 P_1 ve P_2 kuvvetinin etkisiyle meydana gelen şekil değişikliği (Özhan, 1994)

Tünel hattının geçirildiği zeminin jeolojik yapısından dolayı, blok halinde kaymalar da olabilir. Örneğin, bir heyelan veya yer sarsıntısı, toprak kütlelerinin bir bölümünün blok halinde kaydırabilir. Bu da tünel içinin şeklini değiştirmeden, tünel hattının yerinin değişmesine sebep olur. İşte tünel kazısı nedeniyle, tünel içinde mevcut yapıyı bozan konum ve şekil değişikliklerini belirlemek, etkiyen kuvvetlerin büyüklüklerini, yönlerini ve kaynaklarını tespit etmek amacıyla yapılan ölçmelere de “JEOTEKNİK ÖLÇMELER” denir.

4.4 Deformasyon Ölçmeleri

Bitişik kaya kütlelerindeki deformasyonlar ile gerilme değişikliklerini gözlemleyip, kaydetmek yoluyla tünelde meydana gelebilecek çökmeyi veya kaymayı tespit ederek, gerekli önlemleri zamanında almak için jeoteknik ölçmeler yapılır.

Tünel hattı boyunca yapılan jeolojik sondajların sonuçlarına göre jeoteknik ölçü noktalarının yerleri belirlenir. Daha sonra bu noktalar projesinde belirlenen yerlere, yeteri kadar sıklıkla tesis edilirler. İşte bu noktalarda bir takım deformasyon ölçmeleri yapılır. Yapılan bu jeoteknik ölçmelerin sonucu deformasyonlar ve bu deformasyonlara karşı alınan iksa tedbirleri hakkında kısa bir sürede karar vermek mümkündür.

4.5 NATM Tünel Metodunda Deformasyonların İzlenmesi

1. Tünel Üstünde Yapılan Ölçümler

Tünel üzerinde yapılan ölçmeler 3 grupta sınıflandırılabilir.

- Oturma Bulonu Ölçmeleri
- Çubuk Ekstensometre (Uzama Ölçer) Ölçümleri
- İnklinometre (Eğim Ölçer) Ölçümleri

2. Tünel İçinde Yapılan Ölçümler

Tünel içinde yapılan ölçmeler 3 grupta sınıflandırılabilir

- Koverjans (Yaklaşım) Bulonu Ölçümleri
- Tape (Band) Ekstensometre Ölçümleri
- Elektro Optik 3D Ölçümü (Ünlütepe, 2003)

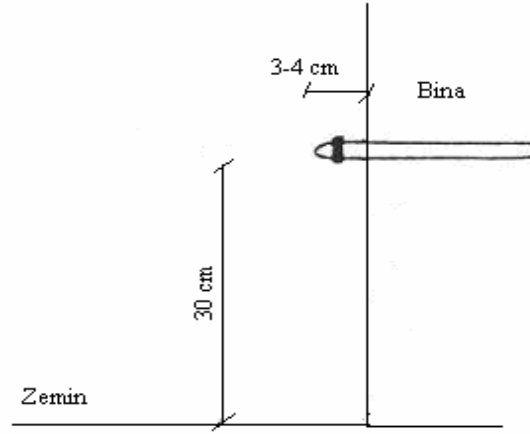
4.5.1 Tünel Üstünde Yapılan Ölçümler

4.5.1.1 Oturma Bulonu Ölçmeleri

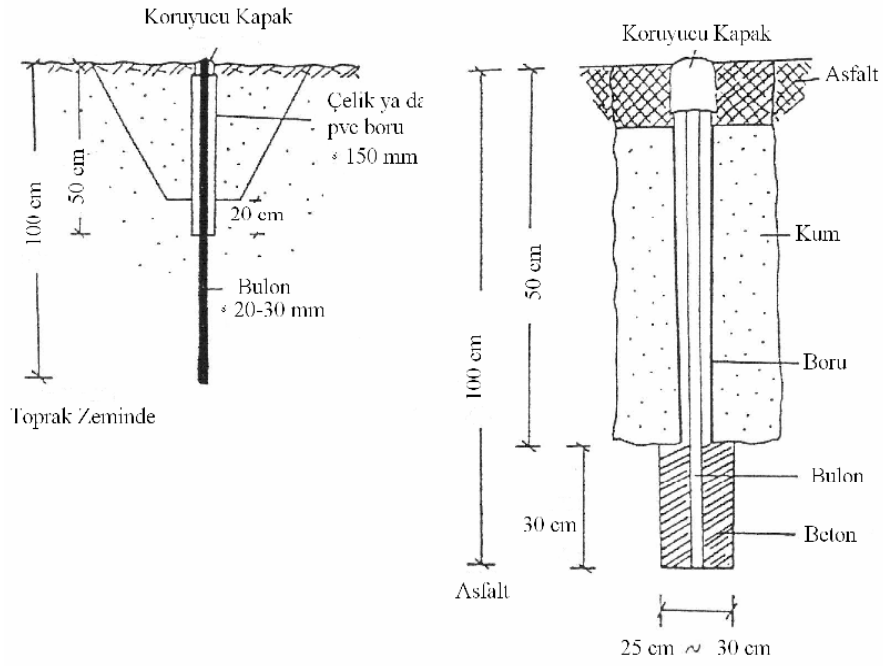
Oturma bulonları;

- Yüzey üzerinde düşey doğrultudaki yer değiştirmelerin belirlenmesi için kullanılır.
- Tünel güzergahı civarında, zeminde ve civar yapılar üzerinde tesis edilirler.
- Diğer tip noktalara göre daha kolay tesis edildiği için güzergah boyunca en çok tercih edilen gözlem noktası tipidir.
- Tesis şekilleri, tesis edildikleri zeminin yapısına göre değişir.

Oturma bulonu ölçmeleri; bulonları üzerinde hassas nivelman metoduyla yapılır.



Şekil 4.8 Bina üzerinde tesis edilen oturma bulonu (Özhan, 1994)



Şekil 4.9 Toprak zeminde ve asfaltta tesis edilen oturma bulonu (Özhan, 1994)

4.5.1.2 Çubuk Ekstensometre Ölçümleri

Ekstensometreler; kaya bloklarının hareketini, hareketle ilgili jeolojik verileri, tünel üstü zemin katmanlarının oturmasının belirlenmesine, püskürtme betondaki (shotcrete) kırılmaları, olası çatlağın genişliğini ve uzunluğunu, betonlarda olası gevşemeyi tespit ederek deformasyonların yorumlanmasına yardımcı olurlar. Bir sondaj kuyusu içine zeminin düşey hareketini gözlemek için yerleştirilmektedirler. Genelde üç kademedan oluşurlar. En az kademesi tünel tavanının en çok 2 m. üzerine gelecek şekilde kuyuya indirilir. Diğer kademelerin yeri jeolojik yapıya göre belirlenir. Kademe sayısı gerektiğinde arttırılabilir veya azaltılabilir. Ölçümler yeryüzünde monte edilen ekstansometre üzerinden alınır (<http://w3.balikesir.edu.tr/~atufan/xcrs/metro.doc>).

Çubuk (Rod) extensometre ölçümleri, tesisi zor ve maliyeti yüksek olduğu için sadece güzergahın karakteristik noktalarında az sayıda düşey olarak tesis edilen cihazlarda yapılır.

4.5.1.3 İnklinometre Ölçümleri

Bu ölçümler, güzergahın kritik bölümlerinde tesis edilen inklinometre cihazları üzerinde yapılarak tünel açımı nedeniyle oluşan yatay yöndeki deformasyonların ve bunların kaynağının belirlenmesine yardımcı olur.



Şekil 4.10 İnklinometre (www.gage-technique.demon.co.uk)

İnklinometreler zemin hareketlerinin ve yapısal deformasyonların ölçülmesinde, şev ve heyelan hareketlerinin incelenmesinde, yeraltındaki yatay deformasyonların ölçülmesinde, barajlarda, koruma yapılarında, heyelanlı bölgelerde vb. yapı ve sahaların yatay deformasyon ölçmelerinde

yaygın olarak kullanılmaktadır. Ölçmeler sahada uygun noktalarda açılan özel sondaj kuyularında, belirlenen derinliklerde ve uygun periyotlarda yapılacak inklinometre okumaları aracılığıyla gerçekleştirilir. Deformasyonun belirlenmesi işlemi, belirli yüksekliklerde düşeye göre eğim değışimlerinin ölçülmesi ve integrasyon yöntemleri kullanılarak bu değışimlerin yatay deformasyon değeriine dönüştürülmesi şeklinde yapılır (Kalkan, Alkan, Yanalak, 2005).

4.5.2 Tünel İçinde Yapılan Ölçümler

4.5.2.1 Koverjans (Yaklaşım) Bulonu Ölçümleri

Tünel içerisinde en yaygın sıklıkta yapılan ölçümler konverjans bulonu ölçümleridir.

- Tesis ve ölçümleri ise diğerlerine oranla ekonomik ve pratiktir.
- Koverjans ölçmeleri, tünele etkiyen kuvvetlerden dolayı olası bir şekil değışikliğini belirlemek için yapılırlar.
- Uygun görülen sıklıkla mafsallı olarak yerleştirilmiş dairesel koverjans bulonları tesis edilir.

İdeal bulon sayısı beştir. Fakat gerek görüldüğünde sıklaştırılabilir. Her ilerleyişte karşılıklı nokta çifti arasındaki mesafe 0.01mm doğrulukla ölçülür. Bu şekilde deformasyonlar kaydedilebilir. Bu yöntemde genellikle noktaların kesin deformasyonları belirlenemez sadece noktalar arası uzunluklar ölçülebilir (Moosavi, Khazaei, 2003).

- Koverjans bulonları tünel kazılıp püskürtme beton ile iksası tamamlandıktan hemen sonra beton içine ankre edilip sağlamlaştırılmıştır.

Tünel kesitine yerleştirilen koverjans bulonları yer yüzeyine yerleştirilen oturma bulonlarıyla bazen aynı kesit üzerinde bulunurlar. Bunun nedeni ise yüzey oturmalarıyla, tünel içi hareketlerin karşılaştırılmasını sağlamaktadır.

4.5.2.2 Tape (Band) Ekstensometre Ölçümleri

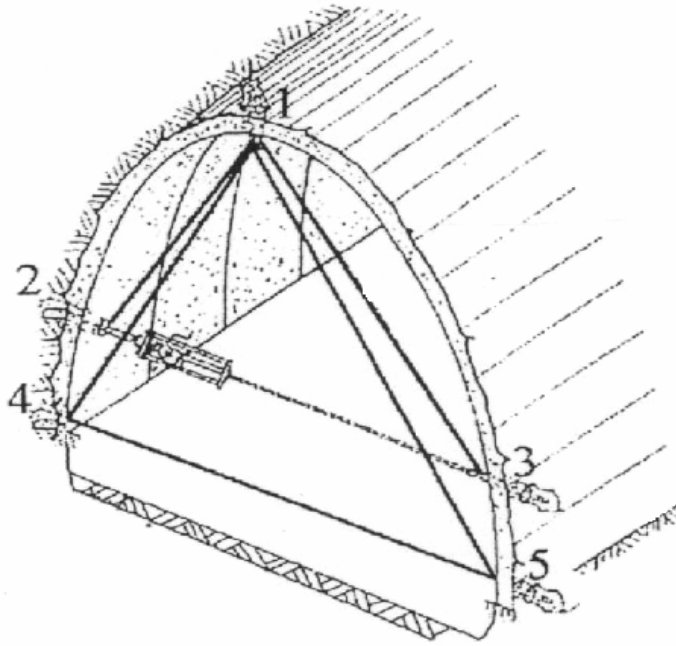
Genellikle 2 referans noktası arasında bulunan deformasyonu bulmak için kullanılır. Genellikle;

- Tünel duvarlarının birleşme noktalarının izlenmesinde
- Yeraltın tünellerinin deformasyonlarının izlenmesinde
- Baraj köprü vb. büyük sanat yapılarının hareketlerinin izlenmesinde kullanılır.



Şekil 4.11 Tape ekstensometre örnekleri (www.heungin.co.kr)

Tünel içi ölçümlerde tünel tavanı ve duvarlarda tesis edilen bulonlar arasındaki bağıl hareketleri belirlemek üzere kenar uzunluklarını 0.01 mm hassasiyetle ölçmek amacıyla tape ekstensometreler kullanılır. Bu ölçme yöntemi bir tanesi tünelin tavanında ve ikişer tanesi ise yan duvarlarda olmak üzere toplam beş adet toplama bulon kullanılarak gerçekleştirilir (Şekil 4.12) .



Şekil 4.12 Tape ekstensometre ölçümleri (Ünlütepe, 1994)

Bu amaçla tünellerde ortalama her yirmi beş metrede bir ölçüm kesitleri oluşturulmaktadır. Kazı işlemi tamamlanır tamamlanmaz toplama bulonları yerleştirilir. Ölçme aralıkları tünel aynası ölçme kesitini 10 m geçinceye kadar her gün ölçü yapılır. Tünel aynası ölçme kesitini 30 m geçinceye kadar iki günde bir ölçmeler tekrarlanır. 30 m' den sonra ölçmelerin yapılıp yapılmayacağına

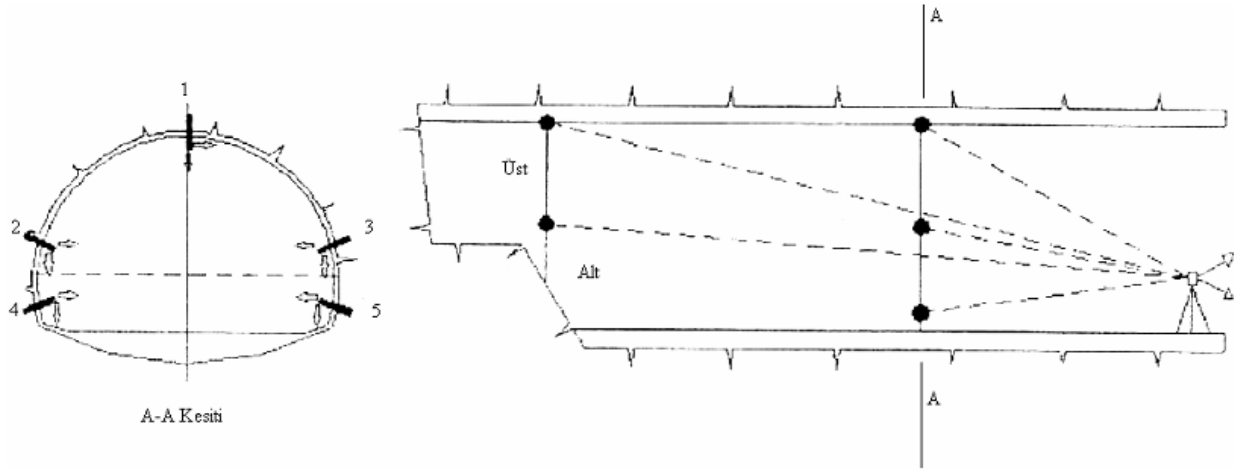
deformasyonların büyüklüğüne bağlı olarak karar verilir

(<http://w3.balikesir.edu.tr/~atufan/xcrs/metro.doc>).

4.5.2.3 Elektro Optik 3D Ölçümü

Ölçüm hassasiyeti çok yüksek elektronik takeometre (total station) aleti ve yardımcı donanımı kullanılır. Ölçümlerin değerlendirilmesi için uygun yazılımların kullanımı işi kolaylaştırır.

Deformasyon ölçümü: Tespit edilen 5 bulona prizmalar yerleştirilir. Deformasyon noktasına en yakın poligon noktasına total station kurulur. Diğer poligona bağlanıp total station prizmalara yöneltilir. Her noktaya yatay açı, düşey açı ve mesafe okumaları yapılır. Bu ölçülere göre bulonlara kot ve koordinat verilir. İlk okuma baz olarak alınarak diğer okumaların üzerinden değerlendirilmeye sokulur. Her ölçü değişimi hareket demektir, böylelikle hareketin büyüklüğü ve yönü sürekli takip edilir.



Şekil 4.13 Elektro optik 3D ölçümü (Ünlütepe, 2002)

4.6 Yük ve Basınç Hücreleri ile Yapılan Ölçümler

Yük ve basınç hücreleri tünel içerisinde tünel iç yüzeyinde destek elemanları üzerine yerleştirilerek alınan ölçümler aracılığıyla tünel destek sistemi gözlemlenebilir (Ünlütepe, 2003).

4.7 TBM Tünel Metodu

Tünel açma makinesi-TBM (Tunnel Boring Machine) son dönemlerde çok önemli teknik gelişmeler kaydetmiştir. TBM sistemi; inşaa edilmesi tasarlanan boyutta dairesel bir silindirik formu olan tünel yapımı için gerekli teknolojiyi barındıran bir tünel yapım makinesidir. Sistemin baş kısmında kazılması planlanan zemin koşullarına göre tasarlanmış bir kazıcı kafa ile kazılan

malzemenin dışarıya taşınmasını sağlayan bir sistem mevcuttur. Makinenin silindirik formu kazılan zemini ayakta tutarak zemin stabilitesini korur. Çok kötü zemin koşullarında ayna stabilitesini sağlamak ve sistemi dengede tutmak için zemin denge basıncından yararlanılır. Bu durumda sistem zemin denge basıncı (EPBM) adını alır. Kazıcı kafanın ilerlemesiyle ön kısmın stabilitesi de hemen gerisindeki çok sayıda pistonlar aracılığıyla sağlanır. Bu pistonlar eğer varsa iç kaplama elemanlarına da daimi bir baskı iç kaplama formunu da korur. İç kaplama elemanlarına şild içerisinde her yerleştirilmesinden sonra silindirik formu şild ilerleyerek iç kaplama ile zemin arasından çekilir. Bu işlem sırasında iç kaplama ile zemin arasına ince beton karışımlı enjeksiyon malzemesi sıkıştırılarak geçirimsizlik sağlanır. Burada iç kaplama elemanlar ve enjeksiyon malzemesi getiren raylı vagonlar geriye kazılan malzemeyi taşırlar. Teknolojik açıdan daha da gelişmiş TBM ile makineleri olmakla beraber makinenin tasarımı; tünel iç kaplama cinsi, zemin ve proje koşullarına göre belirlenmektedir. Bu arada sistemin tüm mekanik parametrelerini gösteren bir bilgisayar ile makinenin yeraltında ilerlemesinin ve iç kaplama yerleşiminin yönlendirildiği kontrol kabini adı verilen bir ölçme bilgisayarı da mevcuttur. TBM makineleri ile tünel açımı sırasında gerekli olan ölçme uygulamaları ise aşağıdaki gibidir.

- Tünel Makinesinin yönlendirilmesi
 - TBM' in başlama pozisyonunu alması
 - Donanım+Yazılım tesisi
 - Tünel içi en kesitlerin alınması
 - Tünel inşaatının tamamlanması ve yeni ölçüm sisteminin oluşturulması ve tünel içi en kesitlerinin güncellenmesi
- Tünel stabilitesinin izlenmesi
 - Tünel dışındaki deformasyon ölçümleri
 - Tünel içerisindeki deformasyon ölçümleri
- Eğer gerekli ise tünel içerisinde kullanılacak kaplama elemanlarının imalatının ölçümlerle denetlenmesi
 - Fotogrametrik ve geleneksel yöntemler (Ünlütepe, 2003)

4.7.1 TBM Makinesinin Yönlendirilmesi

Yönlendirme sistemi dışarıdan tünel içerisine taşınan ölçüm şebekesine bağlı dayalı olarak TBM' in teorik eksen üzerinde başlangıç pozisyonunun belirlenmesi ile başlar.



Şekil 4.14 TBM yönlendirilmesi (Ünlütepe, 2001)

TBM içerisinde bulunan ölçme bilgisayarına yönlendirme yazılımından başka inşa edilecek teorik tünel eksen ve tip kesit parametreleri yüklenir. TBM' in gerisinde bir total station tünel düzleminde kurularak ölçüm ağına bağlandıktan sonra TBM' in ön kısmında bulunan algılayıcı ekrana yönlendirilir (Şekil 4.14) .

Bu arada seçime bağlı olarak manuel-yarı otomatik ya da tam otomatik olarak total station geri poligon noktasına bağlandıktan sonra TBM' in ön kısmında bulunan algılayıcı ekran üzerine yöneltilir. Bu arada elektronik takeometre (total station) tarafından ölçülen açılar ve mesafeler belirlenen intervallerle ölçümlenerek değerlendirilmek üzere kablolar aracılığıyla otomatik olarak kontrol bilgisayarına gönderilir. Kontrol bilgisayarı bu verilere dayanarak TBM' in ölçüm anındaki konumunu belirleyerek tasarım güzergahı ile kıyaslar ve yatay-düşey düzeltme değerini belirtir. Bu süreçte bağımsız bir ölçüm ağı oluşturularak TBM' in konumu kontrol edilerek

gerekli düzeltmeler zamanında yapılır. Tamamlanan tünel iç yüzeyinden de en kesit ölçümleri alınarak mevcut durum değerlendirilir. Tünel delme işlemi tamamlamasıyla beraber eğer sapma varsa tünel poligon şebekesi yeniden ölçümlenerek iki ucu açık tünelden yer üstü noktalarına bağlanır ve diğer uygulamalar için kullanılır (Ünlütepe, 2003).

4.7.2 Tünel Stabilesinin İzlenmesi

Tünel açımı sırasında tünel açma makinesi ile deformasyonlar belirlenmeye çalışılarak uygulamaya ilişkin herhangi bir ek düzenlemeye ihtiyaç olup olmadığı ortaya konur. Eğer beklenenin ötesinde deformasyon bulguları var ise uygulamaya ilişkin detaylar gözden geçirilir. Ancak bu yöntemle yapılan uygulamalarda beklenenin ötesinde deformasyon bulguları gözlemlenmiş olsa bile NATM uygulamalarında yapıldığı gibi radikal değişikliklerin yapılması pek mümkün değildir. Bununla beraber mevcut zemin için tasarlanan teknolojik parametrelerin daha sıkı bir şekilde uygulanmasıyla olumsuzluklar düzeltilmeye çalışılır.

Tünel stabilesini izlemek için yapılan deformasyon ölçümleri NATM tünel uygulamaları için yapılan ölçümlerle büyük ölçüde aynıdır. Sadece tünel içerisinde iç kaplama cinsine bağlı olarak ölçüm noktası tesis şekli ve çeşidi farklılıklar gösterebilir.

4.7.3 Tünel İç Kaplama İmalatının Ölçümlerle Kontrolü

Tünel iç kaplama elemanlarının tünel içerisine yerleştirilmeleri sırasında 0.25 mm' ye varan imalat toleransına uyulması beklenmektedir. Bu toleransların aşılması durumunda iç kaplamanın tünel içerisine yerleştirilmesi sırasında tam kilitlenme sağlanamayabilir ve bunun sonucunda da tünel içine sızma hatta stabilite sorunlarıyla bile karşılaşmak söz konusu olabilir. Bu nedenle iç kaplama imalatı için kullanılan kalıplar ile imal edilen elemanlar iki tip ölçmelerle kontrol edilirler. Bu kontroller fotogrametrik metotlarla yapılabileceği gibi klasik ölçüm yollarıyla büyük kumpaslar kullanılarak da yapılabilir (Ünlütepe, 2003).

4.8 Batırma Tünel (Immersed Tube) Yöntemi

1893 yılında ABD Boston'da kanalizasyon sistemi için ilk defa kullanılan bu teknoloji daha sonra 1910 yılında Michigan Central Demiryolu için Detroit Nehri geçişinde kullanılmıştır. Batırma tüp tüneli genel olarak 4 aşamada inşa edilir (Şekil 4.17).

- Prefabrik tüp imalatı
- Yerleşim yerinin hazırlanması

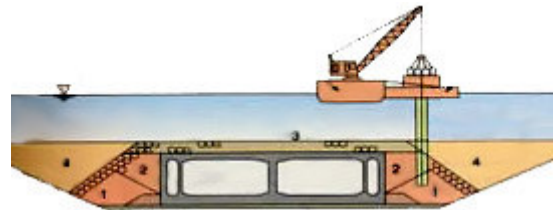
- Batırma ve birleştirme
- Dolgu yapılması

Batırma tünel uygulamalarına ilişkin ölçmeler diğer tünelcilik metotları için yapılan ölçmelerden büyük ölçüde farklı olarak hidrografik ve GPS ölçmelerinden yararlanılarak gerçekleştirilirler. Burada işin önemli aşamaları güzergahın deniz dibi haritasının hazırlanması, su dibinde tünel tüplerinin yerleşeceği kanalın hazırlanması (dredging) için yapılan ölçümler ile batırılan tüplerin ölçme yardımıyla su dibinde yerine yerleştirilmesidir.

- Tünel güzergahının deniz dibi haritalarının hazırlanması
- Tüplerin deniz dibinde yerleştirilme kanalının hazırlanması (dredging) sırasında gerekli ölçme işlemleri (RTK-GPS ve Echosounder)
- Tüplerin yerleştirilmesi (Immersing) sırasında yapılacak ölçme işlemleri (RTK-GPS ve Echosounder ve akustik algılayıcıları).



Şekil 4.15 Batırma tüp inşaat metodu (www.marmaray.com.tr)



Şekil 4.16 Batırma tüp inşaat metodu (www.tunnelbuilder.com)

Deniz dibindeki t p yerleşim alanının kazısı ve hazırlanması ile batırılan tüplerin konumu akustik konumlandırma sistemleri (APS) aracılığıyla eř zamanlı olarak izlenir ve gerekli düzeltmeler hidrolik pistonlar aracılığıyla yapılır. Bu amaçla echosounder' ın gönderdiği ses dalgalarını algılamak üzere tüplerin üzerine ses algılayıcı cihazlar konumlarının belirlenmesi için yerleştirilir. Akustik algılayıcı echosounderın gönderdiği sinyali aldığı zaman bunu tanıyarak konumunu belirtir. Düzeltmeler diğer akustik algılayıcılardan gelen konum bilgilerini de göz önüne alarak yapılır. Gerekli konum düzeltmeleri dalgıçlar ya da özel tasarlanmış uzaktan kumandalı denizaltılar aracılığıyla yapılır. Echosounder' ın konumu ise RTK-GPS ölçümleriyle belirlenir.

5. DEFORMASYON ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Jeodezik deformasyon araştırmasına önce her ölçme dönemine ait ölçülerin ayrı ayrı dengelenmesi ile başlanır (Hoşbaş,1992). Dengeleme hesabının amacı, gereğinden fazla sayıda yapılmış ölçülerden hiç birini seçip ayıklamaksızın, bilinmeyenlerin en uygun değerlerini belirlemek, ölçülerin, kesin değerlerini ya da bunların fonksiyonlarının duyarlıklarını ve güvenilirliklerini saptamaktır. Bu amaca ulaşabilmek için uygulanan ilke, Gauss'un ($v^T P v = \min$) "En küçük kareler ilkesi"dir (Öztürk ve Şerbetçi, 1995).

5.1 Dolaylı Ölçüler Dengelemesi

Dolaylı ölçüler dengelemesinde jeodezik ağda en az iki noktanın koordinatları sabit alınır (Hoşbaş, 1992).

Fonksiyonel model;

$$v = Ax - l \quad (5.1)$$

stokastik model ise;

$$P = Q_{ll}^{-1} \quad (5.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Normal denklem katsayılar matrisi;

$$N = A^T P A \quad (5.3)$$

sabit terimler matrisi;

$$n = A^T P l \quad (5.4)$$

olmak üzere $Nx - n = 0$ denkleminin çözümünden küçültülmüş bilinmeyenler vektörü;

$$x = (A^T P A)^{-1} n = Q_{xx} n \quad (5.5)$$

elde edilir.

Dengelenmiş ölçüler ve koordinatlar ise;

$$\bar{l} = l + v \quad (5.6)$$

$$x = x_0 + \delta x \quad (5.7)$$

eşitlikleriyle elde edilir. Dengelenmiş ölçülerin ağırlık katsayıları matrisi;

$$\bar{Q}_{ll} = A Q_{xx} A^T \quad (5.8)$$

düzeltilmelerin ağırlık katsayıları matrisi;

$$Q_{vv} = P^{-1} - A Q_{xx} A^T = Q_{ll} - \bar{Q}_{ll} \quad (5.9)$$

şeklinde yazılabilir.

Birim ağırlıklı ölçünün dengeleme sonucu karesel ortalama hatası;

$$m_0^2 = \frac{v^T P v}{n - u} \quad (5.10)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada n ölçü sayısını, u ise bilinmeyenlerin sayısını göstermektedir.

5.2 Serbest Ağ Dengelemesi

Ağın konumu, ölçeği, yönlendirilmesi ile ilgili zorlamaları ortadan kaldıran ve nokta duyarlıklarını gerçekçi biçimde yansıtan serbest ağ dengelemesi deformasyon analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gülal,1992).

Doğrultular yanında uzunluklarında ölçüldüğü iki ya da üç boyutlu bir ağda, ölçek belli olduğundan ağın bir koordinat sisteminde tanımı için gerekli bilgi sayısı bir azalır. Böyle ağlara “serbest ağlar” adı verilir. Serbest ağlarda tüm noktalar bilinmeyendir. Normal denklem katsayılar matrisi tekil, determinantı sıfıra eşittir. Rank bozukluğu ya da defekt sayısı, serbest datum parametrelerinin sayısına eşittir. Bilinmeyen sayısı u, rank bozukluğu d ile gösterildiğinde normal denklem katsayılar matrisinin rangı $r = u - d$ olur. Normal denklem katsayılar matrisinin tekil olması, açık çözüm için gerekli ölçü sayısından daha çok bilinmeyen öngörülmesinden kaynaklanır (Demirel, 2001).

5.2.2 Tüm İz Minimum Çözümü

Tüm iz minimum çözümü, ağın tüm noktalarının datum tanımına katkıda bulunmasını öngören bir serbest dengelemedir. Buna göre, koordinat bilinmeyenleri vektörünün normu ve bunların kofaktörler matrisinin izi minimum olur.

Bu çözümün doğrusallaştırılmış fonksiyonel modeli, düzeltme denklemleriyle koordinat bilinmeyenleri arasındaki koşul denklemlerinden oluşur (Demirel, 2001).

$$v = A x_g - l \text{ (Düzeltilme Denklemleri)} \quad (5.11)$$

$$G^T x_g = 0 \text{ (Koşul Denklemleri)} \quad (5.12)$$

$x_g \rightarrow$ Koordinat bilinmeyenleri vektörü, ağın tüm noktalarını içerir.

$G \rightarrow$ Ağın datumunu tanımlar. Tüm noktalar datum tanımına katılır.

Koşul denklemleri sayısı, datum parametrelerinin sayısına eşittir.

Nivelman ağırları için normlandırılmış G^T matrisi;

$$G^T = \frac{1}{\sqrt{p}} [1 \ 1 \ 1 \dots 1] \quad \text{şeklindedir.} \quad (5.13)$$

Bilinmeyenlerin kareleri toplamının minimum olması koşulunu sağlayan tek anlamlı çözüm, normal denklem katsayılar matrisi N^+ in tersi ise;

$$N^+ = (N + GG^T)^{-1} - G(G^T GG^T G)^{-1} G^T \quad (5.14)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Normal denklem katsayılar matrisinin Pseudo tersini alma işlemi için diğer bir çözüm

$N^+ = S D^{-1} S^T$, dir. N matrisinin sıfırdan farklı öz değerlerinden oluşan köşegen matris D ve buna karşılık gelen normlandırılmış öz değerler matrisi S ile işlem yapılır. Buna göre;

$$Q_g = N^+ \quad (5.15)$$

yazılabilir. Küçültülmüş bilinmeyenler,

$$x_g = N^+ n = Q_g n \quad (5.16)$$

şeklinde hesaplanır (Gülal,1992).

5.2.3 Kısmi İz Minimum Çözümü

Bu çözüm, ağıın tüm noktalarını içeren küçültülmüş koordinat bilinmeyenleri vektörünün bir bölümünün normunun ve ağırlık katsayıları matrisinin buna karşılık alt matrisinin izinin en küçük olmasını, yani ağıın noktalarından yalnızca bir bölümünün datum tanımına katılmasını öngören serbest dengelemedir. En uygun konumlandırma, ağıın yalnızca datum tanımına sokulan noktalar bölümünde gerçekleştirilmektedir (Demirel, 2001).

Kısmi iz minimum çözümünün fonksiyonel modeli oluşturulurken, tüm iz minimum yönteminin fonksiyonel modelindeki G yerine, G matrisinden datum tanımına katılmayan noktalara karşılık tüm elemanlar için “0” yazılarak elde edilen bir B matrisi geçmektedir. Bu durumda fonksiyonel model;

$$v = A x_i - l \quad (\text{Düzeltilme denklemleri}) \quad (5.17)$$

$$B_i^T x_i = 0 \quad (\text{Koşul denklemleri}) \quad (5.18)$$

biçimindedir.

Koordinat bilinmeyenlerinin Q_i ağırlık katsayıları matrisi N normal denklem katsayıları matrisinin genel inversidir. Küçültülmüş bilinmeyenler;

$$Q_i = N^{-1} \quad (5.19)$$

$$x_i = Q_i n \quad (5.20)$$

$$Q_i = (N + B_i B_i^T)^{-1} - G(G^T B_i B_i^T G)^{-1} G^T \quad (5.21)$$

şeklinde elde edilir.

5.2.4 Klasik Dengeleme

Datum tanımı için defekt sayısı kadar koordinat bilinmeyeninin seçildiği kısmi iz minimum çözümüdür. E matrisinin köşegeni üzerinde datum noktalarına karşılık 1, diğerleri için 0 değeri yazılır. x küçültülmüş bilinmeyenleri vektörü içinde datum noktaları ilk sırada x_1 'i, diğerleri x_2 'yi oluştursun. Çözüm sonucu $x_1=0$ ve Q_i matrisinin x_1 alt vektörüne karşılık satır ve sütun elemanları 0 çıkar. Buna göre;

$$Q_i = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & Q_{x_2 x_2} \end{bmatrix}, x_2 = Q_{x_2 x_2} n_2 \text{ olur.} \quad (5.22)$$

A matrisinin x_2 bilinmeyenlerine karşılık bölümü A_2 ile gösterilirse, ağırlık katsayılar matrisi ve sabit terimler;

$$Q_{x_2 x_2} = (A_2^T P A_2)^{-1}, n_2 = A_2^T P l \quad (5.23)$$

olur. Küçültülmüş koordinat bilinmeyenleri;

$$x_2 = Q_{x_2 x_2} n_2 \quad (5.24)$$

şeklinde hesaplanır (Gülal, 1992).

5.2.5 S – Dönüşümü

Yeni bir dengeleme yapmaksızın, tüm serbest ağ dengelemelerinin sonuçları arasında bir S matrisiyle yapılan dönüşümlere S - dönüşümü adı verilir. Bu dönüşüm deformasyon analizinde büyük kolaylık sağlar.

Zorlamasız klasik dengeleme sonuçları, S_g ve S_i matrisleriyle tüm iz minimum ve kısmi iz minimum sonuçlarına dönüştürülebilir. Bu matrisler,

$$S_g = E - G(G^T G)^{-1} G^T \quad (5.25)$$

$$S_i = E - G(B_i^T G)^{-1} B_i^T \quad (5.26)$$

şeklindedir. Bu eşitliklerde E matrisi birim matristir.

Örneğin, zorlamasız klasik dengeleme sonuçları x_k ve Q_k ise tüm iz minimum sonuçları,

$$x_g = S_g x_k \quad (5.27)$$

$$Q_g = S_g Q_k S_g^T \quad (5.28)$$

ve kısmi iz minimum sonuçları,

$$x_i = S_i x_k \quad (5.29)$$

$$Q_i = S_i Q_k S_i^T \quad (5.30)$$

eşitlikleriyle elde edilir (Aydın, 2001).

5.3 Nivelman Ağlarında Duyarlık ve Güven Ölçütleri

Duyarlık ölçütleriyle oluşturulan nivelman ağlarının amaçları için yeterli olup olmadığı denetlenir. Duyarlık ölçütleri, seçilen uygun bir dengeleme modeli ile yapılan hesaplama sonucu elde edilen büyüklüklerdir. Dengeleme modelinin geçerli olup olmadığı ya da ölçülerin değerlendirilmesi aşamasında model hataları oluşup oluşmadığı da güven ölçütleri ile denetlenir (Yalçınkaya, 1996).

5.3.1 Nivelman Ağlarında Duyarlık Ölçütleri

Geçerli bir dengeleme modeli kullanılarak elde edilebilen duyarlık ölçütleri, ağıın kalitesini denetleyen ölçütlerdir.

Dengelemenin matematik modeli, fonksiyonel model ile stokastik modelden oluşmaktadır.

Nivelman ağlarında matematik model;

$$\Delta h_{ij} + v_{ij} = H_j - H_i \quad (5.31)$$

şeklinde kurulur.

Burada ;

H_i, H_j : i ve j noktalarının yükseklikleri,

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

v_{ij} : Ölçüye eklenecek düzeltmedir.

Dengelemenin fonksiyonel modeli ve stokastik modeli aşağıdaki şekilde oluşturulur.

$$I + v = A x \quad (5.32)$$

$$K_{II} = s_0^2 Q_{II} \quad (5.33)$$

Model en küçük kareler ilkesine göre $v^T P v = \min$ koşulunu sağlayacak biçimde çözümlerse;

$$x = (A^T P A)^{-1} A^T P I \quad (5.34)$$

$$Q_{xx} = (A^T P A)^{-1} \quad (5.35)$$

$$Q_{vv} = P^{-1} - A Q_{xx} A^T \quad (5.36)$$

$$v = -Q_{vv} P I \text{ olmak üzere birim ölçünün varyansı; } \quad (5.37)$$

$$m_0^2 = \frac{v^T P v}{n - u} \text{ şeklinde bulunur. } \quad (5.38)$$

5.3.1.1 Model Hipotezinin Testi

Birim ölçünün ortalama hatası s_0 , bu büyüklüğün dengelemeden sonra elde edilen soncul değeri m_0 ile gösterilirse;

$$H_0 = E \{ s_0^2 \} = E \{ m_0^2 \} = \sigma_0^2 \text{ Sıfır Hipotezi} \quad (5.39)$$

biçiminde kurulur.

Gerek öncül değer s_0 ve gerekse soncul değer m_0 aynı bir kuramsal standart sapma σ_0 'ın uygulamada elde değerleri olduklarından, umut değeri koruyan büyüklüklerdir (Öztürk ve Şerbetçi, 1995).

Test büyüklüğü T hesaplanır.

$$T = \frac{m_0^2}{s_0^2} \quad (5.40)$$

$T < F_{(f, f_0, 1-\alpha/2)}$ ise dengeleme modeli geçerlidir. Fonksiyonel model ve stokastik model yeterlidir. $T > F$ ise dengeleme modeli geçersizdir. Kaba hatalı ölçü ya da ölçüler bulunabilir. Ağırlıkların doğru tahmin edilip edilmedikleri kontrol edilmelidir. Aletlerin ayar hataları denetlenmelidir. Fonksiyonel modelin yeterliliği incelenmelidir.

5.3.1.2 Genişletilmiş Modelin Testi

Gözlemlerde sistematik ölçü hataları varsa, dengelemenin stokastik modelinde hata yapıldığı sonucuna varılır. 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 (5.41)'deki gibi olur (Yalçınkaya, 1996)

$$\Delta h_{ij} + v_{ij} = H_j - H_i + \Sigma(r^2 \Delta Z) \quad (5.41)$$

Bu eşitlikte r mira uzaklığını, ΔZ her alet kurmada belirlenen yükseklik farkını gösterir. Başka bir bozucu etki, jeomağnetik etki olabilir. Bu durumda fonksiyonel model,

$$\Delta h_{ij} + v_{ij} = H_j - H_i + \phi_{ij} a_1 \quad (5.42)$$

a_1 : jeomağnetik etki

ϕ_{ij} : i ve j noktaları arasındaki enlem farkları olmak üzere oluşturulur.

Yukarıdaki gibi bozucu parametreler eklenerek genişletilmiş fonksiyonel model elde edilir (Yalçınkaya, 1996).

Bu durum aşağıdaki gibi genelleştirilebilir.

$$v + l + \Delta l = Ax + A_2 y \rightarrow \text{Genişletilmiş fonksiyonel model} \quad (5.43)$$

Δl : Sistematik ölçü hataları vektörü

Y : Bozucu parametreler

A_y : Bozucu parametrelerin katsayılar matrisi

$$K_{yy} = s_0^2 Q_{yy} \rightarrow \text{Bozucu parametrelerin varyans-kovaryans matrisi} \quad (5.44)$$

Q_{yy} : Bozucu parametrelerin ters ağırlık matrisi

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 (Yalçınkaya, 1996).

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

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & 0 \\ 0 & K_{yy} \end{bmatrix} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} P & 0 \\ 0 & P \end{bmatrix}^{-1} \quad (5.45)$$

Genişletilmiş model en küçük kareler yöntemine göre çözülerek,

$$x = Q_{xx} n_x + Q_{xy} n_y \quad (5.46)$$

$$y = Q_{yx} n_x + Q_{yy} n_y \quad (5.47)$$

elde edilir. Buradan düzeltmeler ve birim ölçünün ortalama hatası,

$$v = Ax + A_y y - 1 \quad (5.48)$$

$$m_g^2 = \frac{v^T P v}{n - u} \quad (5.49)$$

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 (l) 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 (Yalçınkaya, 1996).

$H_0: y = 0$ Sıfır Hipotezi

$H_s: y \neq 0$ Seçenek Hipotezi

Sıfır hipotezi geçerli ise; test büyüklüğü,

$$T_g = \frac{y^T Q_{yy}^{-1} y}{u_g m_g^2} \text{ olur.} \quad (5.50)$$

Payın serbestlik derecesi bozucu parametre sayısı olan u_g , paydanın serbestlik derecesi f olan Fisher dağılımındadır.

$T_g > F_{(u_g, f, 1-\alpha)}$ ise sıfır hipotezi geçersiz sayılır. Fonksiyonel modelin genişletilmesi anlamlıdır yorumu yapılır.

$T_g < F_{(u_g, f, 1-\alpha)}$ ise sıfır hipotezi geçersiz sayılamaz. Fonksiyonel modelin genişletilmesi anlamlı değildir yorumu yapılır.

5.3.1.3 Dengeli Yükseklik Farklarının Bağlı Hataları

Dengeli yükseklik farklarının bağlı hataları, bir duyarlık ölçütüdür. Bu değerler, dengeli yüksekliklerden hesaplanan yükseklik farklarının ortalama hatalarının dengeli yüksekliklerin farklarına bölünmeleriyle hesaplanabilir (Yalçınkaya, 1996).

Dengeleme hesabı sonucunda bulunan dengeli yüksekliklerden hesaplanan yükseklik farkları;

$$\Delta h_{ij} = H_j - H_i \quad (5.51)$$

dengeli yüksekliklerin ters ağırlık matrisi ve birim ölçünün ortalama hatası,

$$Q_{hh} = (A^T P A)^{-1} \quad (5.52)$$

$$m_0^2 = \frac{v^T P v}{n - u} \quad (5.53)$$

hesaplanır. Dengeli yüksekliklerin farklarının ortalama hatası,

$$m_{ij} = m_0 \sqrt{q_{ii} - 2q_{ij} + q_{jj}} \quad (5.54)$$

eşitliği ile bulunur. Bu bağıntıda; q_{ii} , q_{ij} , q_{jj} dengeli yüksekliklerin ters ağırlık matrisindeki ilgili değerlerdir. Böylece dengeli yükseklik farklarının bağlı hataları m_{Bij} , dengeli yükseklik farklarının ortalama hatalarının (m_{ij}), dengeli yükseklik farklarına (Δh_{ij}) bölünmesiyle hesaplanır.

$$m_{Bij} = \frac{m_{ij}}{\Delta h_{ij}} \quad (5.55)$$

m_{Bij} değerleri; dengeli yükseklik farklarının duyarlılıkları (komşuluk duyarlılıkları) hakkında bilgi veren, ağın datumundan bağımsız (invariant) ölçütlerdir (Yalçınkaya, 1996).

5.3.2 Nivelman Ağlarında Güven Ölçütleri

Jeodezik ağlarda güven, ağın 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 (Gülal, 1992).

5.3.2.1 İç Güven Ölçütü

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

l_i ölçüsünde yapılan Δl_i kaba hatasının geçerli bir model ile yapılan dengeleme sonucunda bulunan düzeltmelere etkisi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir. Geçerli bir dengeleme işleminde matematik model;

$$l + v = A x \quad (5.56)$$

$$v = -Q_{vv} P l \quad (5.57)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

Geçersiz bir dengeleme modelinde genişletilmiş fonksiyonel model,

$$l + v = l' - \Delta l + v = A x \quad \text{şeklinde olur.} \quad (5.58)$$

Düzeltilmeler;

$$v = v + \Delta v \quad (5.59)$$

$$\Delta v = -Q_{vv} P \Delta l \quad \text{şeklindedir.} \quad (5.60)$$

Herhangi bir hatanın, o ölçünün düzeltilmesine olan etkisi, hatanın v_i düzeltilmesine olan etkisi;

$$\Delta v_i = -(Q_{vv} P)_{ii} \Delta l_i = -r_i \Delta l_i \quad (5.61)$$

bağıntısından hesaplanır.

Fazla ölçü sayısı (redundanz);

$\text{İz}(Q_{vv} P) = \sum r = r = n - u$ olduğu düşünülürse, serbestlik ölçütü r_i , fazla ölçü sayısı r içinde i . ölçünün payı anlamına gelir. r_i büyüklüğü, ağıın geometrisini tanımlar ve ölçüdeki sistematik ya da kaba hataların v_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 (Yalçınkaya, 1996).

İyi bir ağda, aşağıda verilen değerler sağlanmalıdır (Demirel, 2001).

Redundanz Payları : $r_i > 0.3 - 0.5$

Hata Sınır Değerleri : $\Delta l_i = (6 - 8) m_{l_i}$

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. l_i ölçüsünde yapılan Δl_i kadar bir hatanın test büyüklüğüne etkisi;

$$\Delta W_i = \frac{\Delta v_i}{\sigma \sqrt{q_{v_i v_i}}} = \sqrt{r_i} \frac{\Delta l_i}{\sigma_{l_i}} \quad (5.62)$$

eşitliği ile hesaplanır. $\sigma_{l_i} = \sigma / \sqrt{P_i}$, l_i ölçüsünün ortalama hatasıdır. Bir Δl_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,

$$\Delta_{0i} = \sigma_{l_i} \sqrt{\frac{W_0}{r_i}} \quad (5.63)$$

hesaplanır. İyi kontrol edilebilir bir ağda iç güven ölçütleri birbirine yakın ve küçük sayısal değerler olmalıdır. 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 (Yalçınkaya, 1996).

5.3.2.2 Dış Güven Ölçütü

Ağın dış güvenilirliği, ortaya çıkartılamayan model hatalarının dengeleme sonuçlarına etkileriyle açıklanır. Herhangi bir l_i ölçüsünde yapılan Δ_{0i} hatasının dengeleme sonuçlarına etkisi önemsiz ise dış güvenilirlik sağlanmış olur (Gülal, 1992).

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 (5.63) eşitliği göz önünde bulundurulursa,

$$\Delta_{xi} = Q_{xx} A^T P \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta_{0i} \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.64)$$

elde edilir. Bu eşitlikten herhangi bir l_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,

$$\delta_{0i}^2 = \Delta_{0xi}^T K_{xx}^{-1} \Delta_{0xi} = \frac{1}{m_0^2} \Delta x^T Q_{xx}^{-1} \Delta x \quad (5.65)$$

buradan dış güven ölçütü,

$$\delta_{0i}^2 = m_0^2 \frac{W_0}{p_i r_i} = \frac{1 - r_i}{r_i} W_0 \quad (5.66)$$

şeklinde elde edilir. Bilinmeyenlerin herhangi bir fonksiyonu $\varphi = \Phi(x)$ maksimum hatası $\Delta_0 \varphi$ ile gösterilirse,

$$\delta_{0i}^2 \geq \frac{\Delta_0 \varphi}{m \varphi} \quad (5.67)$$

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 (Yalçinkaya, 1996).

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 (Gülal, 1992).

6. JEODEZİK DEFORMASYON ÖLÇÜLERİNİN ANALİZİ

6.1 Deformasyon Analizinde Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri

Uygulamada kullanılan pek çok analiz yöntemi mevcuttur. Bu bölümde, uygulamalarda en sık tercih edilen birkaç yöntem hakkında kısaca bilgi verilmiş ve bu çalışmada kullanılan “Hannover Yaklaşımı (Ortalama Aykırılık Yöntemi - θ^2 Yöntemi) ile Deformasyon Analizi” açıklanmıştır.

6.1.1 Analitik Yöntem İle Deformasyon Analizi

Analitik yöntemle, önce ağın ölçü periyotları arasında geçen zaman içinde konumu (veya yüksekliği) değişmeyen noktalar aranır. İlk olarak, farklı periyotlardan bulunan sonuçlar bir transformasyonla benzerlik dönüşümüne tabi tutulur. Daha sonra, bir ön test işlemi ile iki veya daha fazla stabil nokta belirlenir. Bundan sonra ağın iki periyodu birlikte dengelenerek sabit noktalar dışındaki noktalarda yeniden test işlemi uygulanır ve

$$Td_j = \frac{d_j^T Q_{d_j}^{-1} d_j}{2m_0^2} \quad (6.1)$$

eşitliğinden test büyüklüğü hesaplanır. Burada m_0^2 , birim ağırlıklı ölçünün örneklem varyansdır (Alkan ve Kalkan, 2005).

Testin karşılaştırma kriteri, $1-\alpha$ istatistik güven $2, f = n - u + r$ serbestlik dereceleri ile F-Fisher dağılım çizelgesinden alınır. Bu değer Td_j 'den büyük olması durumunda sıfır hipotezi geçerlidir. Yani P_j noktasında $t_{i+1} - t_i$ zaman aralığında, α yanılma olasılığı ile konum değişikliği yoktur. Ters durumda ise, P_j noktasında bir deformasyon oluştuğuna karar verilir. Bu test işlemi tüm obje noktaları için tek tek uygulanır. Elde edilen sonuçlara göre noktalarda anlamlı konum değişikliklerinin olup olmadığı istatistiksel olarak denetlenir (Akdoğan, 1999).

6.1.2 Bağlı Güven Elipsleri Yöntemi (Karlsruhe Yaklaşımı) İle Deformasyon Analizi

Bu yöntemle deformasyon analizinde her bir nokta için bağlı 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 (Alkan ve Kalkan, 2005).

Jeodezik yöntemlerle deformasyon ölçülerinin analizi inceleme konusu olan objeyi temsil eden noktaların iki ya da daha fazla sayıdaki koordinat kümesinin karşılaştırılmasına dayanmaktadır.

Büyük mühendislik yapılarının yatay konum değişimlerini izlemek amacıyla oluşturulan yerel kontrol ağlarının geometrik analizi şeklinde geliştirilen Karlsruhe yaklaşımı, farklı ölçme dönemlerinden elde edilen koordinatların farklarından bulunan yer değiştirme vektörlerinin ilgili noktalara ilişkin bağıl güven alanlarının dışında kalmaları durumunu anlamlı yer değiştirme yani deformasyon varsayan görsel yoruma dayanmaktadır (Hoşbaş, 1992).

6.1.2.1 Matematiksel Modelin Kurulması

Her ölçü dönemine ait ölçüler ilk olarak serbest ağ yöntemine göre dengelenir. Bunun için matematiksel model;

$$l_1 + v_1 = A_1 x_1 \quad (6.2)$$

$$K_{lil_i} = \sigma_0^2 Q_{lil_i} \quad (6.3)$$

$$\text{cov}(l_i, l_j) = 0 \quad i \neq j \quad (6.4)$$

şeklinde tanımlanır. Burada t_i ve t_j ölçme dönemleri i ve j indisleriyle tanımlanır.

$$\Omega = \sum \Omega_i \quad (6.5)$$

$$f = \sum f_i \quad (6.6)$$

Ölçme dönemlerine ait Ω_1 karesel formlarından ve f_1 serbestlik derecelerinden tüm düzeltmelerin ağırlıklı toplamı Ω ve toplam serbestlik derecesi f bulunur (Hoşbaş, 1992).

6.1.2.2 Referans Noktalarının Belirlenmesi

Referans noktalarının belirlenmesinde ağ bölümlerinin uygunluğunu kontrol etmek için tüm ölçme dönemlerine ait ölçüler birlikte dengelenir. İki dönemin birlikte değerlendirilmesi durumunda fonksiyonel model;

$$\begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{R1} & A_{01} & 0 \\ A_{R2} & 0 & A_{02} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_R \\ x_{01} \\ x_{02} \end{bmatrix} \quad (6.7)$$

Olarak tanımlanır. Burada;

x_R = Referans noktaları koordinat bilinmeyenleri vektörü

x_{01} = Obje noktaları koordinat bilinmeyenleri vektörü (t_1 ölçme dönemi için)

x_{02} = Obje noktaları koordinat bilinmeyenleri vektörü (t_2 ölçme dönemi için)

Nivelman ağlarında h koşullarının sayısı;

$h = 1$ (referans noktaları sayısı) – d

T test büyüklüğü, α yanılma olasılığı için $F_{\{h,f,\alpha\}}$ test büyüklüğü değerinden küçükse ağın bütün referans noktalarının hareketsiz olduğu sonucuna varılır. Aksi takdirde referans noktalarındaki hareketli noktaların adım adım araştırılması gerekmektedir. Bunun için her adımda bir nokta değişken olarak alınır.

Fonksiyonel modelin yeni şekli;

$$\begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{R1} & A_{Rli} & 0 & A_{01} & 0 \\ A_{R2} & 0 & A_{R2i} & 0 & A_{02} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_R \\ x_{Rli} \\ x_{R2i} \\ x_{01} \\ x_{02} \end{bmatrix} \quad (6.8)$$

olarak tanımlanır. Referans noktaları kümesinden çıkarılması durumunda en küçük Ω_H , yani R değerini veren noktanın hareketli olduğuna karar verilir. Test büyüklüğü;

$$T(i) = [R(i)_{\min} / (h-1)] (f/\Omega) \quad (6.9)$$

olur. Bu referans noktası sonraki adımda obje noktası gibi değerlendirilir. Eğer $T(i)$ değeri hala $F_{\{h-1,f,\alpha\}}$ değerinden büyükse kalan referans noktaları arasında işlem tekrar edilir. Böylece deformasyon belirlenmesine dayanak olacak hareketsiz referans noktaları belirlenmiş olur (Heck, 1983).

6.1.2.3 Deformasyonların Yerelleştirilmesi

Bu aşamada, kontrol ağının hareketsiz bölümünden faydalanılarak tek nokta hareketleri araştırılır. İki ölçme döneminin birlikte dengelenmesinde bilinmeyenler vektörü (6.7) modeline göre;

$$x^T = [x_R x_{01} x_{02}] \quad (6.10)$$

şeklindedir. $Bx=w$ koşul denklemlerinde geçen B matrisi ve w vektörü;

$$B = [0_R \quad 0 \dots -I \dots 0 \dots I \dots 0], w=0 \quad (6.11)$$

şeklinde alınarak sıfır ve seçenek hipotezleri;

$$H_0 : x_{02} - x_{01} = 0 \quad (6.12)$$

$$H_a : x_{02} - x_{01} = d \neq 0 \quad (6.13)$$

Olarak öngörülür. Her obje noktası için di fark vektörü;

$$D_i = B d \quad (6.14)$$

$$d_i = [dh]_i = [h_{02} - h_{01}]_i \quad (6.15)$$

şeklinde yazılır. Ağırlık katsayıları matrisi;

$$Q_{hh} = \begin{bmatrix} Q_{RR} & Q_{R01} & Q_{R02} \\ Q_{01R} & Q_{0101} & Q_{0102} \\ Q_{02R} & Q_{0201} & Q_{0202} \end{bmatrix} \quad (6.16)$$

biçiminde alt matrislerden oluşur. Her obje noktası için fark vektörünün ağırlık katsayıları alt matrisi;

$$Q_{di} = BQ_{xx}B^T \quad (6.17)$$

$$Q_{di} = [Q_{hhd}]_i \quad (6.18)$$

$$Q_{hhd} = Q_{h1} + Q_{h2} - 2Q_{h12} \quad (6.19)$$

şeklinde olur. Her noktası için H_a seçenек hipotezince olanak tanınan d_i fark vektörünün deformasyon olup olmadığına kanaat getirebilmek için T test büyüklüğü;

$$T = \frac{d_i^T Q_{di}^{-1} d_i}{m_0^2} \quad (6.20)$$

Şeklinde oluşturulur. Test büyüklüğü; $f_1=2$ ve $f_2=f$ serbestlik dereceleri ve α yanılma olasılığı ile F dağılımının buna ait sınır değerinden büyükse, o obje noktasının t_1 ve t_2 ölçme dönemleri arasında hareketli olduğu kanısına varılır. Deformasyon vektörünün büyüklüğü ve yönü;

$$d_i = dh_i \quad (6.21)$$

bağıntılarından bulunur (Hoşbaş, 1992).

Eğer T test büyüklüğü F sınır değerinden küçükse, d_i fark vektörünün α yanılma olasılığı ile istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, d_i fark vektörünün kaçınılmaz ölçü hatalarından kaynaklandığı yorumu yapılır.

6.1.2.4 Deformasyonların Grafik Yorumu

Deformasyonların grafik yorumu söz konusu olduğunda O_i obje noktasına ait d_i fark vektörünün varyans-kovaryans matrisinin tersi;

$$K_{di}^{-1} = \frac{1}{m_0^2} Q_{di}^{-1} \quad (6.22)$$

şeklindedir. Bu eşitlik test büyüklüğünde yerine konulur ve $T_i = F_{\{h-1, f, \alpha\}}$ alınır;

$$d_i^T K_{di}^{-1} d_i = 2F_{\{2, f, \alpha\}} \quad (6.23)$$

elde edilir. Bu eşitlik bir elips denklemdir ve dengeleme sonucunda bulunan O_{i1} ve O_{i2} nokta çiftine ait güven elipsini vermektedir. Dengeleme sonuçlarından d_i fark vektörü ve Q_{di} ağırlık katsayıları matrisi hesaplandıktan sonra aşağıdaki bağlantılarla Helmert bağlı hata elipsinin eksen uzunlukları belirlenir. Ancak yükseklik ağırları tek boyutlu olduğundan hata aralığı;

$$A_H = m_0 \sqrt{\lambda_A} \quad (6.24)$$

$$\lambda_A = 0.5 Q_{hhd} \quad (6.25)$$

eşitlikleriyle belirlenir. Bu uzunluklarda $\sqrt{2F_{\{2, f, \alpha\}}}$ ile büyütülerek seçilen α istatistiksel yanılma olasılığı ile O_i nokta çifti için güven aralığı bulunmuş olur. Eğer,

$$d_i > \sqrt{2F_{\{2, f, \alpha\}}} m_{di} \quad (6.26)$$

ise d_i vektörünün deformasyon olduğuna karar verilir (Benning, 1983).

Bu bağıntıda $\sqrt{2F_{\{2, f, \alpha\}}}$ ifadesi, f serbestlik derecesinin büyük değerlerde olması durumunda 3 değerine yaklaşmaktadır. Dolayısıyla bu durum, fark vektörünün standart sapmanın 3 katından büyük olması durumunda deformasyon olarak yorumlanacağı sonucuna götürmektedir. (6.26) eşitliği üzerinde ağ geometrisinin de etkili olacağı düşünüldüğünde, bağlı güven elipslerinde eksen uzunluklarının hesabına benzer şekilde;

$$d_i > \sqrt{2 F_{\{2, f, \alpha\}}} m_{di} \sqrt{\lambda_A} \quad (6.27)$$

bağıntısı yazılabilir.

Deformasyonların grafik yorumunda dengeleme sonuçlarına göre nokta çiftleri ölçekli biçimde çizildikten sonra, elemanları hesaplanmış bağlı güven aralıkları bu noktalardan biri üzerine yerleştirilir. Nokta çiftinin diğeri bu aralığın dışında kalıyorsa, $(t_2 - t_1)$ aralığında düşey yönde konum değişikliği vardır yorumu yapılır (Hoşbaş, 1992).

6.1.3 Ortalama Aykırılıklar Yöntemi (Hannover Yaklaşımı) İle Deformasyon Analizi

Hannover Yaklaşımı yerli ve yabancı yayınlarda; Teta-Kare Yöntemi, Pelzer Yöntemi, Ortalama Aykırılıklar Yardımıyla Deformasyon analizi ve Uygunluk (Eşdeğerlik) Testi gibi adlar altında sunulmaktadır.

Tünel çalışmalarında yapılan jeodezik deformasyon ölçmelerinde ölçmeler bütün güzergah boyunca komple yapılmamaktadır. Ölçmeler tünelin açıldığı bölgenin bir miktar önü ve sonunu kapsayacak şekilde gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla jeodezik deformasyon ölçmeleri açısından düzenli bir ağ yapısından söz etmek mümkün olmamaktadır. Hannover Yaklaşımında, karşılaştırılan ölçme dönemleri arasında aynı ağ yapısı ve ölçü planının uygulanması zorunlu değildir (Erkaya, 1987).

6.1.3.1 Matematiksel Modelin Oluşturulması

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. İki ölçme dönemi için dengeleme modeli,

$$\ell_1 + \nu_1 = A_1 \chi_1 \quad , \quad A_1^T P_1 A_1 \chi_1 - A_1^T P_1 \ell_1 = 0 \rightarrow N_1 \chi_1 - n_1 = 0 \quad , \quad \chi_1 = N_1^+ n_1 \quad (6.28)$$

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

$$m_{01}^2 = \frac{\nu_1^T P_1 \nu_1}{f_1} \quad , \quad f_1 = n_1 - u_1$$

$$\ell_2 + \nu_2 = A_2 \chi_2 \quad , \quad A_2^T P_2 A_2 \chi_2 - A_2^T P_2 \ell_2 = 0 \rightarrow N_2 \chi_2 - n_2 = 0 \quad , \quad \chi_2 = N_2^+ n_2 \quad (6.29)$$

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

$$m_{02}^2 = \frac{\nu_2^T P_2 \nu_2}{f_2} \quad , \quad f_2 = n_2 - u_2$$

yukarıdaki eşitliklerinde olduğu gibi kurulur. Bu eşitliklerde geçen G matrisi ağ noktalarının ağırlık merkezine indirgenmiş yaklaşık koordinatları ile kurulan matristir. Eğer iki ölçme dönemine ilişkin birim ağırlıklı ölçülerin standart sapmaları m_1 ve m_2 uyumlu ise bunların ağırlıklı ortalaması ise;

$$m_0^2 = \frac{f_1 s_1^2 + f_2 s_2^2}{f} \quad , \quad f = f_1 + f_2 \quad (6.30)$$

hesaplanır (Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

6.1.3.2 Test İstatistiğinin Oluşturulması

Ölçme dönemleri arasındaki hareketlerin ortaya çıkarılması $B\chi - w = 0$ (sıfır hipotezi) koşulu ile

$$H_0 : \begin{vmatrix} -E & E \\ \chi_1 & \chi_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (6.31)$$

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

$$d = \chi_2 - \chi_1 \quad (6.32)$$

olarak adlandırılan, fark vektörü oluşturulur. Bu vektörün tekil ağırlık katsayıları matrisi;

$$Q_{dd} = Q_{11} + Q_{22} \quad (6.33)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Sıfır hipotezi geçerli ise d fark vektörünün ölçü hatalarından kaynaklandığı söylenebilir. Q_{dd} 'nin genelleştirilmiş inversi olan ağırlık merkezi (6.28) ve (6.29) eşitliklerindeki N_1 ve N_2 'nin inversine benzer şekilde

$$P_{dd} = Q_{dd}^+ = (Q_{dd} + GG^T)^{-1} G (G^T G G^T G)^{-1} G^T \quad (6.34)$$

hesaplanır. $B\chi - w = 0$ formunun düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi

$$\Omega_H = \nu_H^T P \nu_H = \nu^T P \nu + R \quad (6.35)$$

olmak üzere

$$R = |\chi_2 - \chi_1|^T \begin{bmatrix} -E E \begin{vmatrix} A_1^T P_1 A_1 & 0 \\ 0 & A_2^T P_2 A_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} -E \\ E \end{vmatrix} \end{bmatrix} |\chi_2 - \chi_1| = d^T Q_{dd} d \quad (6.36)$$

olmaktadır. Burada önemli olan χ_1 ve χ_2 vektörlerinin aynı datumda olmasıdır. Eğer jeodezik datumun irdelenmesi söz konusu ise

$$\text{rang}\{Q_{11}\} = \text{rang}\{Q_{22}\} = \text{rang}\{Q_{11} + Q_{22}\} = \text{rang}\{Q_{dd}\} = h \quad (6.37)$$

olarak PELZER (1971) tarafından hesaplanan

$$\theta = \sqrt{\frac{R}{h}} \quad (6.38)$$

değeri ortalama aykırılık olarak adlandırılmıştır. Eğer eşdeğerlik testinin test büyüklüğü

$$T = \frac{Q^2}{s^2} = \frac{d^2 P_{dd} d}{s^2 h} \quad (6.39)$$

test büyüklüğü $F\{h, f, \alpha\}$ olasılık değerinden büyük ise ağın herhangi bir yerinde anlamlı nokta hareketi olduğu yargısına varılır.

6.1.3.3 Referans Noktalarının Belirlenmesi

Sıfır hipotezinin ret edilmesi durumunda hareketli noktaları belirleyebilmek için d fark vektörü ve onun P_{dd} ağırlık katsayılar matrisi S hareketsiz nokta grubunu, O hareketli nokta grubunu gösteren indisler olmak üzere

$$d = \begin{bmatrix} d_s \\ d_o \end{bmatrix}, \quad P_{dd} = \begin{bmatrix} P_{ss} & P_{so} \\ P_{os} & P_{oo} \end{bmatrix} \quad (6.40)$$

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

$$d_0 = d_o - P_{oo}^{-1} P_{os} d_s \quad (6.41a)$$

$$P_{ss} = P_{ss} - P_{so} P_{oo}^{-1} P_{os} \quad (6.41b)$$

kısa gösterimleri ile $B\chi - w = 0$ koşulunun düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi

$$R = d^T P_{dd} d = d_s^T P_{ss} d_s + d_0^T P_{oo} d_0 \quad (6.42)$$

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

$$R = (d_0^T P_{oo} d_0)_i \quad (6.43a)$$

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

$$R_{maks} = maks(R_i) \quad (6.43b)$$

Olan noktada α yanılma olasılığı ile hareketli olduğuna karar verilir.

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

$$S_i = E - G(B_i^T G)^{-1} B_i^T \quad (6.44)$$

$$d_1 = S_i d \quad (6.45a)$$

$$Q_{didi} = S_i Q_{dd} S_i^T \quad (6.45b)$$

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

$$d_i = \begin{bmatrix} d_D \\ d_N \end{bmatrix} = S_i \begin{bmatrix} d_S \\ d_O \end{bmatrix} = S_i d \quad (6.46)$$

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

$$R_{kalan} = d_D^T P_{DD} d_D \quad (6.47)$$

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

$$h_D = h - m \quad m : \text{Bir boyutlu ağırlarda bir, iki boyutlu ağırlarda ise ikidir.} \quad (6.48)$$

ile hesaplama test büyüklüğü

$$T_D = \frac{R_{kalan}}{s^2 h_D} \quad (6.49)$$

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 (6.47) eşitliğinde geçen d_D ve P_{DD}^i 'inci adımın büyüklükleridir.

Eğer jeodezik ađ referans ve obje noktaları gibi iki aşamalı yapıya sahip ise yukarıda açıklanan irdellemeler önce referans noktaları kümesi üzerinde gerçekleştirildikten sonra obje noktalarında deformasyon araştırmasına geçilir (Hoşbaş, Demirkaya ve Erkaya, 2005).

7. TAKSİM-KABATAŞ FÜNİKÜLER SİSTEMİNDE DEFORMASYON ÖLÇMELERİ

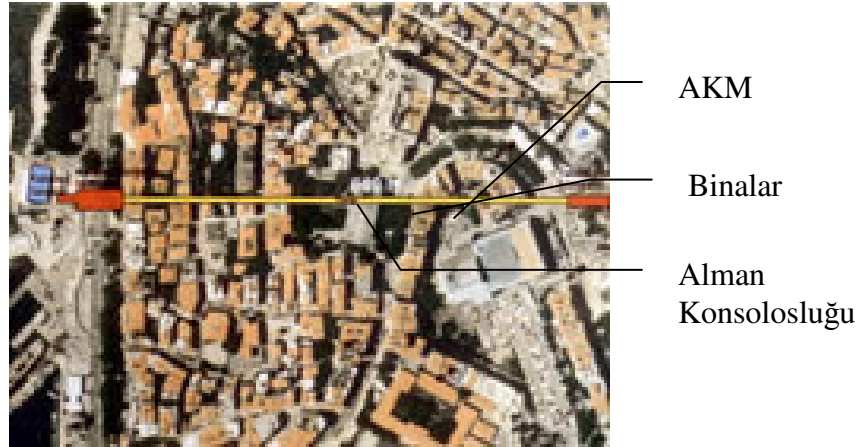
7.1 Füniküler Sisteminin Tanımı

'Füniküler' sözcüğü, Fransızca 'funiculaire'den gelmektedir. Engebeli arazilerde kablo yardımıyla çekilen raylı sistemler için kullanılır. Çekme ve germe halatlarıyla birbirine bağlanan iki trenle çalışmaktadır. Alt istasyonda germe halatı bulunurken, elektrikli motorla çalışan bir makarayla çekme halatı vagonları çeker. Böylece araçlar, hat boyunca belirlenen sınırlar içinde hareket eder. Füniküler sistemin istasyonlarında tek hat, trenlerin geçiş yapacağı orta noktasında iki hat bulunur.

Türkiye bu sistemle 1875 yılında Sultan Abdülaziz'in Karaköy-Tepebaşı arasında yaptırdığı 'Tünel' ile tanışmıştı. Bu 601 metrelik yeraltı hattı, 1860'ta Londra'da yapılan ilk metronun ardından Avrupa'nın ikinci, dünyanın üçüncü metrosu olmuştu.

7.2 Taksim-Kabataş Füniküler Sisteminin Tanıtımı

İstanbul'da deniz taşımacılığının günlük yolculuklar arasındaki payının artırılması ve yüksek kapasiteli raylı toplu taşıma sistemlerinin, deniz taşımacılığı ile bütünleştirilerek verimli bir toplu taşıma sisteminin sunulabilmesi için uygulanan örnek projelerden biri olan Taksim-Kabataş Füniküler Sistemi, İstanbul'un iki yakası arasındaki yolculukların metro ile bağlantısı sağlayacaktır.



Şekil 7.1 Taksim-Kabataş funiküler sistem güzergahı (www.yapi.com.tr)

Kabataş deniz trafiğinin metroya bağlantısının sağlanmasıyla İstanbul'un iki yakası arasındaki yolculukların daha rahat ve seri biçimde gerçekleşmesi için Kabataş vapur iskelesi ile deniz otobüsü terminali geliştirilmiş ve ulaşım hizmetleri genişletilmiş olacaktır. Taksim-Kabataş

hattında inşa edilen sistem, bütün Anadolu Yakası ile Avrupa Yakası' ndaki Beşiktaş, Karaköy, Eminönü iskeleleri ve çevresinin trafik yükünü azaltacak, İETT otobüsleri – şehir hatlarıyla deniz bağlantısı – İBB deniz otobüsleri – metro (Taksim) ve (Eminönü – Kabataş) cadde tramvayının da işletmeye alınmasıyla Kabataş'ın önemli bir aktarma merkezi olması amaçlanmıştır.

Bu sistemle Kabataş- Taksim arası 2 dakikaya inmiştir. Yaklaşık 600 metre uzunluğundaki hattın taşıma araçları, tek yönde saatte 7 bin 500 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir ve ortalama 3 dakikada bir hareket eden sistemle bir seferde 375 yolcu taşınabilmektedir. Tünelle deniz ulaşım araçlarının metro ile doğrudan bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Böylece İstanbul'un iki yakası arasındaki yolculukların metro ile bağlantısının sağlanmasında önemli bir adım atılmıştır.

Çalışmalar **Dopplemayr Tramways Ltd. ve Yapı Merkezi İnşaat ve Sanayi AŞ** tarafından yapılmıştır. Yeraltı istasyonlarında haberleşme sistemi, yürüyen merdivenler, engelli asansörleri bulunmaktadır.

Sistem, bir çekme ve bir de germe halatı ile birbirine bağlanan iki araçla çalışmaktadır. Çekme halatı, elektrikli motorlarla çalışan bir makara tarafından çekilmektedir ve germe halat sistemi ise alt istasyonda yer almaktadır.

Böylece araçlar, hat boyunca belirlenen sınırlar içinde hareket etmektedir. Füniküler sistemde, hat ortasında paralel iki ray bulunmaktadır. Araçlar hat ortasında yan yana geçip belirli bir mesafe kat ettikten sonra bu iki hat tek bir hatta birleşerek istasyonlara ulaşmaktadır.



Şekil 7.2 Taksim-Kabataş funiküler sistem yapımı (www.wowturkey.com)

7.3 Füniküler Hattın Teknik Özellikleri

Projede kullanılan jeodezik ağ GPS ile konumları belirlenen 4 adet nirengi noktasından oluşmuştur. Gerekli sayıda poligon noktaları da tesis edilip yine GPS ile konumları saptanmıştır. Bu kadar kısa ve binaların yoğun olduğu mesafede nokta tesisinde GPS' in tercih edilmesinin nedeni başka bir alternatifin olmamasıdır. Proje alanındaki nirengilerin 2'si Taksim' de 2'si de Kabataş'ta tesis edilmiştir. Taksim'de de sabit nokta tesis etmenin sebebi oradaki mevcut istasyona bağlanılmasının zorunlu oluşudur. Ölçümler yapıldıktan sonra ölçüm ağına ilişkin noktaların x,y,z koordinatları hesaplanmıştır. Bu projede de tünel giriş yapısı şafttır.

Dışarıda oluşturulan ölçüm ağını, şaft ile tünel içine taşımak amacıyla şaftın orta noktasına gelecek şekilde lazer nivo kullanılarak bir tane nokta tesis edilmiştir. Şaftın ortasında tesis edilen noktadan tek bir doğrultuya bakılarak tünele doğru ilerlenmiştir. Tünel içinde açık poligon güzergah yöntemi kullanılmıştır. Poligonlar konsol poligon şeklinde iksa yüzeylerine tesis edilmiştir. Tünel içinde ölçüm aletleri olarak elektronik takeometreler ve hassas geometrik nivelman için Wild Nak2 otomatik nivosu kullanılmıştır. Şeki 7.3' de görülen Wild Nak2 hassas nivosu 0.3 mm hassasiyetinde, kompensatör ayar aralığı 0.3'', dürbün büyütmesi ise 32x' dir (<http://www.sistemas.com.tr/pagei.php?ID=26>).



Şekil 7.3 WILD NAK2 otomatik nivo (<http://cgi.ebay.es/Nivel-Automatico-Leica-Wild-NAK2>)
Aplikasyon işlemi yol aplikasyonu gibi yapılmış olup farklı bir aplikasyon yöntemi kullanılmamıştır. Kabataş tarafında, kıyının 35 metre içerisine kadar zeminin tahmin edilenden daha zayıf olması ve tünel güzergahındaki meskun mahaller yüzünden çok dikkatli çalışılmıştır. Bu gibi sebeplerden dolayı tünel açımında TBM yerine NATM yöntemi tercih edilmiştir.

7.3.1 Teknik Parametreler

Taksim – Kabataş föniküler hattına ilişkin teknik parametreler kapsamında; güzergah parametreleri Çizelge 7.1’de, işletme parametreleri Çizelge 7.2’de ve araç parametreleri ise Çizelge 7.3’ te verilmiştir.

Çizelge 7.1 Güzergah parametreleri (www.yapimerkezi.com.tr)

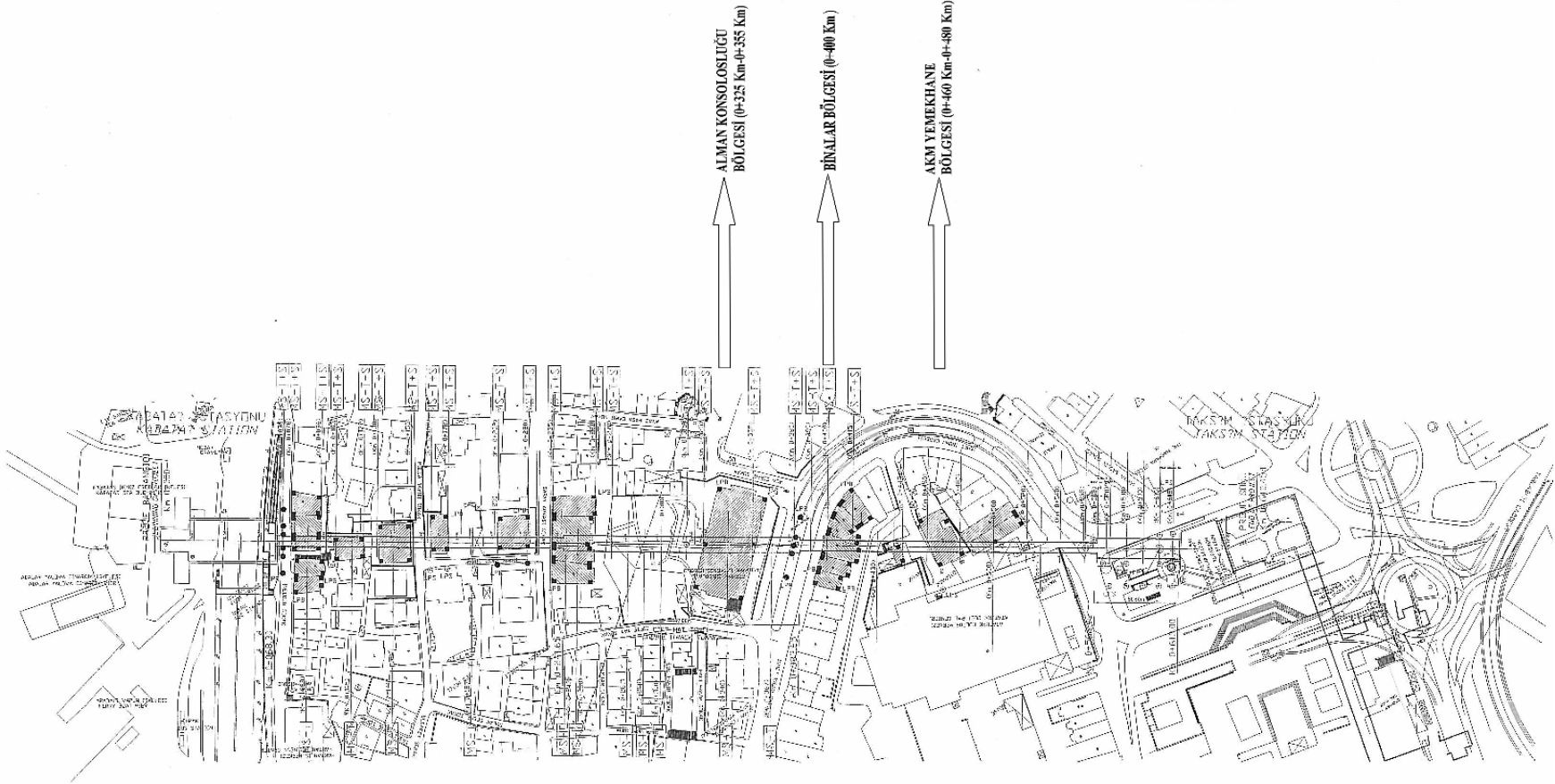
Kabataş İstasyonu Ray Kotu	-11.10 (m)
Taksim İstasyonu Ray Kotu	+63.85 (m)
Kot Farkı	74.95 (m)
Maksimum Eğim	22.19 (%)
İstasyonlardaki Eğim	5.00 (%)
Toplam Uzunluk	640.45 (m)
Toplam Derin Tünel Uzunluğu	545.57 (m)
Çift Hat Tünel Uzunluğu	200.00 (m)
Tek Hat Tünel Uzunluğu	294.57 (m)
Taksim İstasyon Tüneli Uzunluğu	51.00 (m)
Toplam Aç-Kapa Tünel Uzunluğu	97.84 (m)
Trenin Kat edeceği Yol Uzunluğu	558.49 (m)
Peron Boyu	40 (m)
Kabataş İstasyonu Toplam Alanı	3,228 (m ²)
Taksim İstasyonu Toplam Alanı	2,332 (m ²)

Çizelge 7.2 İşletme parametreleri

Sistem Kapasitesi	7500 (yolcu/saat/yön)
Maksimum Hız	10 (m/saniye)
Yolculuk Zamanı	110 (saniye)
İstasyonlarda Durma Süresi	70 (m/saniye)
Araç Sıklığı	180 (saniye)

Çizelge 7.3 Araç parametreleri

Araç Boyu	34.52 (m)
Araç Genişliği	2.90(m)
Araç Yüksekliği	3.50(m)
Araç Yolcu Kapasitesi	375 (48 oturan, 327 ayakta)
Araç Ağırlığı (boş)	40 (ton)



Şekil 7.4 Taksim-Kabataş funiküler hattı güzergahı ve çalışma bölgeler

7.4 Çalışma Bölgelerindeki Yükseklik Verilerinin Değerlendirilmesi

Taksim – Kabataş Füniküler hattında güzergah boyunca tünelin açılmasına paralel olarak deformasyon ölçmeleri de ardışık yapılmıştır. Buna bağlı olarak Yapı Merkezi tarafından değerlendirilmek üzere üç farklı bölgedeki nivelman ve konverjans ölçüleri elde edilmiştir (Şekil 7.4). Yüzeydeki düşey değişimlerin izlenmesi amacıyla yapılan hassas nivelman ölçmeleri gidiş-dönüş olarak yapılmamıştır. Bu nedenle gidiş-dönüş ortalamaları yerine yalnız ileri ve geri okumalardaki sağ ve sol mira okumalarının ortalaması alınarak yükseklik farkları belirlenmiştir. Dengelemede noktalar arasındaki nivelman yolu uzunluklarının kısa ve birbirlerine oldukça yakın olduğu dikkate alınarak stokastik modelin oluşturulmasında yükseklik farkları eşit ağırlıkta alınmıştır. Belirlenen yükseklik farklarıyla her üç çalışma bölgesindeki ölçme periyotları dolaylı ölçüler yöntemine göre serbest ağ olarak dengelenerek noktaların yükseklikleri belirlenmiştir.

7.4.1 AKM Bölgesi Dengeleme Sonucu Yükseklik Değerleri

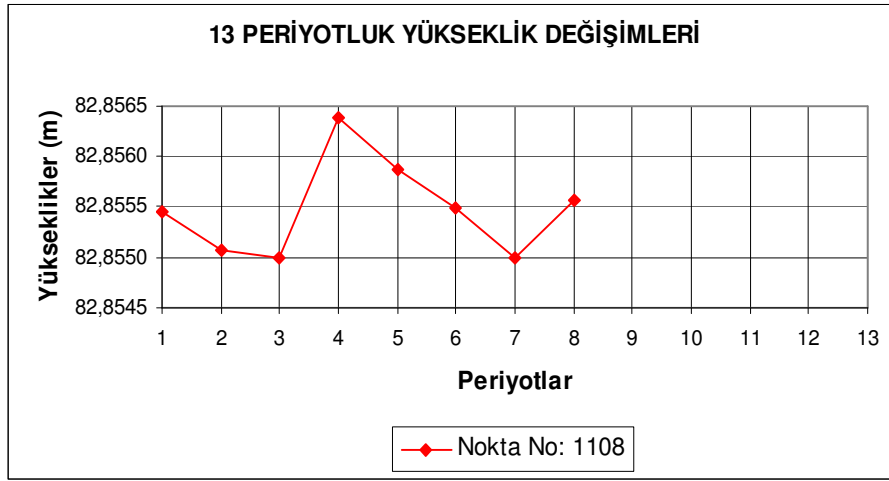
Uygulamanın birinci kısmını kapsayan ölçümlerde; funiküler hattın üzerinde olan kısmın yeryüzüne denk gelen AKM binasının bulunduğu alan olarak seçilmiştir. Bu binanın köşe noktaları obje noktaları olarak alınmıştır. Her ölçü periyodunda yapılan serbest ağ dengelenmesi sonucu bulunan nokta yükseklikleri Çizelge 7.4’ de görülmektedir. Bu bölgedeki 16 kontrol noktasındaki yükseklik değişimlerinin grafik gösterimleri ise Çizelge 7.5’den Çizelge 7.20’ye kadar olan grafiklerde görülmektedir.

Çizelge 7.4 AKM bölgesindeki obje noktalarının periyotlara göre yükseklik değişimleri

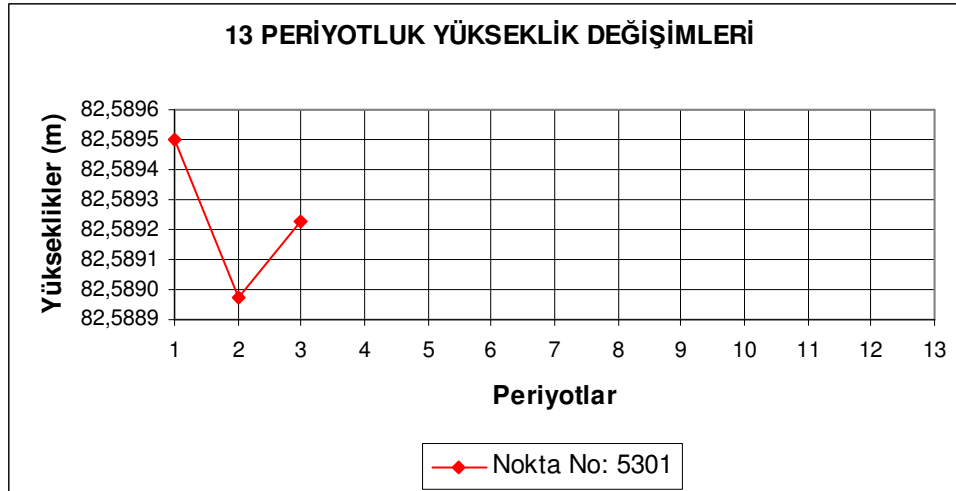
NOKTA NO	1. PERİYOT	2.PERİYOT	3.PERİYOT	4.PERİYOT	5.PERİYOT	6.PERİYOT	7.PERİYOT
1108	82,855461	82,855072	82,855003	82,856384	82,855873	82,855499	82,855003
1001	77,857811	77,857948	77,858025	77,857712	77,856697	77,858078	77,857697
5301	82,589500	82,588974	82,589226	-	-	-	-
5401	82,802734	82,802277	82,802528	82,802292	-	82,802505	82,805275
5551	82,838821	83,015228	83,015404	-	-	-	-
5001	82,754890	82,838974	82,838676	82,838608	82,839523	82,838753	82,838524
5002	82,754890	82,755127	82,916969	82,754959	82,756027	82,755104	82,754875
5003	82,916595	82,916969	82,916924	82,916809	82,917671	82,916924	82,916573
5004	82,910332	82,910599	82,910423	82,910210	82,911278	82,910179	82,910126
6001	83,358421	83,358902	83,358856	83,358765	83,359581	83,358780	83,358627
6002	83,114807	83,114700	83,114655	83,114563	83,115501	83,114555	83,114326
6003	82,425468	82,425499	82,425552	82,425560	82,426353	82,425575	82,425476
6004	81,054626	81,054749	81,054596	81,054535	81,053429	81,054726	81,054474
4601	-	-	82,534447	-	82,533127	82,534126	82,534325
9001	-	-	-	-	81,292473	81,293877	81,293571
9002	-	-	-	-	81,491257	81,492630	81,492424

NOKTA NO	8.PERİYOT	9.PERİYOT	10.PERİYOT	11. PERİYOT	12.PERİYOT	13.PERİYOT
1108	82,855560	-	-	-	-	-
1001	77,858086	77,857933	77,858147	77,858078	77,858253	77,858025
5301		-	-	-	-	-
5401		-	-	-	-	-
5551		-	-	-	-	-
5001	82,838860	-	-	-	-	-
5002	82,755157	-	-	-	-	-
5003	82,917107	-	-	-	-	-
5004	82,910309	82,910873	82,910751	-	-	-
6001	83,358887	83,359085	83,359077	83,359161	-	-
6002	83,114586	83,114845	83,114967	83,115059	-	-
6003	82,425537	82,425674	82,425476	82,425583	82,425735	82,425858
6004	81,054504	81,054520	81,054527	81,054230	81,054314	81,054405
4601	82,534584	82,534851	82,534416	82,534531	82,534843	82,535042
9001	81,293457	81,293373	81,293724	81,293579	81,293602	81,293488
9002	81,492165	81,492233	81,492310	81,492783	81,492645	81,492577

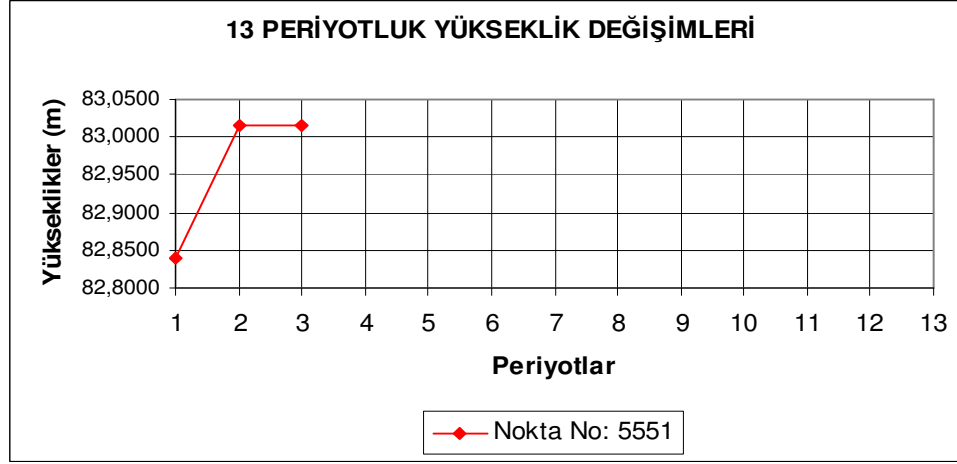
Çizelge 7.5 1108 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



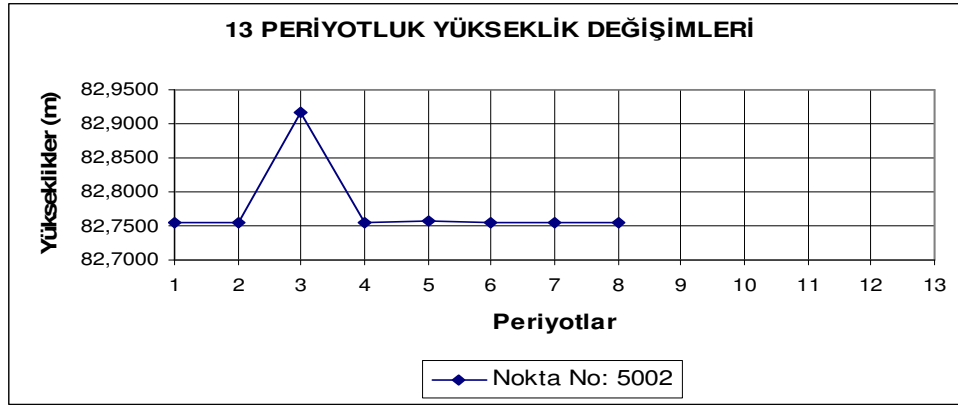
Çizelge 7.6 5301 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



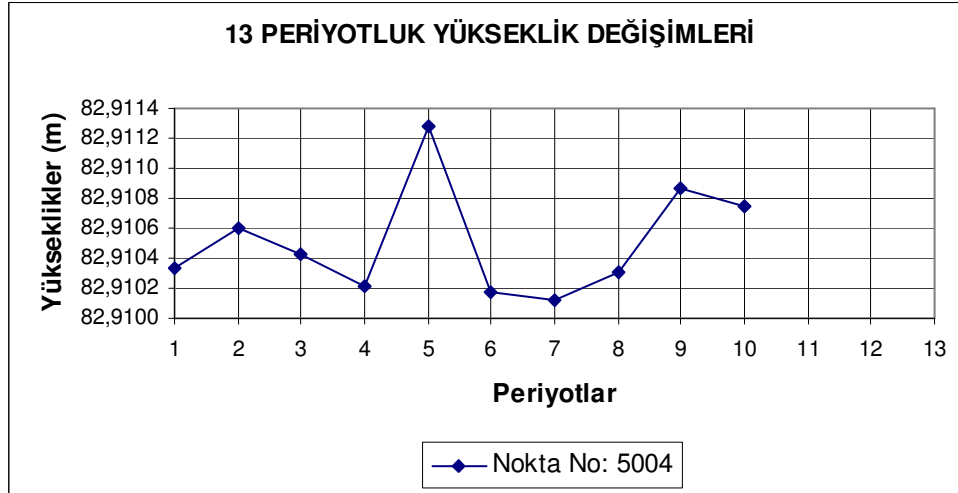
Çizelge 7.7 5551 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



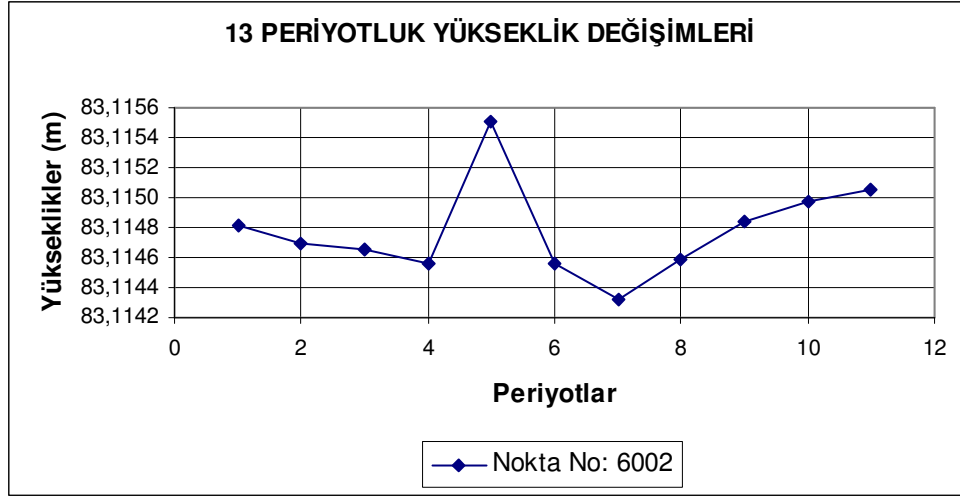
Çizelge 7.8 5002 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



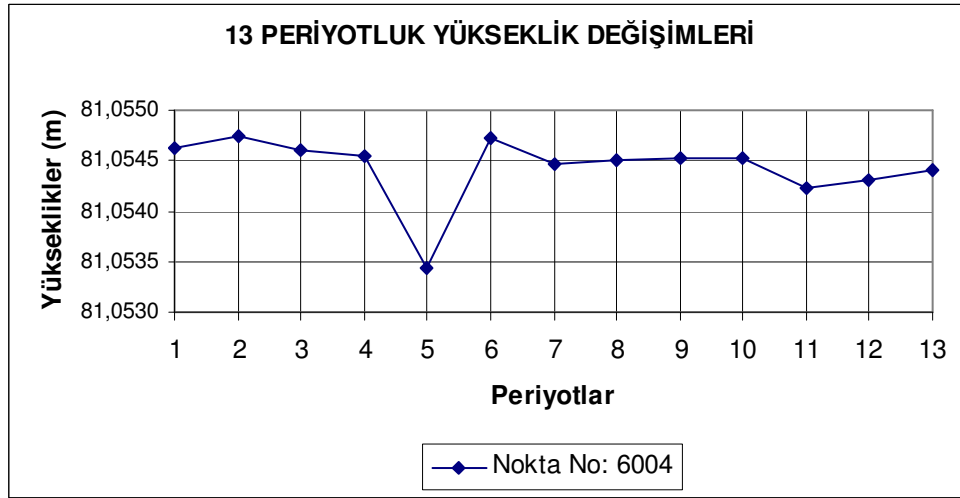
Çizelge 7.9 5004 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



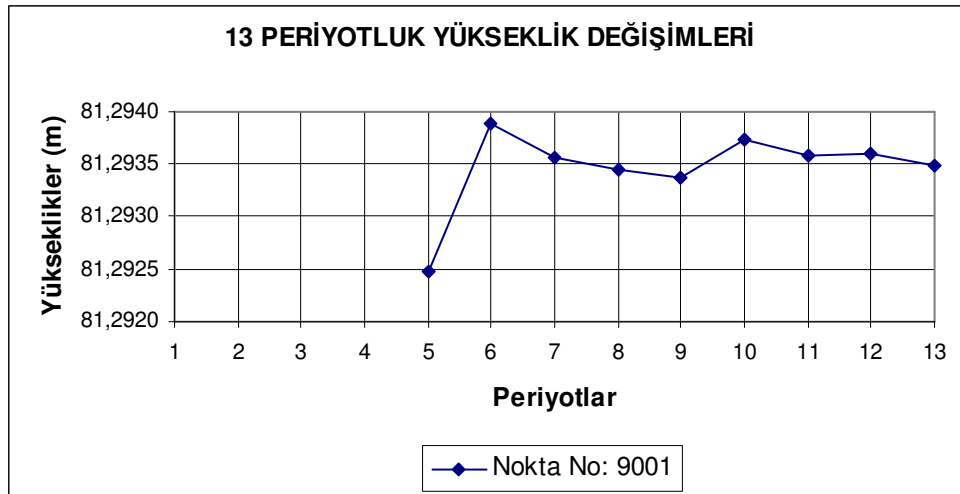
Çizelge 7.10 6002 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



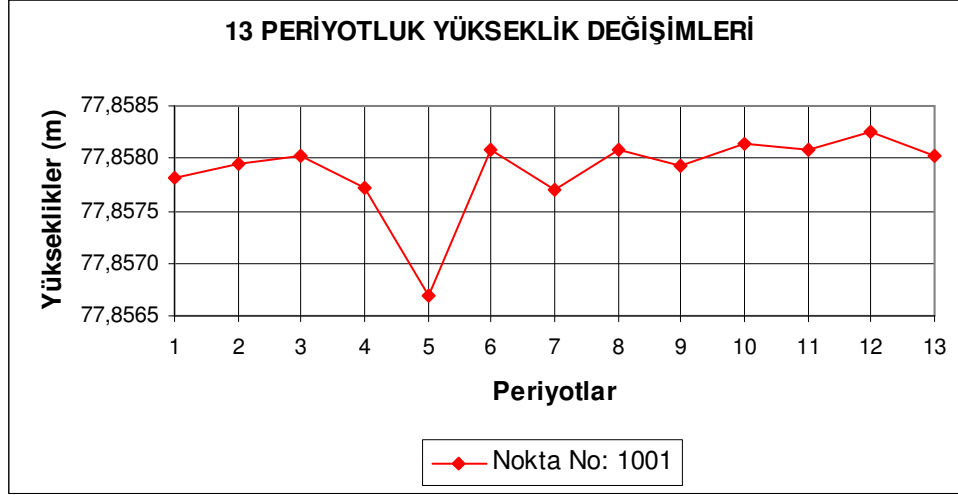
Çizelge 7.11 6004 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



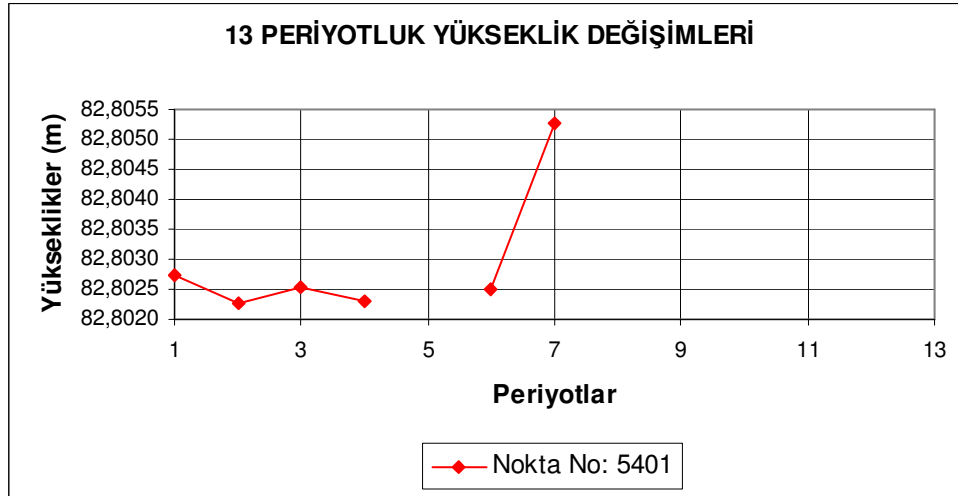
Çizelge 7.12 9001 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



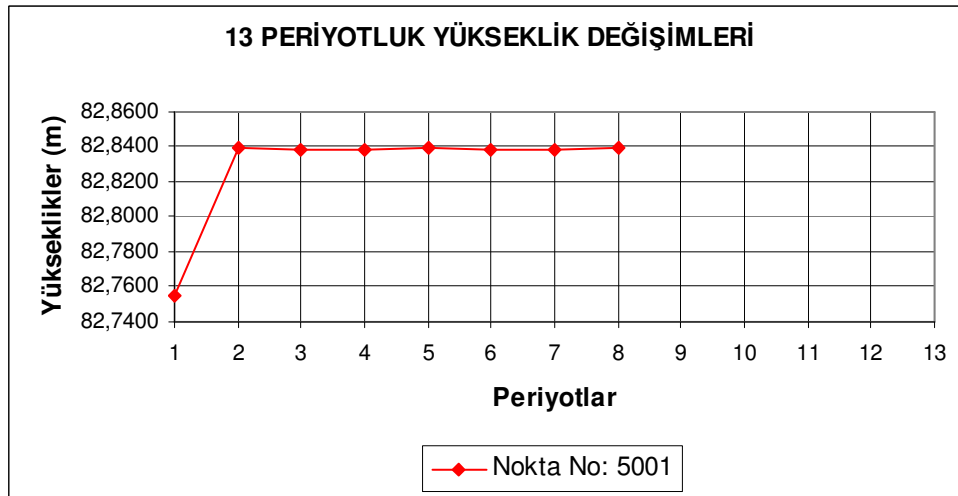
Çizelge 7.13 1001 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



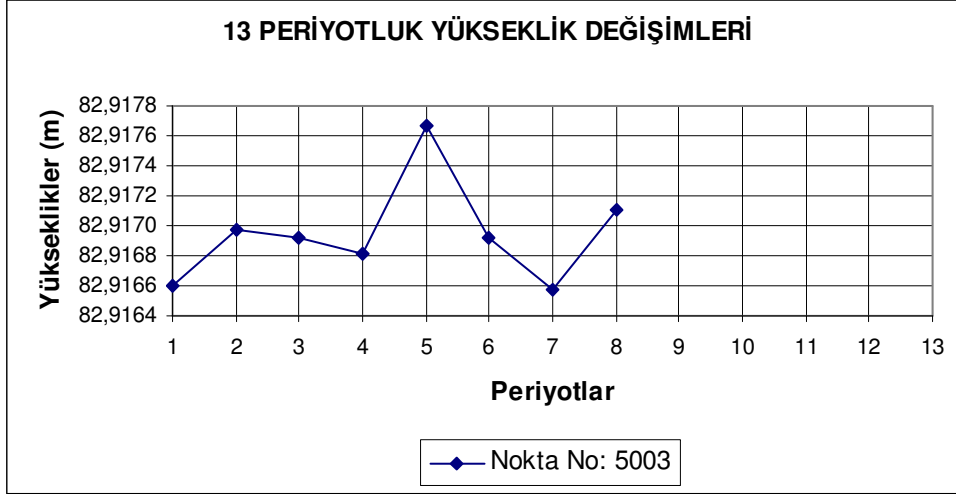
Çizelge 7.14 5401 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



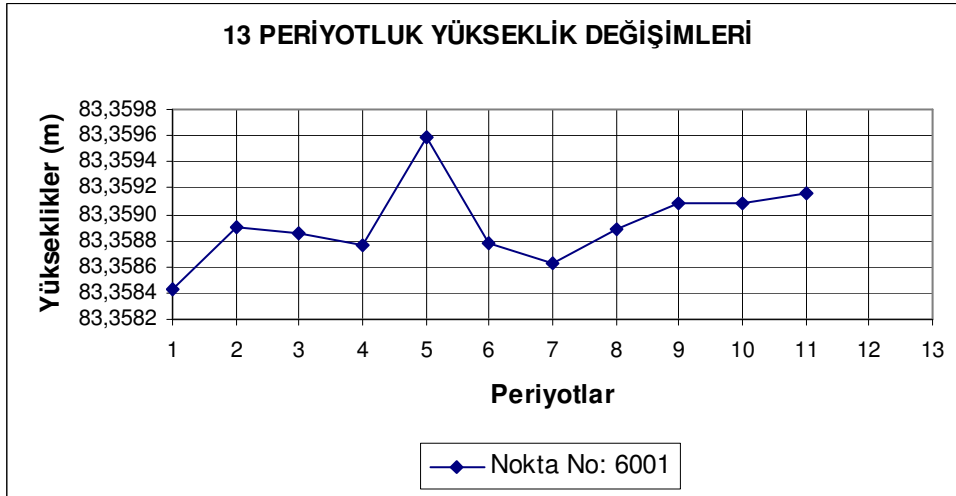
Çizelge 7.15 5001 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



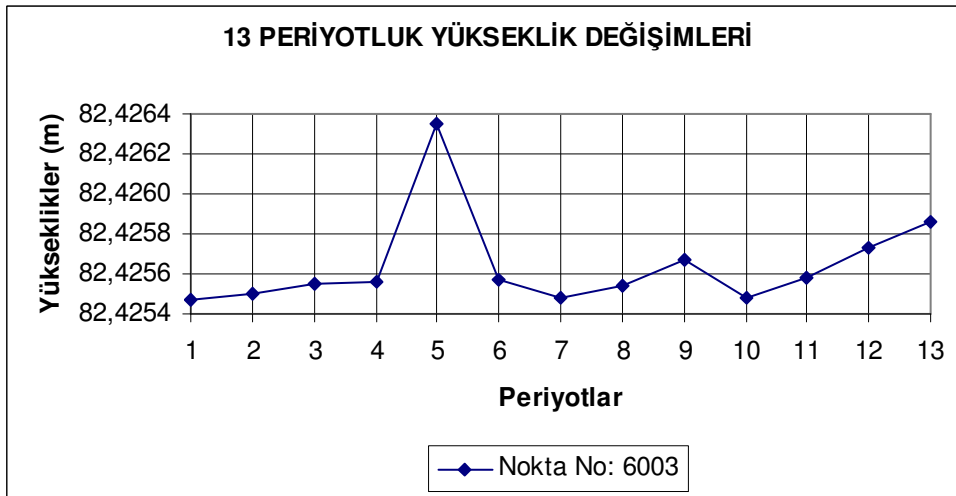
Çizelge 7.16 5003 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



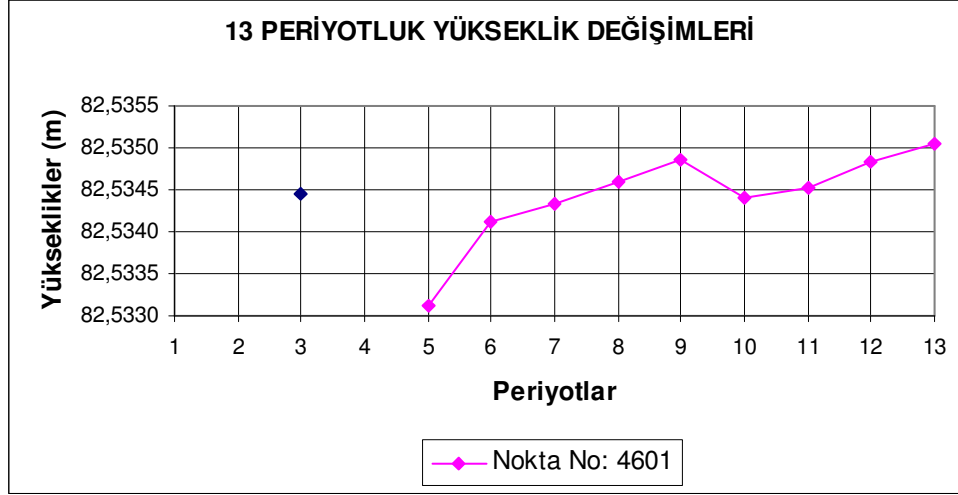
Çizelge 7.17 6001 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



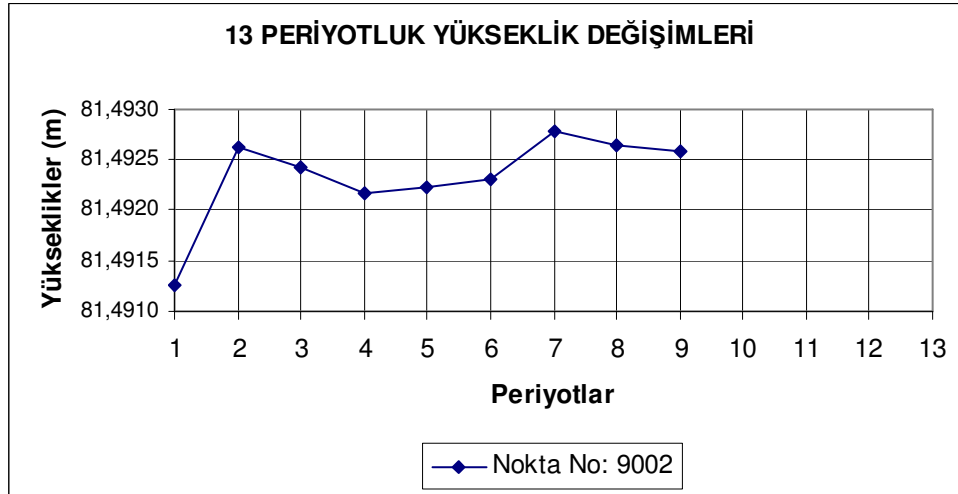
Çizelge 7.18 6003 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



Çizelge 7.19 4601 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



Çizelge 7.20 9002 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



7.4.2 Binalar Bölgesi (0+400) Dengeleme Sonucu Yükseklik Değerleri

Uygulamanın ikinci çalışma bölgesi olarak güzegahın 0+400' ncü metresinde bulunan çeşitli amaçlar için kullanılan binaların oluşturduğu bölge seçilmiştir. Bu bölgede de ardışık periyotlarda yapılan hassas nivelman ölçülerinin serbest ağ dengelemesi sonucu bulunan nokta yükseklikleri Çizelge 7.21' de sunulmuştur. Bu çalışma bölgesinde bulunan 20 kontrol noktasındaki yükseklik değişimleri ise Çizelge 7.22'den Çizelge 7.42'ye kadar olan grafiklerde sunulmuştur.

Çizelge 7.21 Binalar Bölgesindeki obje noktalarının periyotlara göre yükseklik değişimleri

NOKTA NO	1.PERİYOT	2.PERİYOT	3.PERİYOT	4.PERİYOT	5.PERİYOT
1001	77,858116	77,858025	77,858086	77,858154	77,857979
1105	69,645142	69,645058	-	-	-
4001	75,474869	75,474930	75,474892	75,475159	75,474953
4002	74,161484	74,161423	74,161362	74,161484	74,161377
4003	74,096512	74,096527	74,096336	74,096687	74,096451
4004	73,473587	73,473480	73,473618	73,473633	73,473778
4005	73,472588	73,472481	73,472466	73,472458	73,472527
4006	72,504791	72,503128	72,502991	72,502937	72,503235
4007	72,503265	72,505081	72,504791	72,504814	72,50473
4008	72,049286	72,049446	72,049187	72,049057	72,049026
4009	72,352615	72,352882	72,352592	72,352539	72,352531
4010	72,410812	72,410698	72,410614	72,410233	72,410675
4011	71,495735	71,495773	71,496391	71,496407	71,496178
4012	71,438187	71,438072	71,438583	71,438606	71,438377
1002	-	70,550583	70,550690	70,550789	70,550781
3801	-	-	-	73,754990	-
3802	-	-	-	73,023155	-
3803	-	-	-	72,641060	-
3804	-	-	-	72,345856	-
3805	-	-	-	71,697586	-

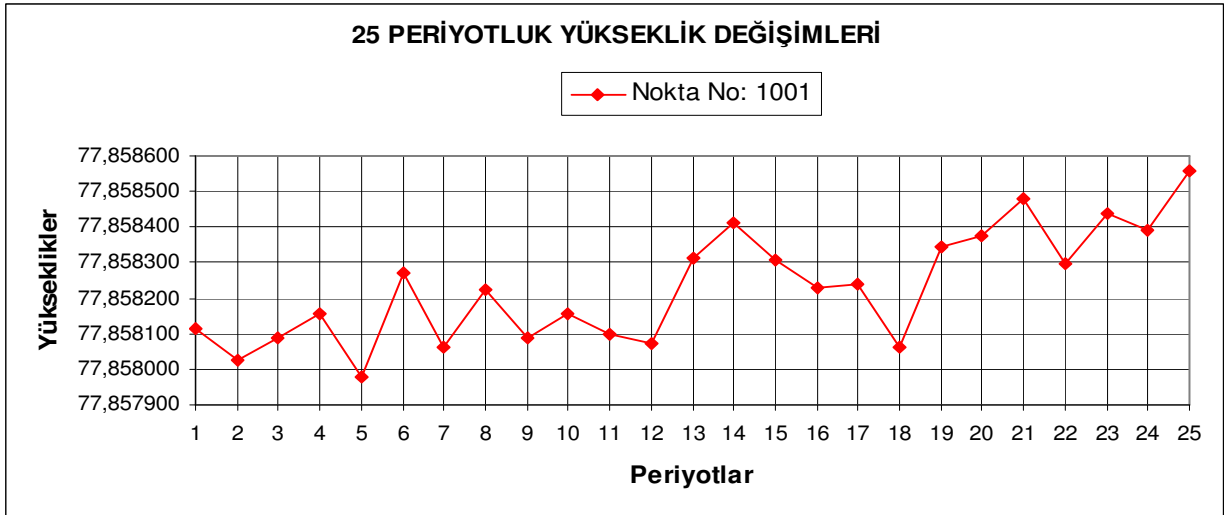
NOKTA NO	6.PERİYOT	7.PERİYOT	8.PERİYOT	9.PERİYOT	10.PERİYOT
1001	77,858269	77,858063	77,858223	77,858086	77,858154
1105	-	-	-	-	-
4001	75,475098	75,474739	75,47477	75,47477	75,474876
4002	74,161316	74,161285	74,161217	74,161133	74,161102
4003	74,096321	74,096336	74,096268	74,096115	74,0961
4004	73,473572	73,473640	73,473648	73,473366	73,473404
4005	73,472321	73,472488	73,472473	73,472168	73,472351
4006	72,503021	72,503067	72,503075	72,502892	72,50293
4007	72,504845	72,50499	72,504845	72,504814	72,504707
4008	72,049171	72,049133	72,049316	72,049034	72,048973
4009	72,352623	72,352570	72,352623	72,352539	72,352478
4010	72,410767	72,410385	72,41037	72,410187	72,410675
4011	71,496071	71,496437	71,496147	71,496384	71,496124
4012	71,438370	71,438660	71,43824	71,438637	71,438324
1002	70,550827	70,550781	70,550652	70,550842	70,550682
3801	-	-	73,754921	73,75502	73,755333
3802	-	-	73,023293	73,023338	73,023323
3803	-	-	72,64122	72,641617	72,641304
3804	-	-	72,346024	72,346115	72,34623
3805	-	-	71,698273	71,69854	71,698532

NOKTA NO	11. PERİYOT	12.PERİYOT	13.PERİYOT	14.PERİYOT	15.PERİYOT
1001	77,858101	77,85807	77,858315	77,858414	77,858307
1105	-	69,646202	-	-	-
4001	75,474976	75,474724	75,474869	75,474968	75,474907
4002	74,161125	74,160919	74,160957	74,161064	74,161057
4003	74,096176	74,095947	74,09584	74,095978	74,095909
4004	73,473579	73,473167	73,473312	73,473465	73,473305
4005	73,472374	73,471992	73,472214	73,47229	73,472107
4006	72,503128	72,502899	72,502869	72,503235	72,502884
4007	72,505005	72,504723	72,50489	72,505157	72,50486
4008	72,049301	72,049095	72,049011	72,049309	72,049004
4009	72,352577	72,3526	72,352715	72,352852	72,352463
4010	72,410721	72,410645	72,410614	72,410995	72,410652
4011	71,496178	71,49614	71,495964	71,496094	71,49588
4012	71,438522	71,438316	71,438133	71,437538	71,438156
1002	70,550827	70,550797	70,550545	70,55014	70,550583
3801	-	73,755096	73,755341	73,755455	73,755356
3802	-	73,023117	73,023964	73,023933	73,02375
3803	-	72,641449	72,641617	72,641876	72,641632
3804	-	72,346321	72,346436	72,346687	72,346405
3805	-	71,698395	-	71,69873	71,698387

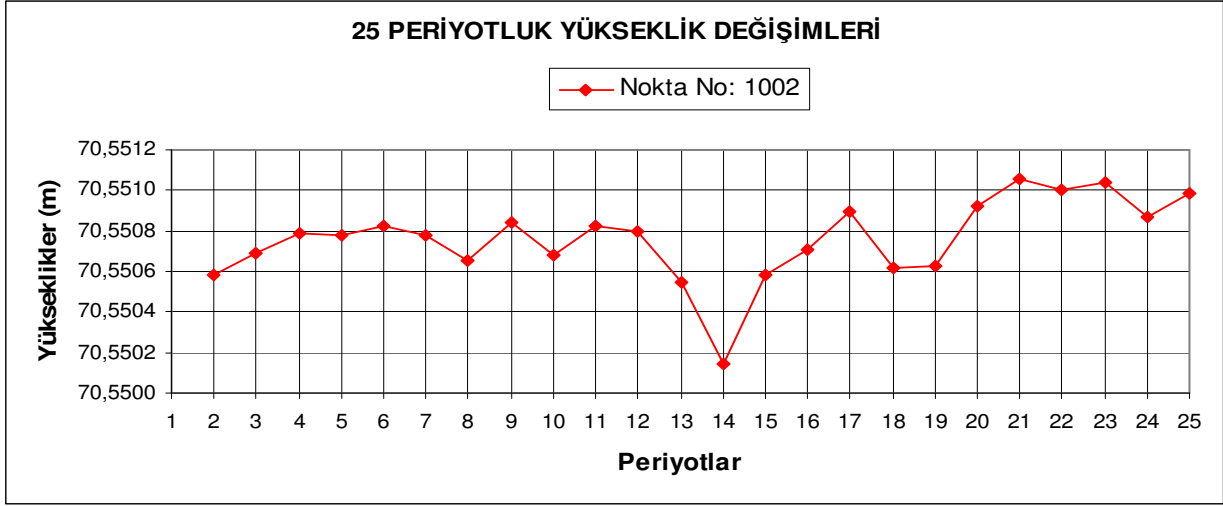
NOKTA NO	16.PERİYOT	17. PERİYOT	18.PERİYOT	19.PERİYOT	20.PERİYOT
1001	77,858231	77,858238	77,858063	77,858345	77,858376
1105	-	-	-	-	-
4001	75,474861	75,474846	75,474617	75,474953	75,474976
4002	74,161026	74,160942	74,160866	74,160873	74,160973
4003	74,095879	74,096069	74,09594	74,095848	74,096123
4004	73,473106	73,473267	73,473267	73,473152	73,473251
4005	73,471985	73,472046	73,471992	73,472	73,472
4006	72,502861	72,502899	72,503067	72,502953	72,502632
4007	72,504883	72,504898	72,504967	72,504852	72,504379
4008	72,049179	72,049042	72,049416	72,049194	72,049126
4009	72,352463	72,352547	72,352272	72,352654	72,352676
4010	72,410728	72,410492	72,410789	72,410492	72,410477
4011	71,495857	71,495918	71,495811	71,496246	71,496277
4012	71,438126	71,438416	71,438164	71,438667	71,438721
1002	70,550705	70,550896	70,550621	70,550629	70,550926
3801	73,755386	73,755295	73,755394	73,755348	73,755356
3802	73,023705	73,023613	73,023636	73,023499	73,023277
3803	72,641632	72,641548	72,641563	72,64135	72,64138
3804	72,346458	72,346245	72,346565	72,346245	72,34623
3805	71,698532	71,698395	71,698593	71,698303	71,698456

NOKTA NO	21.PERİYOT	22.PERİYOT	23.PERİYOT	24.PERİYOT	25.PERİYOT
1001	77,858482	77,858299	77,858437	77,858391	77,858559
1105	-	-	-	-	-
4001	75,474861	75,4748	75,474937	75,4748	75,47509
4002	74,16095	74,160698	74,160934	74,16082	74,160934
4003	74,095909	74,095848	74,096039	74,095871	74,095833
4004	73,473129	73,473	73,47319	73,473045	73,473083
4005	73,471909	73,472046	73,471992	73,471924	73,471939
4006	72,502808	72,502876	72,502792	72,502846	72,502838
4007	72,504654	72,504448	72,504539	72,504623	72,504616
4008	72,049049	72,049072	72,048935	72,049095	72,04911
4009	72,352562	72,352524	72,35244	72,352402	72,352463
4010	72,410706	72,410667	72,410484	72,410515	72,410408
4011	71,496254	71,4963	71,496086	71,496269	71,496056
4012	71,438705	71,438599	71,438583	71,438766	71,438583
1002	70,551056	70,551003	70,551041	70,550873	70,550987
3801	-	73,755348	73,755539	73,755424	73,75544
3802	-	73,023521	73,023537	73,023567	73,023537
3803	72,64151	72,641579	72,641289	72,641495	72,641312
3804	72,346458	72,346375	72,346291	72,346298	72,346207
3805	71,698608	71,698601	71,698494	71,69857	71,698616

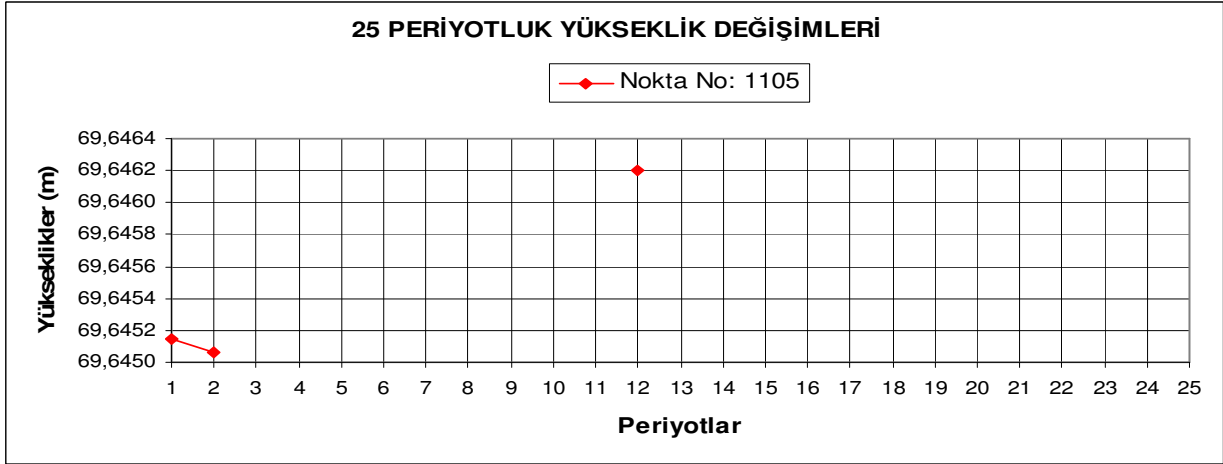
Çizelge 7.22 1001 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



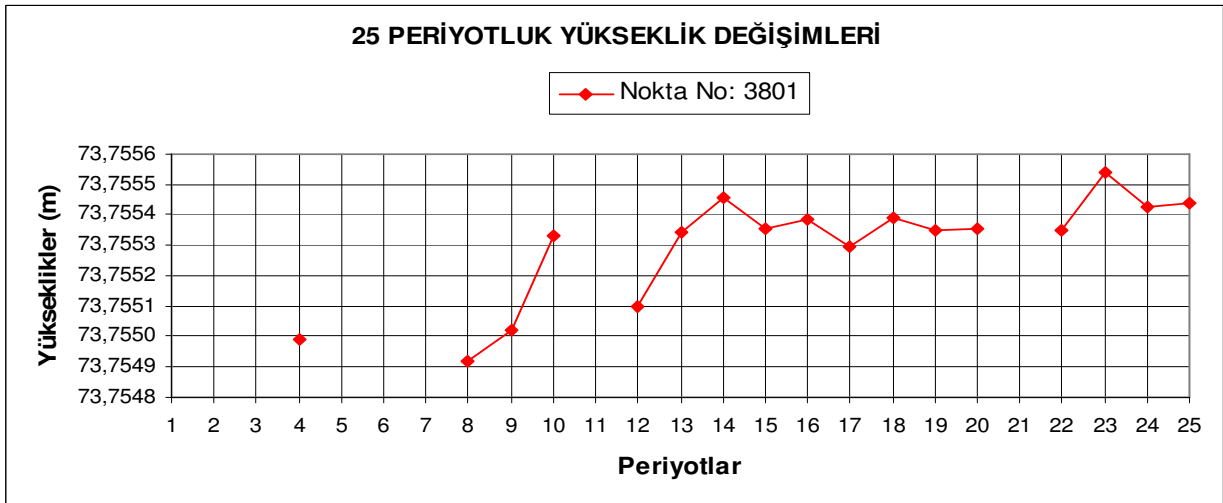
Çizelge 7.23 1002 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



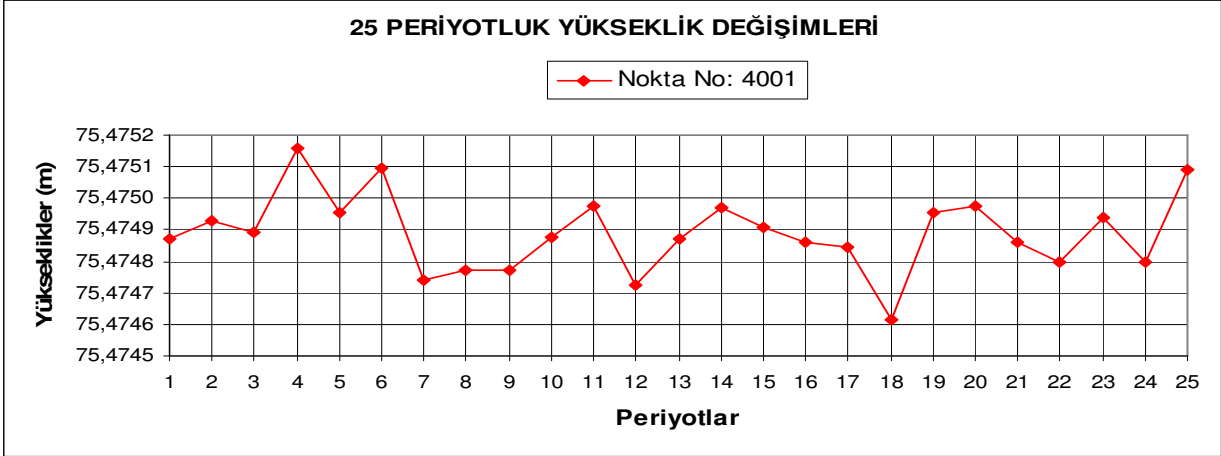
Çizelge 7.24 1105 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



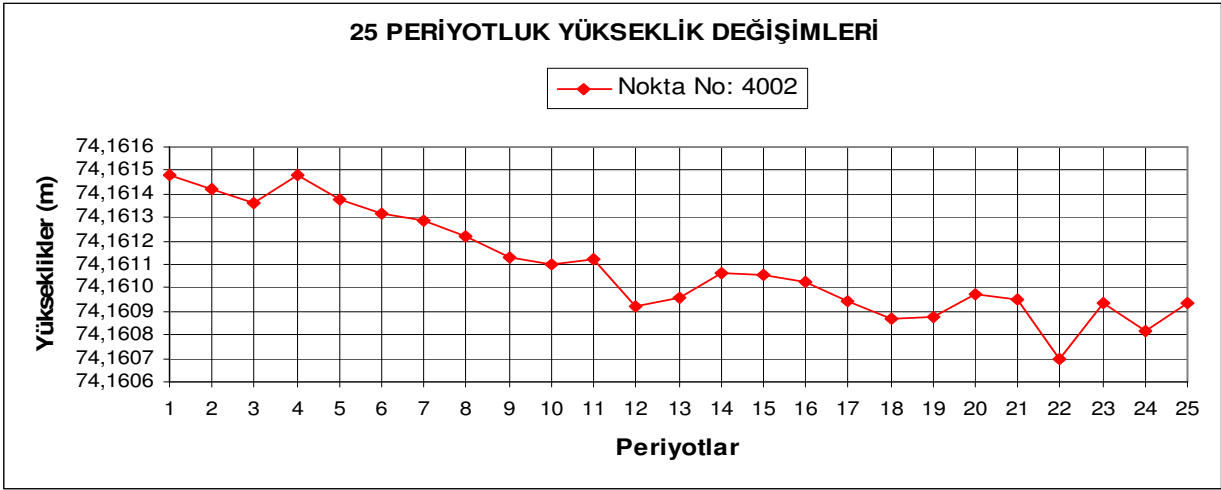
Çizelge 7.25 3801 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



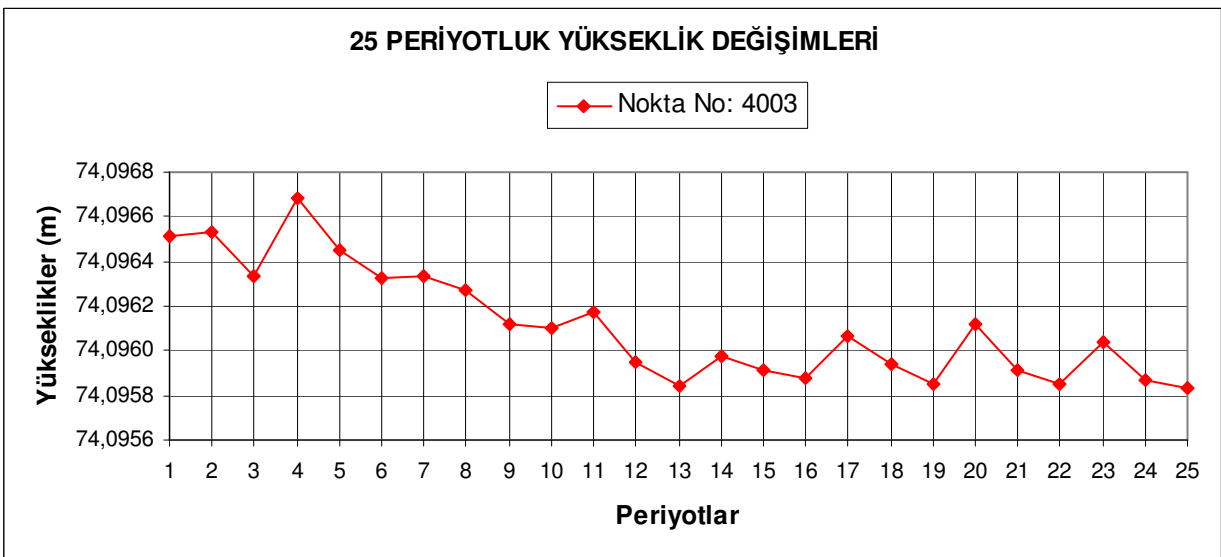
Çizelge 7.26 4001 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



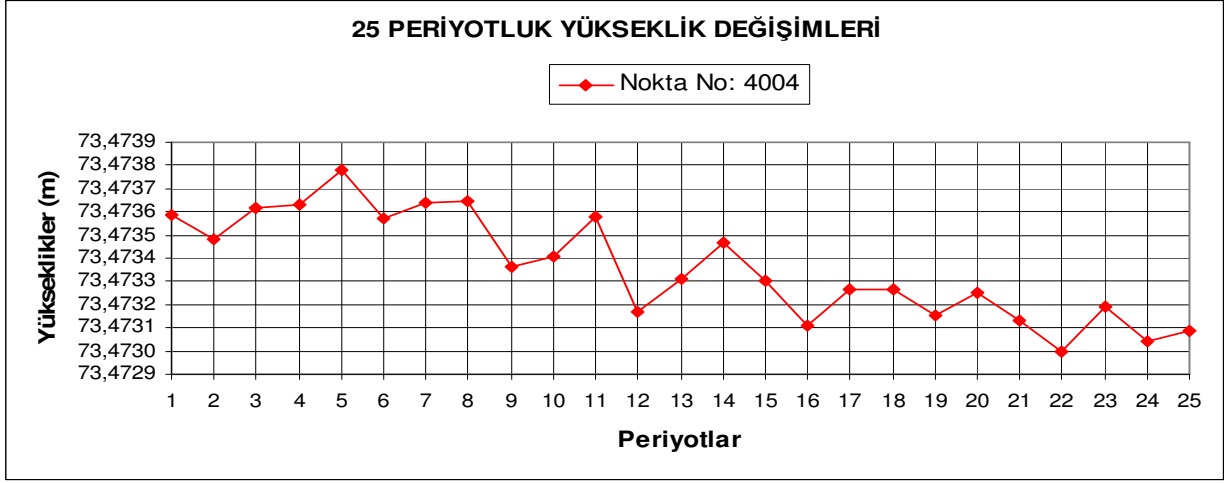
Çizelge 7.27 4002 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



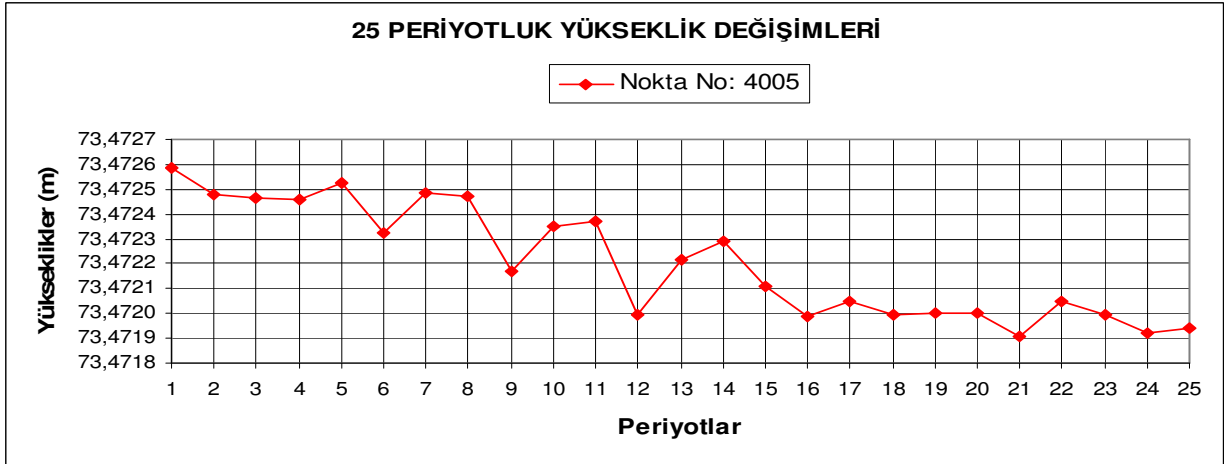
Çizelge 7.28 4003 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



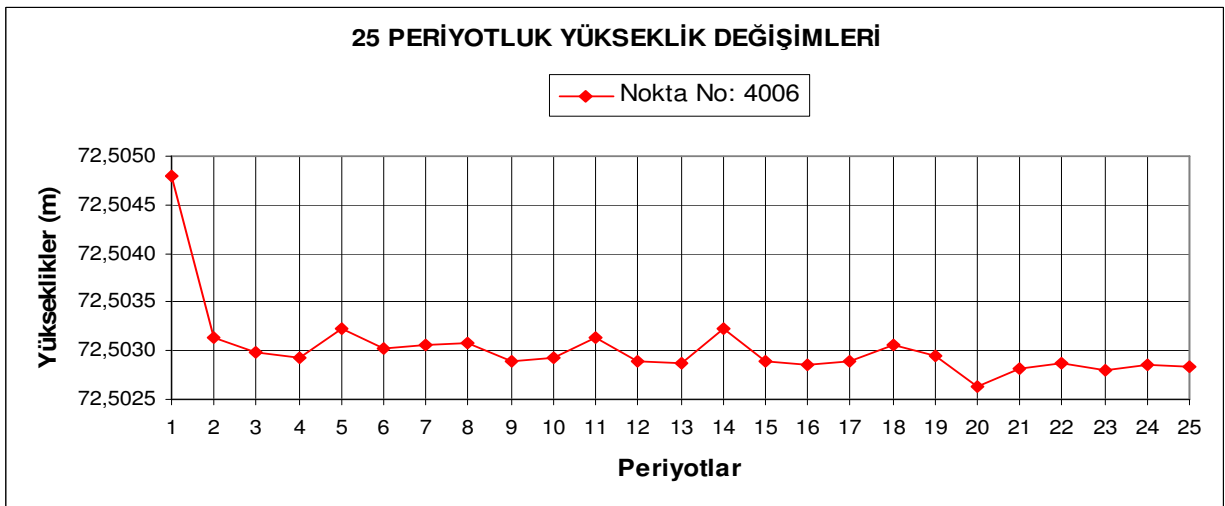
Çizelge 7.29 4004 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



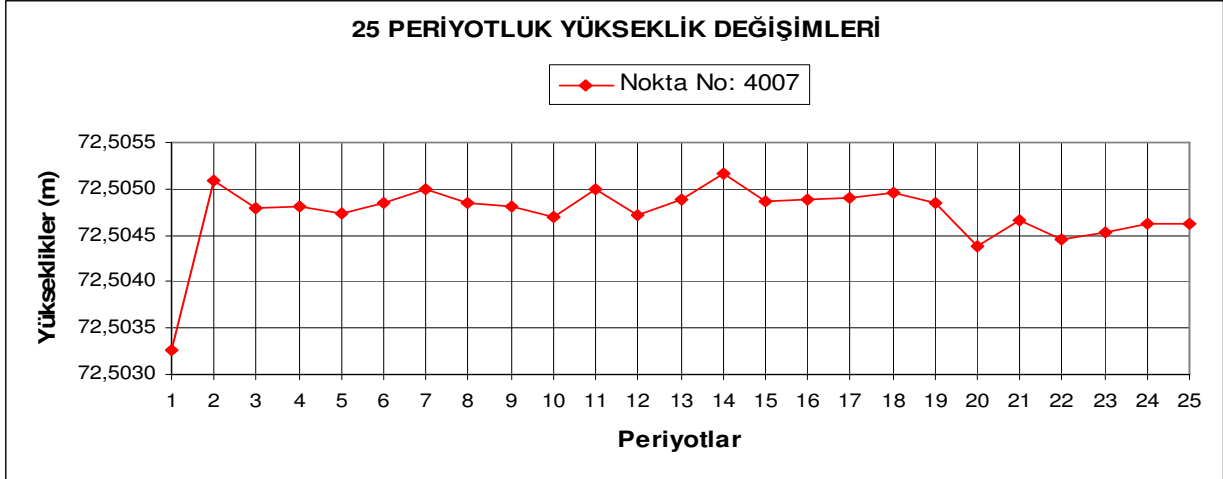
Çizelge 7.30 4005 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



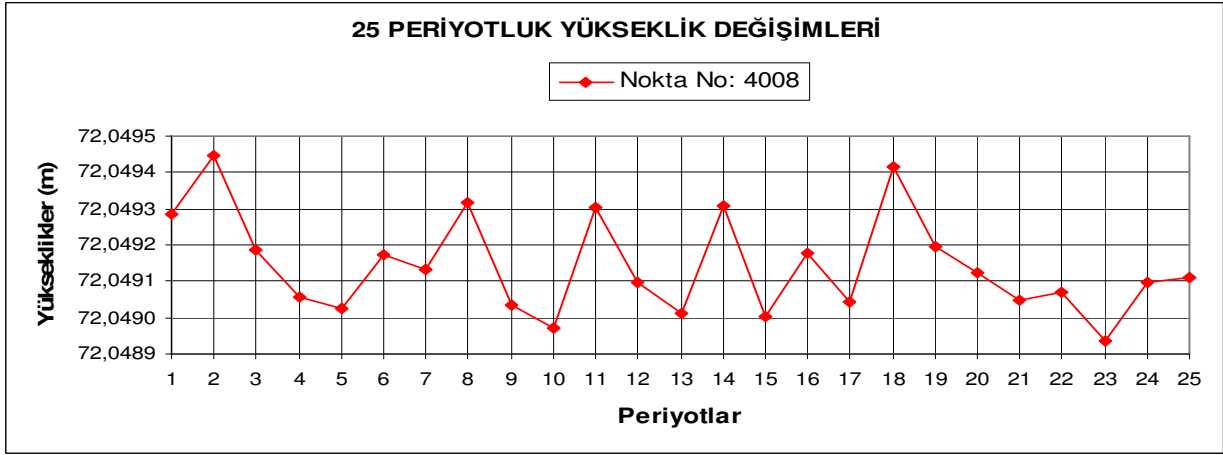
Çizelge 7.31 4006 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



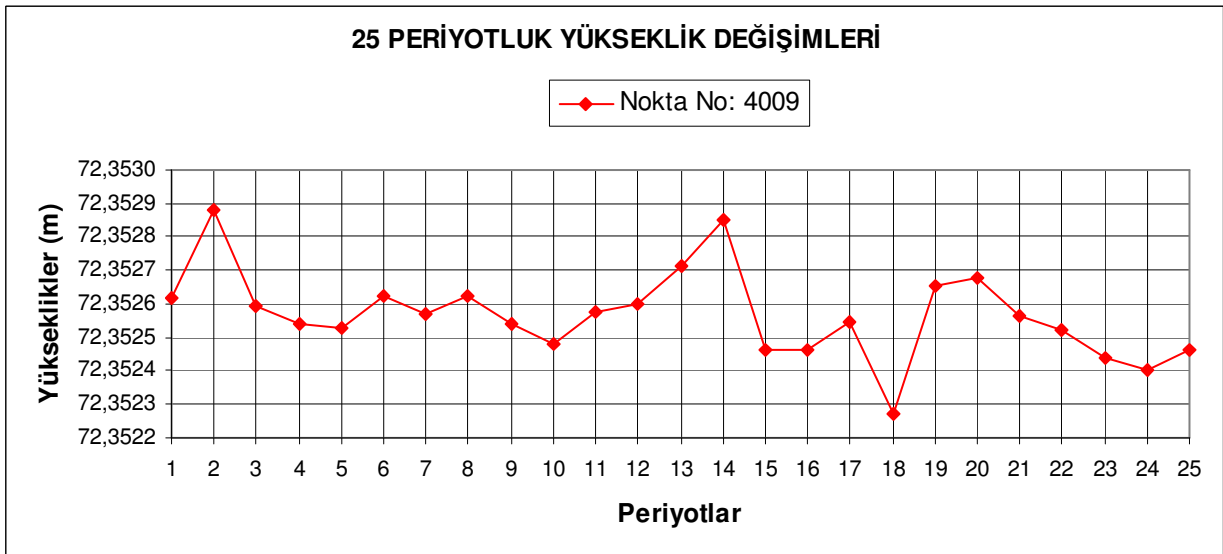
Çizelge 7.32 4007 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



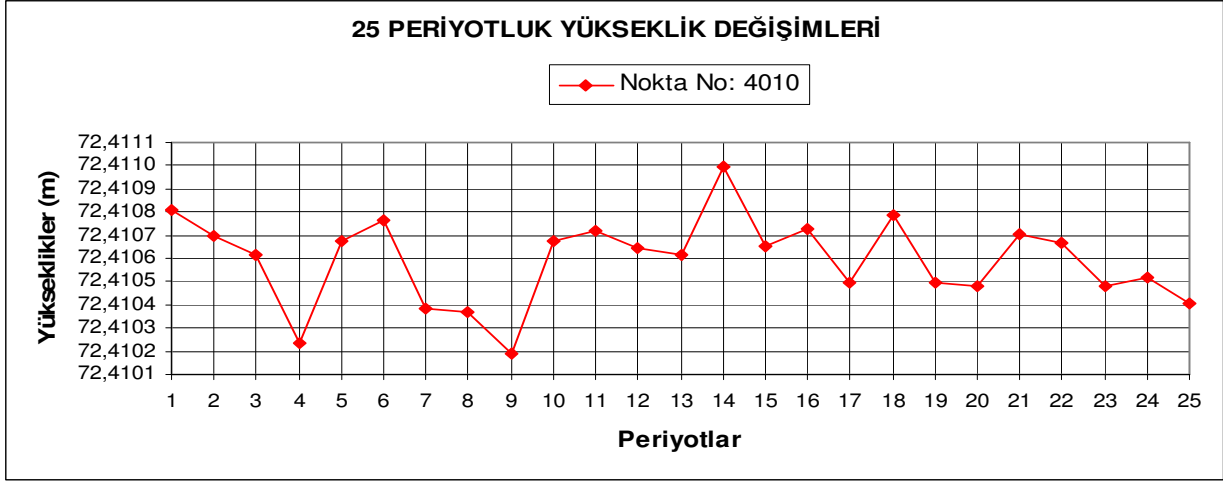
Çizelge 7.33 4008 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



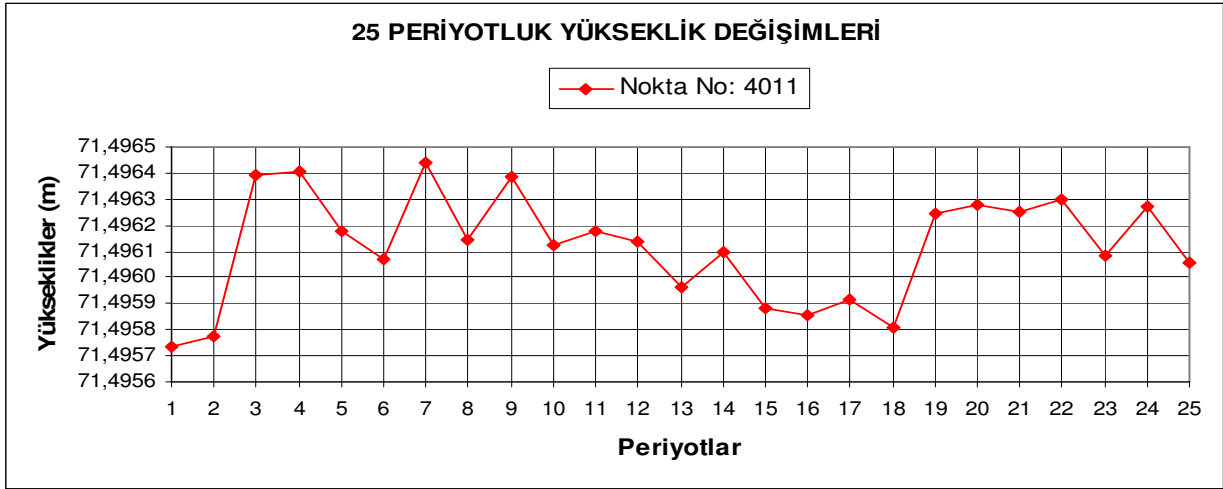
Çizelge 7.34 4009 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



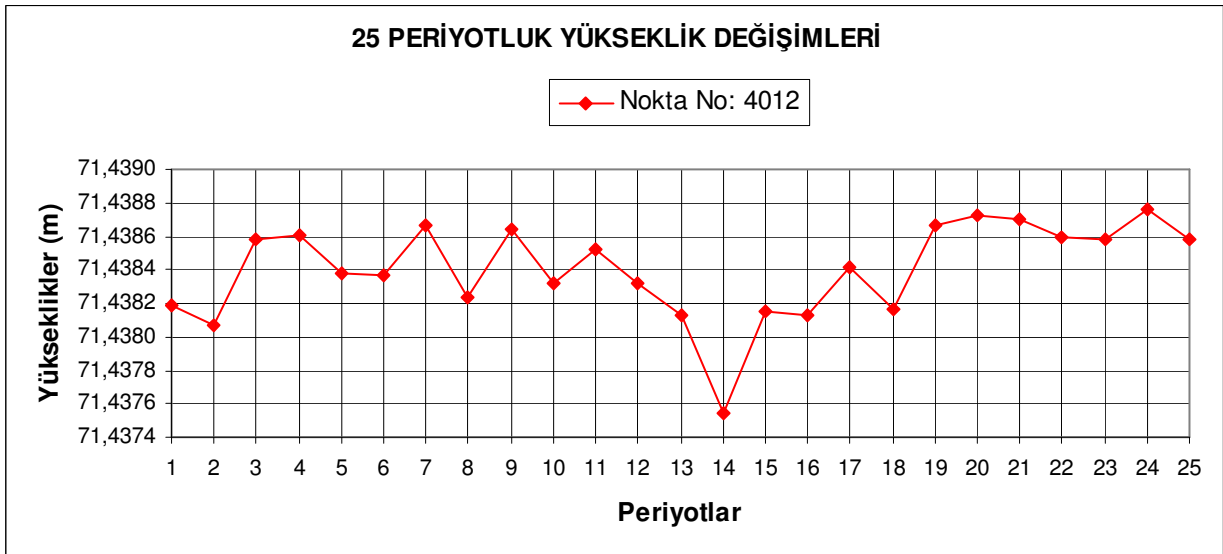
Çizelge 7.35 4010 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



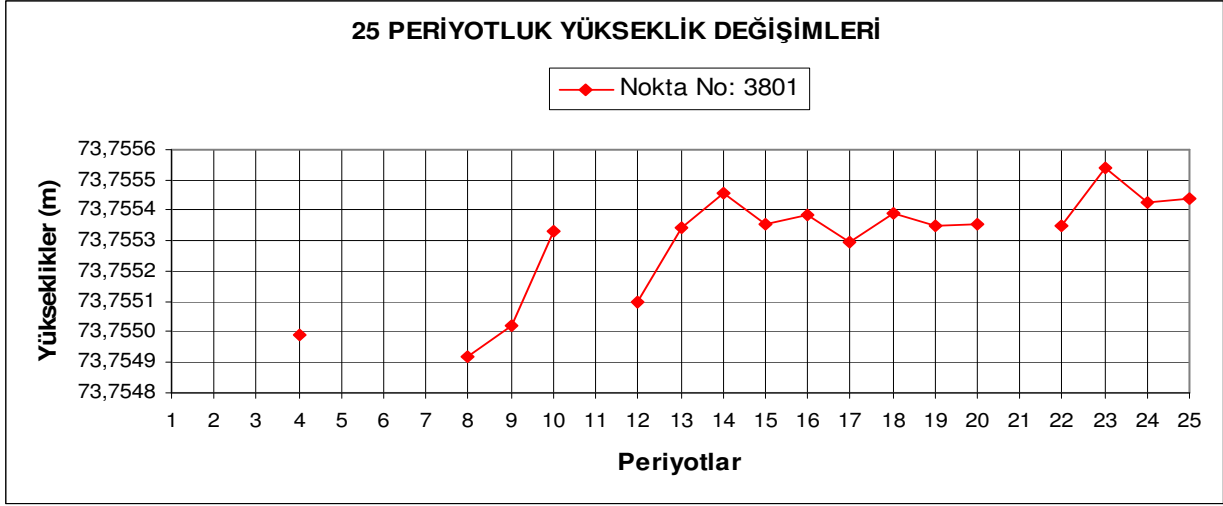
Çizelge 7.36 4011 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



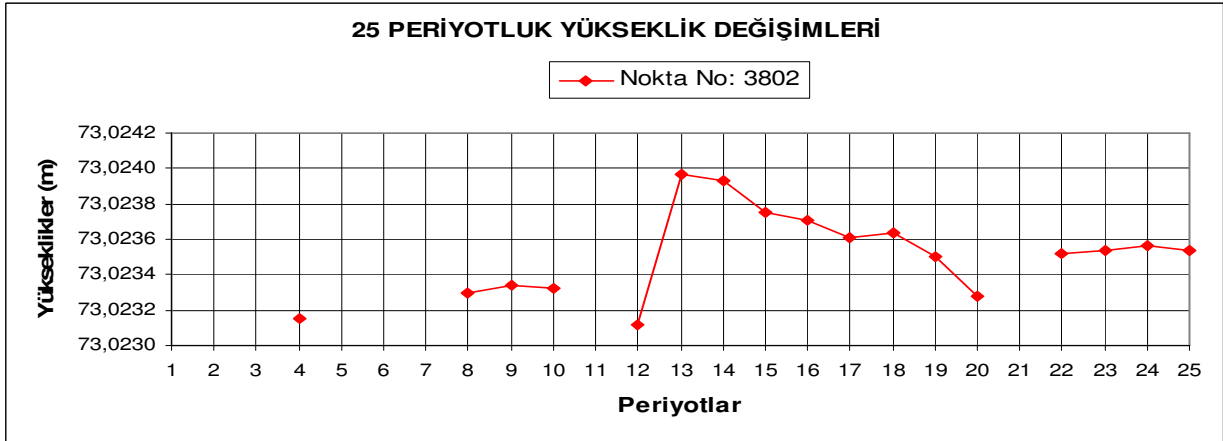
Çizelge 7.37 4012 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



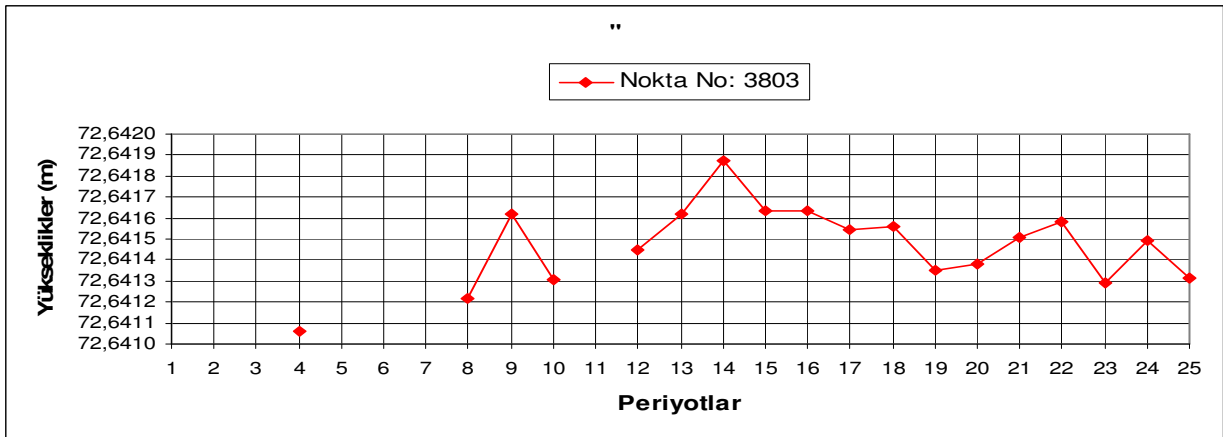
Çizelge 7.38 3801 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



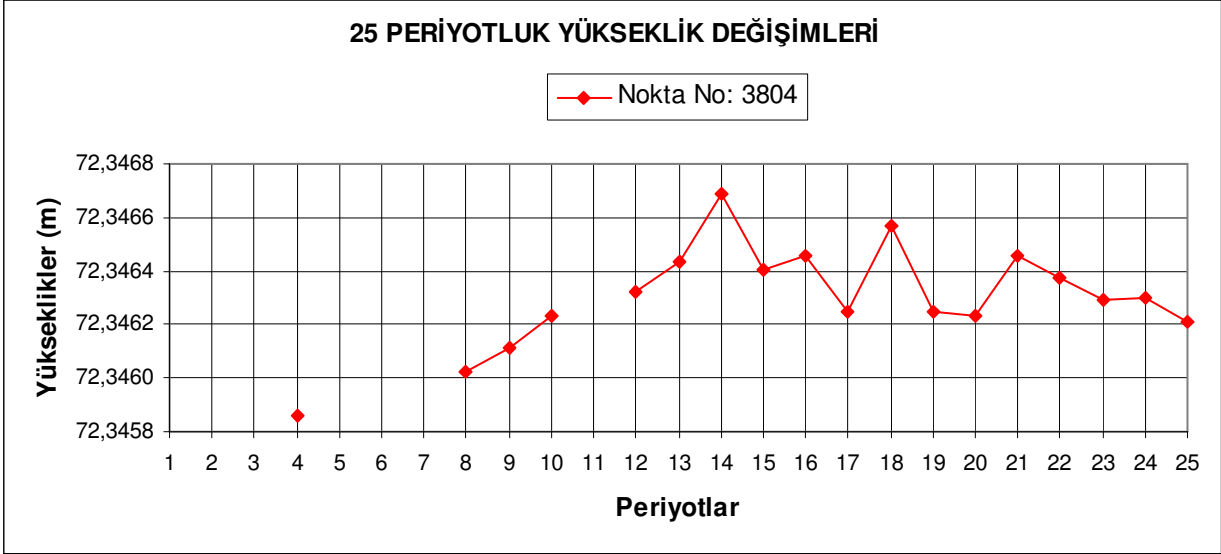
Çizelge 7.39 3802 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



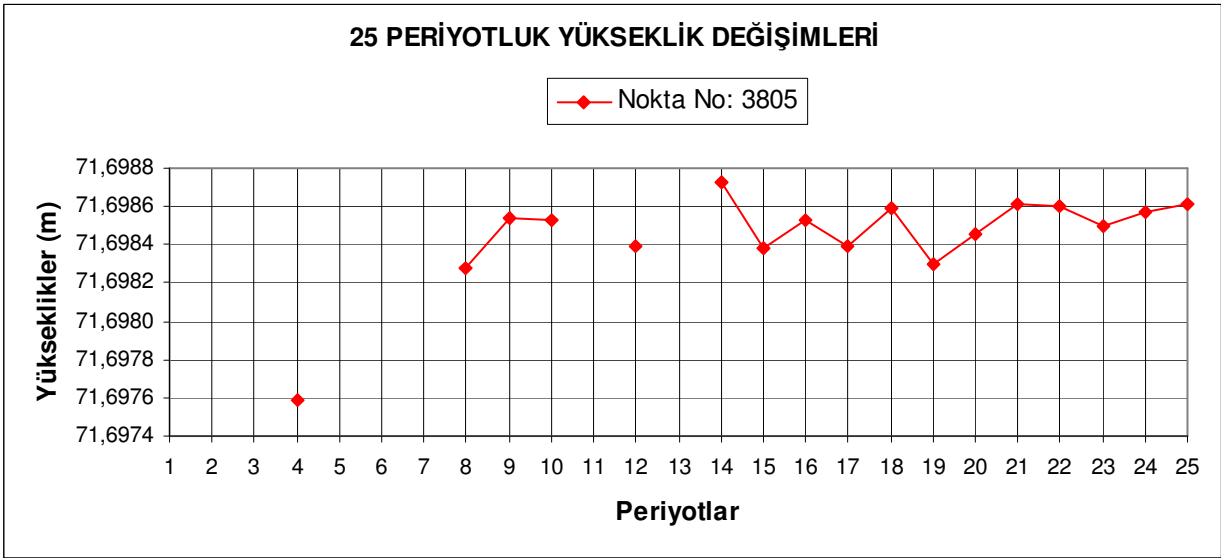
Çizelge 7.40 3803 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



Çizelge 7.41 3804 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



Çizelge 7.42 3805 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



7.4.3 Alman Konsolosluğu Bölgesi Dengeleme Sonucu Yükseklik Değerleri

Uygulamanın üçüncü ve son çalışma bölgesini 0+325 ile 0+355'nci metreleri arasındaki Alman Konsolosluğunun bulunduğu bölge oluşturmaktadır. Bu bölgede hassas nivelman yöntemi ile ölçülen yükseklik farklarının serbest ağ yöntemi ile bulunan nokta yükseklikleri Çizelge 7.43'de verilmiştir. Bölgede bulunan 9 kontrol noktasındaki yükseklik değişimleri ise Çizelge 7.44'den Çizelge 7.52'ye kadar olan grafiklerde görülebilir.

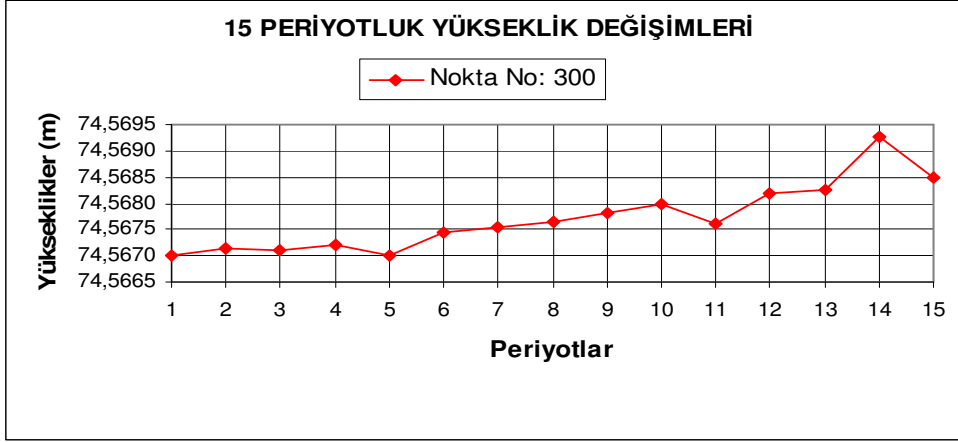
Çizelge 7.43 Alman Konsolosluğundaki obje noktalarının periyotlara göre yükseklik değişimleri

NOKTA NO	1. PERİYOT	2.PERİYOT	3.PERİYOT	4.PERİYOT	5.PERİYOT
300	74,567017	74,567139	74,567116	74,567223	74,567001
100	69,931763	69,931488	69,931534	69,931564	69,931046
1105	69,645622	69,645592	69,645790	69,645721	-
10	73,811470	73,811562	73,811569	73,811600	73,811356
20	73,863968	73,863960	73,863762	73,863594	73,863495
30	70,434265	70,434364	70,434334	70,434395	70,434052
40	-	-	-	-	67,073303
50	-	-	-	-	66,101746
111	-	-	-	-	-

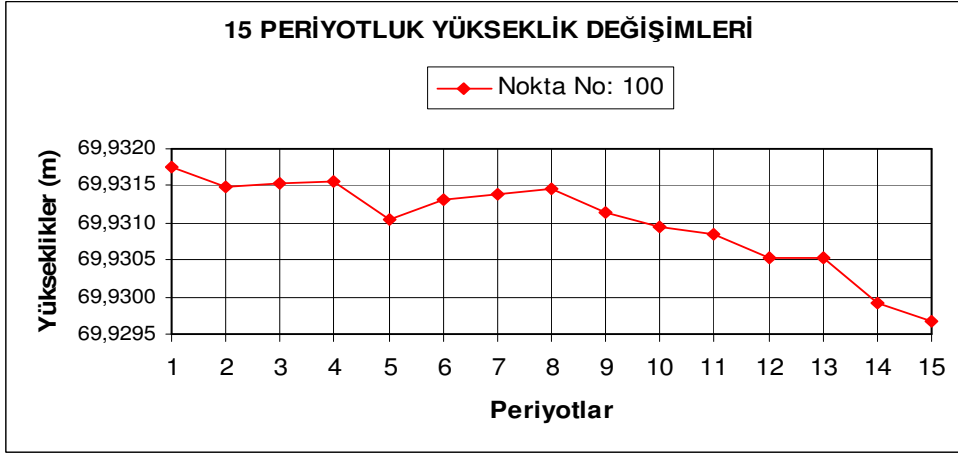
NOKTA NO	6.PERİYOT	7.PERİYOT	8.PERİYOT	9.PERİYOT	10.PERİYOT
300	74,567444	74,567558	74,567657	74,567825	74,567970
100	69,931313	69,931381	69,931473	69,931145	69,930946
1105	-	-	-	-	-
10	73,811897	73,811913	73,811882	73,811981	73,812126
20	73,863892	73,863907	73,863724	73,863922	73,864021
30	70,434387	70,434456	70,434425	70,434227	70,434120
40	67,072243	67,072136	67,072159	-	67,07225
50	66,100838	66,100731	66,100952	-	66,100571
111	65,877991	65,87793	65,877731	-	-

NOKTA NO	11.PERİYOT	12.PERİYOT	13.PERİYOT	14.PERİYOT	15.PERİYOT
300	74,567619	74,568192	74,568260	74,569252	74,568504
100	69,930840	69,930534	69,930534	69,929924	69,929680
1105	-	-	-	-	-
10	73,811493	73,811722	73,811890	73,812431	73,812210
20	73,863541	73,863716	73,863686	73,863876	73,863930
30	70,434586	70,434761	70,434685	70,434570	70,434776
40	67,072441	67,071846	67,07164	67,071449	-
50	66,10099	66,100739	66,10083	66,100197	-
111	65,878494	65,878494	65,878487	65,878304	-

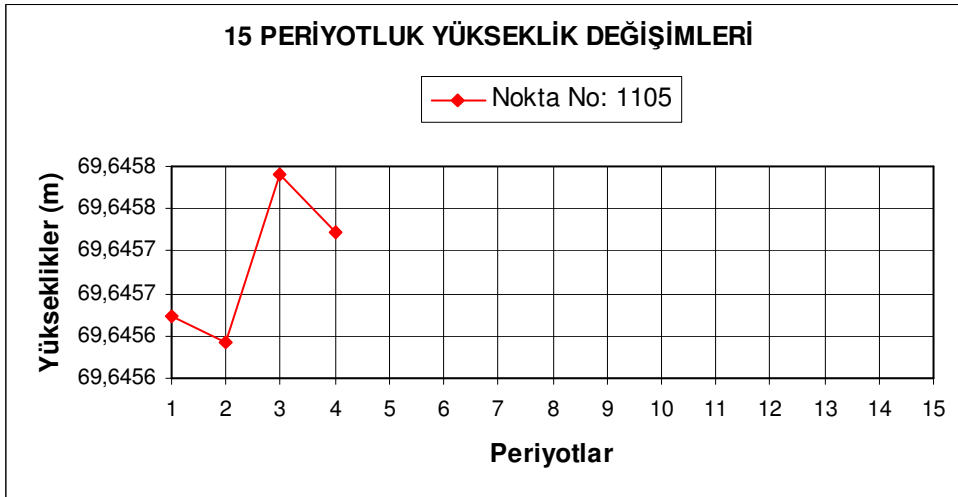
Çizelge 7.44 300 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



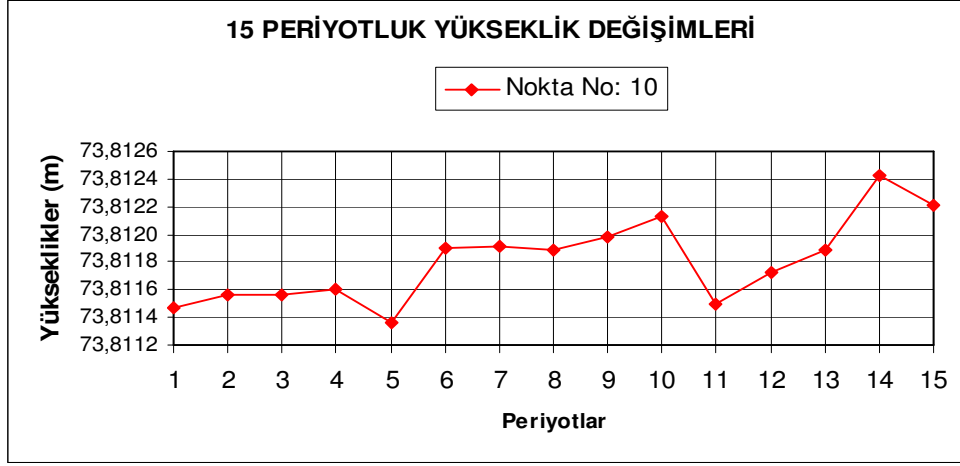
Çizelge 7.45 100 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



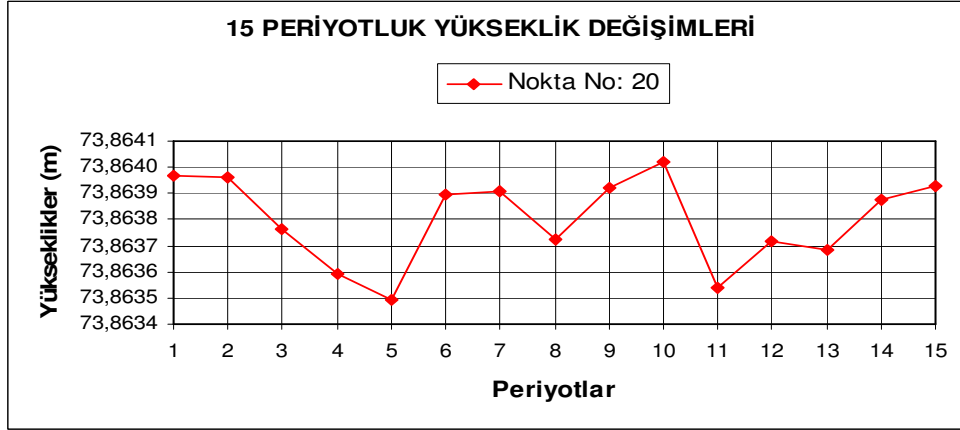
Çizelge 7.46 1105 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



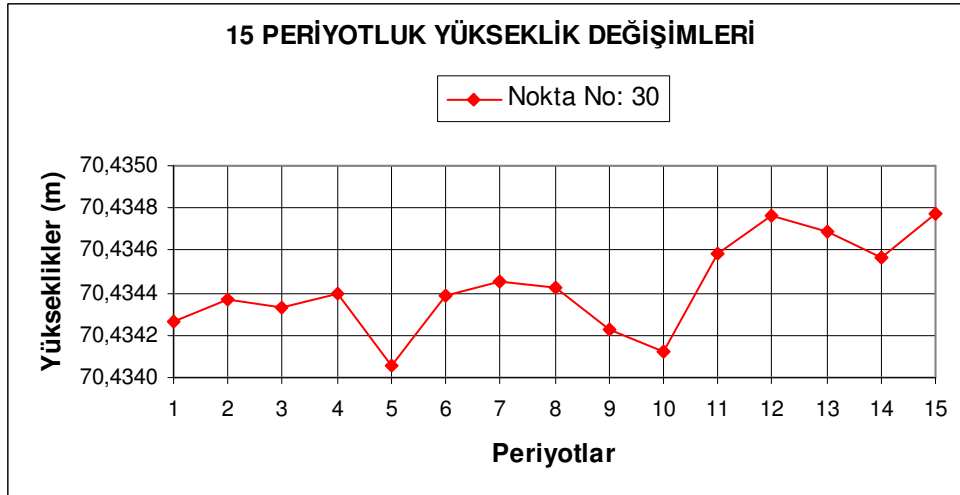
Çizelge 7.47 10 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



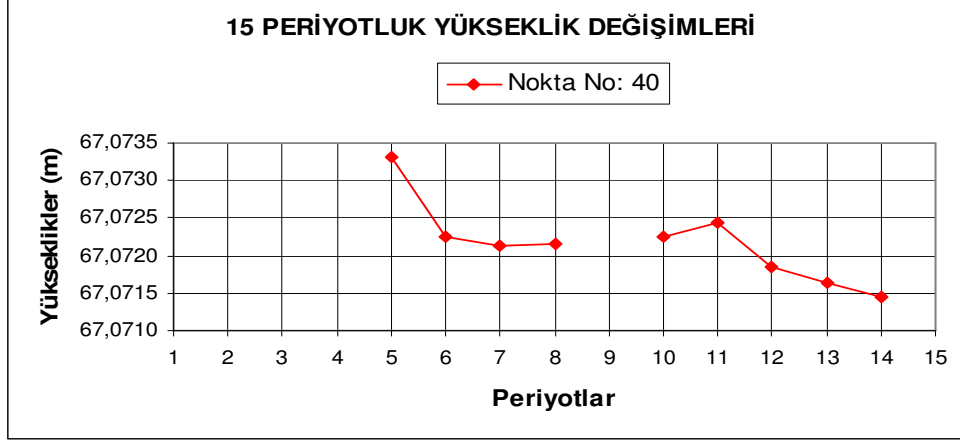
Çizelge 7.48 20 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



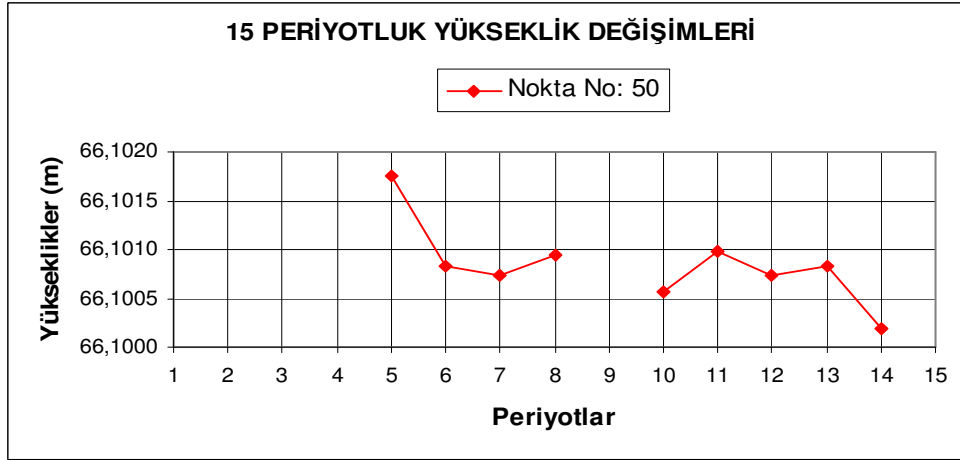
Çizelge 7.49 30 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



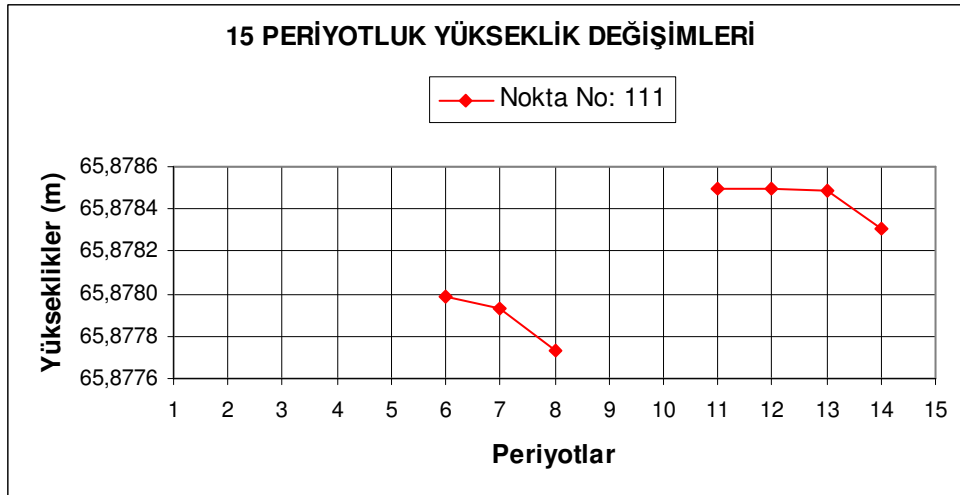
Çizelge 7.50 40 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



Çizelge 7.51 50 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



Çizelge 7.52 111 No' lu obje noktasının periyotlara göre değişim çizelgesi



7.5 Hassas Yükseklik Verilerinin Deformasyon Analizi

Deformasyon analizi çalışmaları funiküler hatta seçilen üç çalışma bölgesindeki veriler ayrı ayrı ele alınarak gerçekleştirilmiştir. Çünkü bu bölgeler arasında ilişkiyi sağlayacak bütüncül bir ölçü düzeni bulunmamaktadır. Her çalışma bölgesindeki ardışık periyotlarda da aynı nokta grupları ölçülmemiştir. Bu nedenle her üç çalışma bölgesi için ayrı ayrı aynı ölçü planlarının uygulandığı periyotlar belirlenmiştir. Çalışma bölgelerindeki bu periyotlara ilişkin bilgiler Çizelge 7.53’ de verilmiştir. Çalışma bölgelerindeki ölçülere ilişkin tanı dengelemesi bilgileri de Çizelge 7.54’ de verilmiştir.

Çizelge 7.53 Bölgelere göre karşılaştırılan ölçü periyotları ve ölçü tarihleri

Bölge Adı	Ölçme Dönemi Sayısı	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Karşılaştırılan Dönem Başlangıç No	Karşılaştırılan Dönem Bitiş No	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi
1. AKM	13	27.01.2004	31.03.2004	5	8	23.02.2004	05.03.2004
2. Binalar	25	16.03.2004	17.05.2004	4	25	27.03.2004	17.05.2004
3.Konsolosluk	15	14.05.2004	09.08.2004	8	12	21.06.2004	22.07.2004

Çizelge 7.54 Hassas geometrik nivelman tanı dengelemesi sonuçları

Bölge Adı	n	n_s	s_0 (mm)	Pdd	m_o (mm)	Pvv
1. AKM	270	16	0.03	0.29	0.46	53.1013
2. Binalar	826	20	0.06	2.69	0.27	59.4225
3. Konsolosluk	178	9	0.06	0.62	0.45	34.1881

7.5.1 AKM Bölgesindeki Hassas Yükseklik Verilerinin Analizi

AKM çalışma bölgesindeki düşey kontrol ağının herhangi bir yerinde anlamlı bir hareket olup olmadığını belirlemek üzere global test büyüklüğü aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$R_G = d_G^T \bar{P}_{dd} d_G = 6.694815$$

$$\theta_G^2 = \frac{R_G}{h_G} = \frac{6.694815}{13-1} = 0.557901$$

$$T = \frac{\theta_G^2}{m_0^2} = \frac{0.557901}{0.0015625} = 357.056774$$

$$F(h=12, f=24, \alpha=0.05) = 2.182633$$

$T > F$ olduğundan kontrol ağının herhangi bir yerinde anlamlı yer değiştirme olduğu kanaatine varılmıştır. Aynı test istatistiğinin bu bölgedeki referans noktalarından oluşan ağ yapısına uygulanması sonucunda

$$R_R = d_R^T \bar{P}_{dd} d_R = 0.241400$$

$$\theta_R^2 = \frac{R_R}{h_R} = \frac{0.241400}{2-1} = 0.241400$$

$$T = \frac{\theta_R^2}{m_0^2} = \frac{0.241400}{0.0015625} = 154.496051$$

$$F(h=1, f=24, \alpha=0.05) = 4.162524$$

$T > F$ olduğu için referans noktalarından en az birinin de hareketli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bölgede referans noktası olarak seçilebilecek yalnız iki R_s noktası bulunduğundan obje noktalarındaki düşey değişimler doğrudan bu iki noktaya bağlı olarak irdelenmiş ve jeodezik deformasyon analizi sonuçları Çizelge 7.55’ de verilmiştir. Noktalardaki düşey değişimler ve güven aralıkları ise Çizelge 7.56’ da görülmektedir.

Çizelge 7.55 AKM Bölgesi jeodezik deformasyon analizi

Sıra No	Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	T	F	h,f	Noktalardan biri hareketli mi?
1	4601	4.3193	2.0783	2.1341	124.169	2.215	11,24	Evet
2	6003	0.9688	0.9843	1.1653	74.580	2.254	10,24	Evet
3	5003	0.2528	0.5028	0.9126	64.893	2.299	9,24	Evet
4	9001	0.0815	0.2855	0.8311	66.484	2.353	8,24	Evet
5	9002	0.1260	0.3549	0.7051	64.464	2.420	7,24	Evet
6	5002	0.0165	0.1286	0.6885	73.444	2.505	6,24	Evet
7	5001	0.0461	0.2148	0.6424	82.228	2.616	5,24	Evet
8	5004	0.0380	0.1950	0.6044	96.702	2.769	4,24	Evet
9	6002	0.0971	0.3117	0.5073	108.216	2.996	3,24	Evet
10	6001	0.4749	0.6891	0.0323	10.348	3.376	2,24	Evet
11	6004	0.0323	0.1798	0.0000	0.0000	4.163	1,24	Hayır

Çizelge 7.56 AKM Bölgesi deformasyon vektörleri tablosu

Hareketsiz Referans Noktaları		
1108		
1001		
Objekt Noktaları		
Nokta Numarası	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)
4601	0.706	0.135
5001	-0.492	0.077
5002	-0.841	0.104
5003	-0.677	0.121
5004	-1.223	0.132
6001	-1.232	0.140
6002	-1.311	0.138
6003	-1.567	0.135
6004	-0.172	0.077
9001	-0.050	0.113
9002	-0.126	0.113

7.5.2 (0+400)'deki Binalar Bölgesindeki Hassas Yükseklik Verilerinin Analizi

Global test büyüklüğü (0+400)'deki binalar bölgesinde düşey kontrol ağının herhangi bir yerinde anlamlı bir hareket olup olmadığını belirlemek üzere aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

$$R_G = d_G^T \bar{P}_{dd} d_G = 3.646846$$

$$\theta_G^2 = \frac{R_G}{h_G} = \frac{3.646846}{19-1} = 0.202603$$

$$T = \frac{\theta_G^2}{m_0^2} = \frac{0.202603}{0.0011110} = 182.342286$$

$$F(h=18, f=36, \alpha=0.05) = 1.898114$$

$T > F$ olduğundan kontrol ağının herhangi bir yerinde anlamlı yer değiştirme olduğu kanaatine varılmıştır.

Referans noktalarından oluşan ağ yapısına aynı test istatistiğinin uygulanması sonucunda ise;

$$R_R = d_R^T \bar{P}_{dd} d_R = 0.002380$$

$$\theta_R^2 = \frac{R_R}{h_R} = \frac{0.002380}{2-1} = 0.002380$$

$$T = \frac{\theta_R^2}{m_0^2} = \frac{0.002380}{0.0011110} = 2.142172$$

$$F(h=1, f=36, \alpha=0.05) = 4.016300$$

$T < F$ olduğu için referans noktalarında herhangi bir hareketlilik olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu bölgede referans noktası olarak seçilebilecek yalnız iki Rs noktası bulunduğundan obje noktalarındaki düşey değişimler doğrudan bu iki noktaya bağlı olarak irdelenmiş ve Çizelge 7.57 ve Çizelge 7.58' de jeodezik deformasyon analizi sonuçları, bu noktalardaki düşey değişimler ve güven aralıkları verilmiştir.

Çizelge 7.57 (0+400)' deki Binalarda jeodezik deformasyon analizi

Sıra No	Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	T	F	h,f	Noktalardan biri hareketli mi?
1	3805	0.9980	0.9990	2.6464	140.106	1.915	17,36	Evet
2	3801	0.9956	0.9978	1.6508	92.858	1.933	16,36	Evet
3	3802	0.4683	0.6843	1.1825	70.951	1.954	15,36	Evet
4	4003	0.2940	0.5422	0.8885	57.119	1.976	14,36	Evet
5	4011	0.1818	0.4264	0.7067	48.926	48.926	13,36	Evet
6	4002	0.0964	0.3105	0.6103	45.773	2.032	12,36	Evet
7	4001	0.1001	0.3164	0.5102	41.743	2.065	11,36	Evet
8	4009	0.0568	0.2383	0.4534	40.806	2.105	10,36	Evet
9	4012	0.0719	0.2681	0.3815	38.153	2.151	9,36	Evet
10	4005	0.0541	0.2326	0.3274	36.834	2.206	8,36	Evet
11	4004	0.1835	0.4284	0.1439	18.505	2.274	7,36	Evet
12	3804	0.0415	0.2036	0.1025	15.369	2.360	6,36	Evet
13	4007	0.0268	0.1637	0.0757	13.621	2.472	5,36	Evet
14	4006	0.0495	0.2225	0.0262	5.886	2.626	4,36	Evet
15	4008	0.0238	0.1543	0.0024	0.709	2.853	3,36	Hayır

Çizelge 7.58 (0+400)' deki Binalar Bölgesi deformasyon vektörleri tablosu

Hareketsiz Referans Noktaları		
1001		
1002		
Objekt Noktaları		
Nokta Numarası	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)
4001	-0.463	0.065
4002	-0.926	0.098
4003	-0.230	0.098
4004	-0.898	0.127
4005	-0.849	0.136
4006	-0.401	0.142
4007	-0.517	0.140
4008	-0.220	0.136
4009	-0.309	0.106
4010	-0.086	0.131
4011	-0.572	0.089
4012	-0.233	0.065
3801	0.097	0.123
3802	0.052	0.136
3803	-0.015	0.134
3804	0.078	0.136
3805	0.769	0.131

7.5.3 Alman Konsolosluğu Bölgesindeki Hassas Yükseklik Verilerinin Analizi

Alman Konsolosluğu bölgesindeki düşey kontrol ağının herhangi bir yerinde anlamlı bir hareket olup olmadığını belirlemek üzere global test büyüklüğü aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

$$R_G = d_G^T \bar{P}_{dd} d_G = 3.944942$$

$$\theta_G^2 = \frac{R_G}{h_G} = \frac{3.944942}{8-1} = 0.563563$$

$$T = \frac{\theta_G^2}{m_0^2} = \frac{0.563563}{0.0004464} = 1262.381565$$

$$F(h = 7, f = 14, \alpha = 0.05) = 2.763491$$

$T > F$ olduğundan kontrol ağının herhangi bir yerinde anlamlı yer değiştirme olduğu kanaatine varılmıştır.

Referans noktalarından oluşan ağ yapısına aynı test istatistiğinin uygulanması sonucunda ise;

$$R_R = d_R^T \bar{P}_{dd} d_R = 1.508770$$

$$\theta_R^2 = \frac{R_R}{h_R} = \frac{1.508770}{3-1} = 0.754385$$

$$T = \frac{\theta_R^2}{m_0^2} = \frac{0.754385}{0.0004464} = 1689.822926$$

$$F(h = 2, f = 14, \alpha = 0.05) = 3.714036$$

$T > F$ olduğu için referans noktalarından en az birinin de hareketli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bölgede referans noktası olarak seçilebilecek yalnız üç Rs noktası bulunduğundan obje noktalarındaki düşey değişimler doğrudan bu üç noktaya bağlı olarak irdelenmiş ve jeodezik deformasyon analizi sonuçları Çizelge 7.59' da verilmiştir. Noktalardaki düşey değişimler ve güven aralıkları ise Çizelge 7.60' da sunulmuştur.

Çizelge 7.59 Alman Konsolosluğu Bölgesindeki jeodezik deformasyon analizi

Sıra No	Nokta No	R_i	θ_i	R_{kalan}	T	F	h,f	Noktalardan biri hareketli mi?
Referans Noktalarının Sabitliği Testi								
1	100	1.5013	1.2253	0.0074	16.635	4.503	2,14	Evet
Objekt Noktalarının Sabitliği Testi								
1	100	2.0020	1.4149	1.9429	725.365	2.846	6,14	Evet
2	40	0.6915	0.8316	1.2515	560.651	2.955	5,14	Evet
3	50	0.5814	0.7625	0.6700	375.226	3.107	4,14	Evet
4	10	0.3587	0.5989	0.3113	232.469	3.333	3,14	Evet
5	20	0.2526	0.5026	0.0588	65.837	3.714	2,14	Evet
6	30	0.0514	0.2266	0.0074	16.635	4.503	1,14	Evet

Çizelge 7.60 Alman Konsolosluğu Bölgesi deformasyon vektörleri tablosu

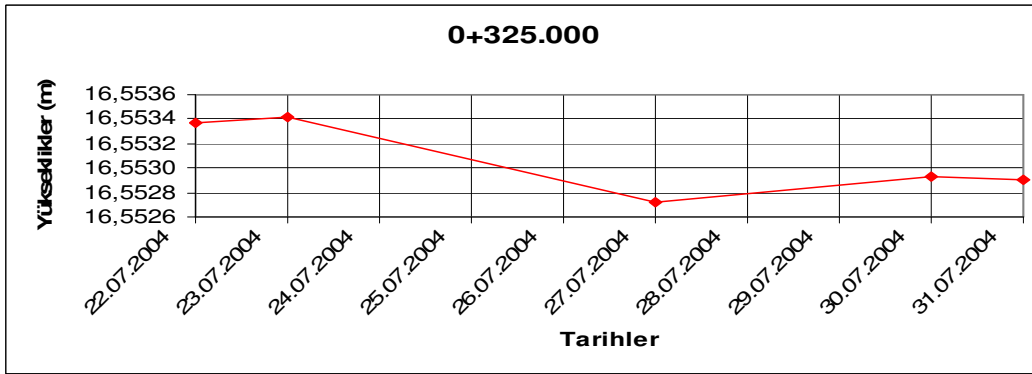
Hareketsiz Referans Noktaları		
300		
111		
Objekt Noktaları		
Nokta Numarası	Yükseklik Farkı (mm)	Güven Aralığı (mm)
10	-0.728	0.042
20	-0.608	0.054
30	-0.297	0.059
40	-1.043	0.042
50	-0.911	0.054
Hareketli Referans Noktaları		
100	-1.604	0.059

7.5.4 Konverjans Ölçülerine Ait Deformasyon Analiz Sonuçları

Füniküler hattın yaklaşık olarak Alman Konsolosluğu (0+325 km ve 0+355 km) ve binalar (0+400 km) bölgesine karşılık gelen tünel içi konverjans ölçümlerine ait çizelgeler ve grafikler aşağıda verilmiştir. Burada tünel aynasında oluşturulan üçgenlerin tape ekstansometrelerle ölçülen üçgen kenar uzunluklarının kosinüs teoremi kullanılmasıyla yükseklikleri hesaplamıştır.

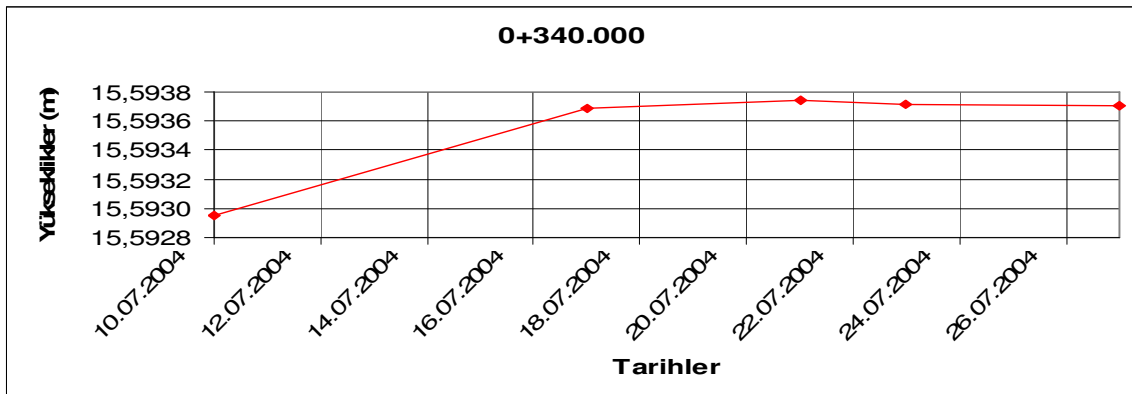
Çizelge 7.61 Alman Konsolosluğu (0+325 km) Bölgesi yüksekliklerin periyotlara göre değişimi

Ölçü Tarihi	12 Kenarı (m)	13 Kenarı (m)	23 Kenarı (m)	Yükseklik (m)
22.07.2004	19,30808	19,41500	20,08455	16,553373
23.07.2004	19,30780	19,41492	20,08371	16,553424
27.07.2004	19,30681	19,41427	20,08285	16,552722
30.07.2004	19,30675	19,41413	20,08176	16,552931
31.07.2004	19,30661	19,41390	20,08115	16,552907



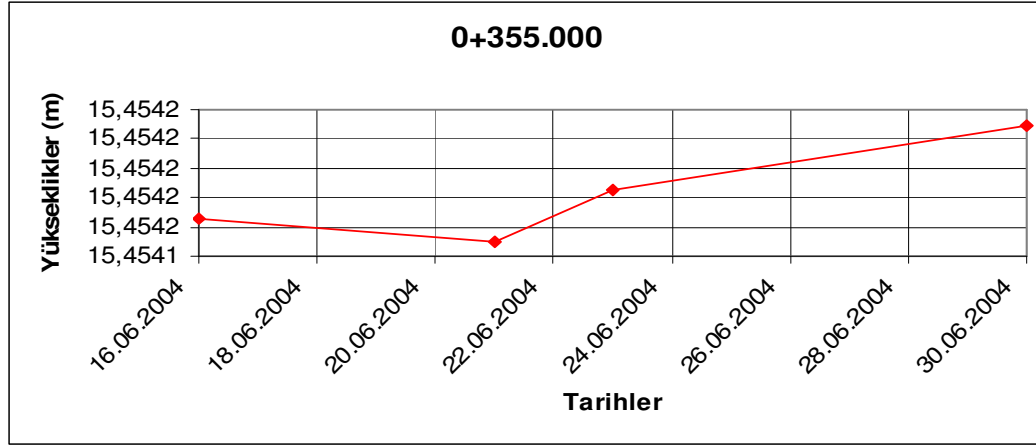
Çizelge 7.62 Alman Konsolosluğu (0+340 km) Bölgesi yüksekliklerin periyotlara göre değişimi

Ölçü Tarihi	12 Kenarı (m)	13 Kenarı (m)	23 Kenarı (m)	Yükseklik (m)
10.07.2004	19,41507	19,37412	23,06595	15,592948
17.07.2004	19,41512	19,37380	23,06350	15,593686
21.07.2004	19,41520	19,37361	23,06315	15,593747
23.07.2004	19,41529	19,37351	23,06323	15,593711
27.07.2004	19,41529	19,37351	23,06324	15,593707



Çizelge 7.63 Alman Konsolosluğu (0+355 km) Bölgesi yüksekliklerin periyotlara göre değişimi

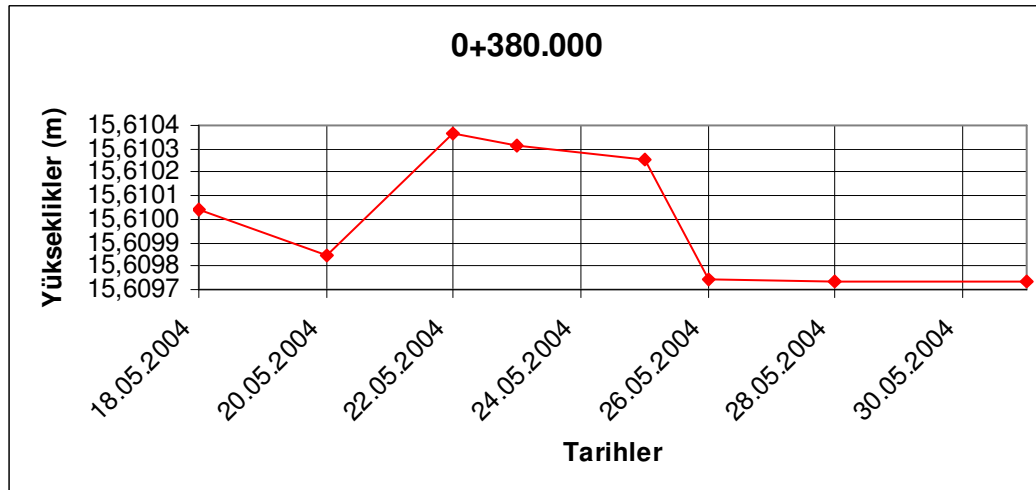
Ölçü Tarihi	12 Kenarı (m)	13 Kenarı (m)	23 Kenarı (m)	Yükseklik (m)
16.06.2004	19,29484	19,18058	22,91248	15,454165
21.06.2004	19,29448	19,18030	22,91205	15,454149
23.06.2004	19,29465	19,18061	22,91276	15,454185
30.06.2004	19,29472	19,18070	22,91291	15,454230



Çizelge 7.63' de değişimler 0.01 mm civarında belirlendiğinden çizelgedeki yükseklikler yuvarlanmış değerlerdir.

Çizelge 7.64 Binalar (0+380 km) Bölgesi yüksekliklerin periyotlara göre değişimi

Ölçü Tarihi	12 Kenarı (m)	13 Kenarı (m)	23 Kenarı (m)	Yükseklik (m)
18.05.2004	19,36964	19,46660	23,09855	15,610040
20.05.2004	19,36941	19,46656	23,09861	15,609849
22.05.2004	19,37008	19,46672	23,09861	15,610367
23.05.2004	19,37001	19,46667	23,09855	15,610314
25.05.2004	19,36995	19,46657	23,09845	15,610252
26.05.2004	19,36914	19,46657	23,09845	15,609746
28.05.2004	19,36914	19,46612	23,09773	15,609733
31.05.2004	19,36904	19,46616	23,09763	15,609733



8. SONUÇLAR

Kent içi toplu taşımacılıkta raylı sistemlerin yadsınamayacak bir önemi vardır. Nüfusu 15 milyonu bulan İstanbul şehrinde geç kalınmasına karşın raylı ulaşım sistemlerinin inşasına devam edilmektedir. Raylı sistemlerden biri olan metro ise İstanbul için bir zorunluluk haline gelmiştir. Yerleşimin yoğun olduğu yerlerde yapılan çalışmalarda ise çalışmaların çevreye zarar verip vermediğinin belirlenmesi için somut gözlemlere gereksinim vardır. Jeodezik ölçmeler ise bu verileri elde etmemize olanak veren en doğru ve güvenilir verilerden biridir. Jeodezik ölçmeler yer üstünde nirengi ve hassas nivelman ağı yeraltında ise poligon geçkisi şeklinde uygulanmaktadır.

Ancak böylesi önemli bir çalışmada herhangi bir yöntemle elde edilen sonuçları başka bir yolla denetlemeden kesin bir yargıya varmak doğru değildir. Bu nedenle mutlak sonuç veren jeodezik yöntemlerin yanında genellikle tünel içinde uygulanan bağıl fiziksel ölçme donanımlarından da yararlanılmalıdır.

Talep edilmesine karşın İstanbul'da son açılan metro tüneli olan Taksim-Kabataş Füniküler Hattının verileri bir bütün olarak değerlendirilmek üzere elde edilememiştir. Bu nedenle çalışmada güzergah üzerinde seçilen 3 çalışma bölgesindeki hassas geometrik nivelman ölçülerinin değerlendirilmesi yoluna gidilmiştir.

Ölçüler gidiş dönüş şeklinde yapılmamıştır. Ölçme inceliği hakkında bilgi sahibi olabilmek için miraların sol ve sağ bölümlerinde yapılan okumalardan yararlanılmış ve 0.01 mm gibi bir büyüklük elde edilmiştir. Bu durumda ölçülerin yeterli doğrulukta yapıldığı söylenebilmekte ancak güvenilirliklerinin ne olduğu sorusu yanıtsız kalmaktadır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda 1. çalışma bölgesinde maksimum düşey oturmanın 6003 no'lu obje noktasında -1.567 mm büyüklüğünde olduğu (Çizelge 7.56), 2. çalışma bölgesinde maksimum düşey oturmanın 4002 no' lu obje noktasında -0.926 mm olduğu (Çizelge 7.58), 3. çalışma bölgesinde maksimum düşey değişimin 40 no' lu obje noktasında -1.043 mm, 100 no' lu referans noktasında ise -1.604 mm olarak (Çizelge 7.60) gerçekleştiği belirlenmiştir. Çalışma bölgelerinde seçilen periyotlar arasında yapılan deformasyon analizleri sonucunda elde edilen bu verilere göre ortalama -1.5 mm civarında oturmaların olduğu görülmüştür. Çalışma bölgelerinde deformasyon analizleri sonucunda maksimum değişimin belirlendiği noktalardaki düşey değişimlerin gösterildiği grafikler incelendiğinde bu noktalardaki en büyük değişimlerin -2 mm büyüklüğünde olduğu görülmektedir.

Nivelman ölçülerinin yapıldığı bu üç çalışma bölgesinden elde edilen iki bölgedeki konverjans ölçüleri de incelenmiştir. Ölçüler her kesitte bir üçgen oluşturacak şekilde 2 yan duvar ve 1 tepe noktasından hassasiyeti 0.01 mm olan tape ekstensometre ile üçgen kenar ölçümleri belirli periyotlarda ölçülmüştür. Üçgenlerin yükseklikleri hesaplanarak bunlardaki değişimler incelenmiştir. Buna göre Alman Konsoloslugu Bölgesine denk gelen 0+325 km' deki tünel içi ölçümlerinde düşey değişimin -0.7 mm büyüklüğünde (Çizelge 7.61), 0+340 km' deki düşey değişimin 0.7 mm olduğu (Çizelge 7.62), 0+355 km' deki düşey değişimin 0.08 mm, binalar bölgesinde ise 0+380 km' deki düşey değişimin -0.63 mm (Çizelge 7.63) olduğu belirlenmiştir.

Tünellerdeki jeodezik deformasyon ölçmeleri tünelin açıldığı yerde deformasyon beklenen bölgeyi kapsayacak şekilde yapılmaktadır. Dolayısıyla güzergahın başlangıcından bitimine kadar ortak noktalarda içeren ardışık bir ağ yapısı söz konusu olmaktadır. Sonuç olarak güzergahın başlangıç ve bitiş ağ yapılarında hiçbir ortak nokta bulunmamaktadır. Bu tür yapı ise multi-varyant bir ağ yapısı olarak tanımlanabilir. Açılan bölgelerdeki analizlerde jeodezik değerlendirme açısından herhangi bir sıkıntı bulunmamaktadır.

Ardışık dönemlerdeki ortak olmayan noktaların eliminasyon yöntemi ile analiz yapılması mümkündür. Ancak güzergah boyunca ölçülerin olmaması nedeniyle nokta değişimi olan ardışık periyotlarda ağ yapısı sürekli değişmektedir. Bu ise uygulamada verilerin düzenlenmesi ve değerlendirilmesi bakımından uygulamacı için bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

Güzergah boyunca yapılan ölçülerin tamamının birlikte değerlendirilmesi (Ünlütepe, 2002) mümkün olsa da bunun için güzergah boyunca bütün ölçülerin bitirilmiş olması gerekmektedir.

Bu sonuçlara göre jeodezik ve fiziksel ölçme sistemlerinden elde edilen verilerin kombinasyonu ve değerlendirilmesi için uygulamaya yönelik bir sistemin geliştirilmesinin uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Alkan R.M., Kalkan Y. ve Yanalak M., (2005) “ Ulaştırma Yapılarına İlişkin Mühendislik Projelerinde Yatay-Düşey Kontrol Ağlarının Oluşturulması: Üsküdar-Ümraniye 2. Etap hafif Metro Projesi Örneği”, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 28 Mart-1 Nisan 2005, Ankara.
- Alkan R.M. ve Kalkan Y., (2005) “Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri”, 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İstanbul.
- Aydın C., (2001) “Yerkabuğundaki Düşey Deformasyonların Analizinde Statik Modelin Güvenirliği Üzerine Bir İnceleme” Yüksek Lisans Tezi, YTU Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Aydın Ö., (1998) “Hassas Yükseklik Ölçmeleri Lisansüstü Ders Notları” Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, İstanbul.
- Aydın Ö., (2000) “Mühendislik Ölçmeleri” Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, İstanbul.
- Bening W., (1983) “Deformationsanalyse Mittels Fingierter Stiecken, Deformationsanalysen’83, Geometersische Analyse und Interpretation von Deformationen Geodaetischer Netze, HSBC, Heft 9, München.
- Demirel H., (2001) “Dengeleme Hesabı YTÜ Lisans Ders Notları”, İstanbul.
- Deumlich F., (1982) “Surveying Instruments”, Walter de Gruyter, New York.
- Erkaya H., (1987) “Mühendislik Yapılarındaki Deformasyonların Jeodezik Yöntemlerle Saptanması ve Bir Model Üzerinde Uygulaması Doktora Tezi” Yıldız Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Fidovszky L., (1983) “Surveying Instruments and Their Operational Principles”, Budapest.
- Gülal V. E., (1992) “Mühendislik Yapılarındaki Deformasyonların Belirlenmesinde Üç Boyutlu Jeodezik Yaklaşım” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Heck B., (1983) “Das Verfahren des Analysis von Geodasisches Institute der Universtat Karlsruhe, Schriftenreihe Wiss. Studiengang Vermessungswesen, HSBW Heft 9, München
- Henriques M. J. (2006) “Uncertainty Tacheometric Measurement Of Convergences In Tunnels” 12th FIG Symposium, May 22-24, Baden.
- Hoşbaş R. G., (1992) “Baraj Deformasyonlarının Belirlenmesinde Jeodezik Yaklaşımların İrdelenmesi ve Bir Öneri Doktora Tezi”, İstanbul.
- Hoşbaş R. G., Demirkaya S. ve Erkaya H., (2005) “Hannover Yaklaşımı ile Geometrik Analiz Sürecine Bir Kısa Yol Önerisi, 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul.
- Hoşbaş R. G., (2004) “Barajlarda Deformasyon Ölçmeleri Lisans Ders Notları”, İstanbul.
- Özhan N., (1994) “Deformasyonların Belirlenmesinde Kullanılan Jeodezik Ölçü Yöntemleri Bunların İrdelenmesi Ve Öneriler İstanbul Metrosu” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Öztürk E., ve Şerbetçi M., (1992) “Dengeleme Hesabı III”, KTÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, Trabzon.

Moosavi M. and Khazaei S., (2003) "Proceedings, 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece.

Uzel K., Eren K., Kıymaz G., Coşkun E., Türk M. ve E. Seçkin (2006) "Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyonları, Ulusal Cors Projesi, Proje No:105G017" İKÜ Proje Yayın No:2, İstanbul.

Ünlütepe A., (2002) "Monitoring Vertical and Horizontal Displacements During The Construction Of İzmir LRTS "NATM" and "EPBM" Tunnels", Doktora Tezi, İstanbul.

Ünlütepe A., (2003) "Tünel İnşaatları Sırasında Uygulanan Ölçme Yöntemleri ve Bu Yöntemlerin Değişik Tünelcilik Metodları İçin Karşılaştırılması, 1. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul.

Ünlütepe A. ve Messing M., (2005) "Tünel Ölçme Uygulamalarında Son Yenilikler", 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul.

Yalçinkaya M., (1996) "Nivelman Ağlarında Duyarlık ve Güven Ölçütleri" Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 80:73-85

Wolf and Ghilani, (2002) "Elementory of Surveying and Introduction to Geomatics, New Jersey.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://cgi.ebay.es/Nivel-Automatico-Leica-Wild-NAK2>

[2] <http://www.e-messmer.de/images/tc2002.jpg>

[3] www.gage-technique.demon.co.uk

[4] <http://www.heungin.co.kr>

[5] <http://www.hurriyet.com.tr>

[6] <http://www.sistemas.com.tr/pagei.php?ID=26>

[7] <http://www.ym.com.tr>

[8] <http://www.tunnelbuilder.com>

[9] <http://www.yapi.com.tr>

[10] <http://w3.balikesir.edu.tr/~atufan/xcrs/metro.doc>

[11] www.wowturkey.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	03.05.1981	
Doğum yeri	Bilecik	
Lise	1992-1999	Bilecik Anadolu Lisesi
Lisans	1999-2003	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Anabilim Dalı, Geomatik Programı

Çalıştığı kurumlar

	2004-2005	Anadolu Mühendislik Ltd Şti.
	2005-2005	Netcad Ulusal Cad ve GIS Çözümleri Mühendislik
Bilgisayar A.Ş.	2005- Devam ediyor	Ekol Yapı İnşaat San. Ve Tic. LTD. ŞTİ.