

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAYISAL PRESİZYONLU NİVOLAR VE SAYISAL
PRESİZYONLU NİVELMAN TEKNİĞİNİN DOĞRULUĞU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Seydi Kürşat EKİNCİ

Anabilim Dalı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2008

**SAYISAL PRESİZYONLU NİVOLAR VE SAYISAL
PRESİZYONLU NİVELMAN TEKNİĞİNİN DOĞRULUĞU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Seydi Kürşat EKİNCİ
(501051622)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2008

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Mustafa YANALAK
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Yunus KALKAN (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Halil ERKAYA (Y.T.Ü.)

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, her zaman ilgi ve desteğini gördüğüm, doküman ve envanterlerde katkıda bulunan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa YANALAK'a, bana maddi ve manevi her türlü desteği veren aileme sonsuz teşekkür ederim.

S.Kürşat EKİNCİ

Ocak 2008

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Sayısal Niveların Tarihsel Gelişimi	2
2. PRESİZYONLU NİVELMAN TEKİNİĞİ	4
2.1. Genel Bilgiler	4
2.2. Presizyonlu Nivelmanda Alet Donanımı	6
2.2.1. Miralar	6
2.2.2. Nivelar	7
2.2.2.1. Düzeci dürbünü sabit fenkalajlı nivo	7
2.2.2.2. Kompansatörlü nivo	8
2.2.3. Presizyonlu nivelarda mira okuma inceliğini artıran donatım	10
2.2.3.1. Eğik gözleme yöntemi	10
2.2.3.2. Paralel yüzlü cam plaka ve mikrometre donatımı	11
2.3. Presizyonlu Nivelmanda Hata Kaynakları	12
2.3.1. Nivelardan kaynaklanan hatalar	12
2.3.1.1. Nivo gözleme eksen şartının düzensizliği	12
2.3.1.2. Küresel düzeç eksen şartının düzensizliği	14
2.3.1.3. Kompansatörlü nivelarda artık kompensasyon hatası	14
2.3.1.4. Nivelardan kaynaklanan diğer hatalar	16
2.3.2. Miralardan kaynaklanan hatalar	16
2.3.2.1. Mira bölümlendirme hatası	16
2.3.2.2. Mira çifti konum hatası	17
2.3.2.3. Mira eğikliği hatası	18
2.3.2.4. Mira taban düzleminin şerit düzeyine dik olmaması hatası	18
2.3.3. Dış ortamdan kaynaklanan hatalar	18
2.3.3.1. Nivo ve miralarda çökme hatası	18
2.3.3.2. Refraksiyon hatası	19
2.3.3.3. Sıcaklık hatası	19

3. SAYISAL MİRA VE NİVOLARIN YAPILARI	21
3.1. Sayısal Miraların Yapıları	21
3.2. Sayısal Nivoların Yapıları	21
3.3. Sayısal Nivelman ve Sayısal Nivoların Tekniği	23
3.3.1. Sayısal nivelman tekniğinin temelleri ve görüntü teknolojisi	23
3.3.2. Sayısal nivelmanda kullanılan kodlamalar	24
3.3.3. Alıcı birimlerinin genel özellikleri	26
3.4. Sayısal Mira ve Nivoların Kalibrasyonu	27
3.4.1. Mira kalibrasyonu	27
3.4.2. Sistem kalibrasyonu	27
3.4.3. Kalibrasyon araçlarının tanımlanması	28
3.4.3.1. Mira ölçeği tespiti için yatay komparatör	28
3.4.3.2. Sistem kalibrasyonu için düşey komparatör	29
4. UYGULAMA	31
4.1. İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Nivelman Ölçmeleri	31
4.1.1. Nivelman ölçülerinin değerlendirilmesi ve nokta yüksekliklerinin hesabı	33
4.1.2. Dengeleme Hesabı	33
4.1.3. Maliyet Karşılaştırılması	35
4.2. Santral İstanbul Deformasyon Ölçmeleri	36
4.2.1. Noktaların tesisi	36
4.2.2. Nivelman ölçmeleri ve dengeleme hesabı	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	42
EKLER	44
ÖZGEÇMİŞ	75

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Farklı markalardaki Sayısal Nivolarla Ait Teknik Özellikler Tablosu.....	3
Tablo 3.1 Firmalara Göre Mira Kod Özellikleri.....	25
Tablo 4.1 İTÜ Nivelman Ağına Ait Dengeleme Özet Tablosu.....	35
Tablo 4.2 Klasik ve Sayısal Nivolarla Yapılan Bir Günlük (8 Saat) Presizyonlu Nivelman Ölçmelerinin Maliyet Karşılaştırması.....	35
Tablo 4.3 Santralİstanbul’a Ait Dengeleme Özet Tablosu.....	38

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Wild NA 2000 Sayısal Nivosu.....	2
Şekil 1.2 : Leica DNA Serisi Sayısal Nivo (a) Trimble DINI Sayısal Nivo Serisi (b)	3
Şekil 2.1 : Presizyonlu Nivelmanda Bir İstasyon Noktasındaki Ölçme Modeli.....	5
Şekil 2.2 : Kompansatörlü Nivo Kesiti.....	8
Şekil 2.3 : Paralel Yüzlü Cam Plaka ve Micrometre Donatımı.....	11
Şekil 2.4 : Nauber Yöntemi.....	13
Şekil 3.1 : Sayısal Nivoların Kullandığı Kodlar.....	26
Şekil 3.2 : NA 3003 Serisi Sayısal Nivonun Optik İlkesi.....	26
Şekil 3.3 : Sayısal Nivo İle Ölçme İşlemi.....	28
Şekil 3.4 : Yatay Komparatör ve Elektro-optik Mikroskop.....	29
Şekil 3.5 : GML-TUG’ daki Düşey Komparatör Planı.....	30
Şekil 3.6 : Aydınlatılmış Düşey Komparatör (a) ve Mira Konumu (b).....	30
Şekil 4.1 : Carl Zeiss Ni1 (a) ve Topcon DL 101-C.(b).....	32
Şekil 4.2 : Sayısal Nivo İle Ölçme İşlemi (a) ve Klasik Nivo İle Ölçme İşlemi (b).....	32
Şekil 4.3 : Bölgede Tesis Edilen Düşey Obje Noktaları.....	36
Şekil 4.4 : Bölgede Tesis Edilen Düşey Kontrol Noktaları.....	37
Şekil 4.5 : Presizyonlu Nivelman Ölçmeleri.....	37

SEMBOL LİSTESİ

a	: Yatay ışın kayma miktarı
α	: Alet eğiklik açısı
f	: Odak uzaklığı
β	: Kompansatörün yatay ışını kırma açısı
m	: Yatay gözleme karşılığı mira okuması
r	: Eğim değeri
l	: Gözleme uzaklığı
γ	: Gözleme ekseninin yatayla yaptığı açı
d	: Gözleme uzaklığı
P_m	: Kompansatör hata miktarı
a_1, b_1	: Mira okuması
z	: Miradaki hata miktarı
S_i	: Miradaki herhangi bir bölüm çizgisi
b_i	: S_i çizgisine ait çizgi düzeltmesi
V_i	: b_i çizgi düzeltmesinin rastlantısal bileşeni
N_m	: Mira ölçeği düzeltmesi
t	: Miranın iç sıcaklığı
t_0	: Miranın kalibrasyon sıcaklığı
α	: İnvar şeridin termik uzama katsayısı
P_i	: Ölçülerin Ağırlığı
σ_0^2	: Varyans
σ_0	: Standart sapma
V_i	: Düzeltme değeri
f	: Serbestlik derecesi
n	: Ölçü sayısı
u	: Bilinmeyen sayısı

SAYISAL PRESİZYONLU NİVOLAR VE SAYISAL PRESİZYONLU NİVELMAN TEKİNİĞİNİN DOĞRULUĞU

ÖZET

Bu tez çalışmasında yükseklik ölçme tekniğı, geometrik nivelman yöntemlerinden olan presizyonlu nivelman, sayısal nivo ve mira çeşitleri, nivo ve miraların kalibrasyonu gibi teknik bilgiler ve yapılan çeşitli uygulama örneklerine yer verilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa kampusunda bulunan jeodezik noktaların kotlarının belirlenmesi amacı ile bu noktalar arasında gidiş-dönüş olmak üzere presizyonlu nivelman yapılmıştır. Yapılan ölçmeler sayısal presizyonlu nivo ve klasik presizyonlu nivo ile iki farklı alet donanımı ile yapılmıştır. Santral İstanbul projesi kapsamında bulunan Silahtarağa eski elektrik santrali bölgesindeki düşey deformasyon noktalarının deformasyonlarının belirlenmesi için noktalar arasında gidiş-dönüş olmak üzere presizyonlu nivelman yapılmıştır. Ölçmeler sayısal nivo ile gerçekleştirilmiştir. Her iki uygulama için nokta yüksekliklerinin belirlenmesi ve iki farklı donanım ile yapılan presizyonlu nivelmanın hesap ve maliyet yönünden karşılaştırılmasını kapsamaktadır. Arazi işlerinin tamamlanmasından sonra elde edilen ölçmelerden çeşitli doğruluklar hesaplanmış ve bu doğruluklara göre yorumlar yapılmıştır. Yapılan uygulamalarda Topcon firmasının ürettiğı DL 101 C sayısal presizyonlu nivosu ve Zeiss Ni 1 marka klasik presizyonlu nivo kullanılmıştır. Sayısal nivelmanda 3 metrelik invar barkodlu mira ve klasik nivelmanda ise 2 metrelik invar mira kullanılmıştır. Her iki ölçme yönteminde de mira altlığı ve miraların sabitlenmesi için sabitleyici jalonlar kullanılmıştır. Niveloların kalibrasyonları İstanbul Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğı Bölümü Ölçme Tekniğı Anabilim Dalı ölçme laboratuvarında yapılmıştır.

DIGITAL PRECISE LEVELS AND ACCURACY OF DIGITAL PRECISE LEVELING TECHNIQUE

SUMMARY

Within this thesis work, some technical information likes altitude measurement technique, precise leveling which is one of the geometrical leveling method, digital level and assortment of staff, calibration of level and different implementation examples were allocated. Because of determining altitudes of geodetic points in ITU Ayazaga campus, the precise leveling was done between each geodetic point like going-return method. This measurement was done two different kind of instrument like digital precise level and classical precise level. Precise leveling was done because of deformation determining of vertical deformation points in old electrical switchboard Santral Istanbul in Silahtaraga by using going-return method. Determining the altitude and comparison of precise leveling which is done by two different rigging by means of calculation and cost for both implementation examples. In the light of these data obtained from field works, some accuracy is calculated and according to these accuracies interpretation commentaries are done. In this work, Topcon DL 101 C digital precise level and Zeiss Ni 1 classical level were used. In digital leveling, the invar staff was used which is 3 meters with barcode and also the invar staff was used which is 2 meters in classical leveling. Staff pads were used in both measurement techniques with supporter rods. Calibrations of instruments were made in ITU geodetic lab.

1. GİRİŞ

Bildiğimiz gibi Dünyamız her geçen gün gelişmekte ve her alanda insan hayatını etkileyecek yenilikler üretilmektedir. Ölçme tekniği alanında yeni aletler üretilmekte veya aletlere yeni donanımlar, yeni teknolojiler eklenmektedir. Sayısal nivoların üretimi ve gelişimi mühendislik (yükseklik) ölçmelerinde gerek hassasiyet gerek maliyet ve gerekse zaman açısından oldukça yarar sağlamaktadır.

Mühendislik projelerine hizmet verecek temel jeodezik ölçmeler içinde yükseklik ölçmeleri önemli bir yere sahiptir. Özellikle “Presizyonlu Nivelman Ölçme Tekniği” sıkça başvurulmuş tekniklerdendir. Bu çalışmada yükseklik ölçme tekniği, geometrik nivelman yöntemlerinden olan presizyonlu nivelman, sayısal nivo ve mira çeşitleri, nivo ve miraların kalibrasyonu gibi teknik bilgiler ve yapılan çeşitli uygulama örneklerine yer verilmiştir. Bu uygulamalardan biri olan, İTÜ Ayazağa Kampüsü nivelman ağına ait jeodezik noktaların kotlarının belirlenmesi amacı ile bu noktalar arasında gidiş-dönüş olmak üzere presizyonlu nivelman yapılmıştır. Arazi işleri tamamlandıktan sonra yapılan ölçmeler ortalama yükseklik farkları kullanılarak alet kurma sayısı ve nivelman yoluna göre ayrı ayrı dengelenmiştir. Gidiş-dönüş Δh 'ları farklarından da bir doğruluk hesaplanmıştır. Santral İstanbul projesi dahilinde, Silahtarağa'da bulunan eski elektrik santralindeki yapıların yatay ve düşey deformasyonlarını belirlemek için deformasyon ölçmeleri yapılmıştır. Bu çalışmada düşey ölçmelerin nasıl yapıldığı, presizyonlu nivelman ölçme değerlerinin dengeleme hesapları ve doğruluklarından bahsedilmiştir. Son olarak, çalışmalarda ulaşılan bazı sonuçlar verilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

1.1 Sayısal Nivoların Tarihsel Gelişimi

Gelişen teknoloji birçok alanda olduğu gibi mühendislik alanlarında da oldukça etkili olmuştur. Bu alanlardan biri de ölçme tekniğinde önemli rol alan yükseklik ölçmeleridir(nivelman). Geometrik nivelman tekniğinde klasik nivoların yerini artık yavaş yavaş “Sayısal Nivolar” almaktadır. İlk sayısal nivo, 1990 yılının Mayıs ayında İsviçre’de Leica firması tarafından üretilmiş ve Wild NA 2000 adını almıştır. (Şekil 1.1) [1].



Şekil 1.1: Wild NA 2000 Sayısal Nivosu

Bu nivo ile miraya duyarlı yöneltme, mira bölümlerinin okunması ve veri kaydı otomatikleşmiştir. Bu alet, özel olarak yapılmış bar kodlu bir miranın görüntüsünü, sayısal görüntü işleme ve korelasyon yöntemine göre değerlendirmektedir. Sayısal nivolar, optik teleskop, kompensatör, dedektör diyot dizisi (CCD), micro kontrol ünitesi ve yazılım gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Sayısal nivo teknolojisinde mira okuması için; gözlemci yerine, dedektör diyot dizisi işlem yapmaktadır. Dedektör diyot dizisi, bar kodlu miradan bir sinyal kalıbı üretmektedir. Alette bir korelasyon işlemi ile, mira görüntüsü düşey mira okumasına ve alet-mira uzaklığına dönüştürülmekte ve gözlemci tarafından yapılabilecek okuma hataları giderilebilmektedir [2].

Firma 1991 yılının sonbaharında, duyarlılık yönünden daha gelişmiş model olan NA 3000'i üretmeye başlamıştır. Bu yeni modelde aletin üst yapısı bir güneşliğin objektifin önüne yerleştirilmesiyle uzatılmıştır. Son olarak da bu iki aletin en yeni modelleri olan NA 2002, NA 3003 sayısal nivoları üretilmiştir [2]. Teknolojinin hızla

gelişmesi birçok firmayı da yeni ürünler üretmeye yöneltmiştir. 2006 yılının sonlarına doğru Leica firması DNA serisi, Trimble firması da DINI serisi sayısal nivolarını üretmişlerdir (Şekil 1.2a-1.2b). Farklı markalardaki sayısal nivoların bazı teknik özellikleri de tablo 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.2: a) Leica DNA serisi Sayısal Nivo b) Trimble DINI Sayısal Nivo serisi

Tablo 1.1: Farklı Markadaki Sayısal Nivolara Ait Teknik Özellikler Tablosu.

	Trimble			Topcon	LEICA	
	DiNi 12	DiNi 12T	DiNi 22	DL 101C	DNA03	DNA10
Ölçme Doğruluğu	0.3mm	0.3mm	0.7mm	0.4mm	0.3mm	0.9mm
Büyütme	32x	32x	26x	32x	24x	
Ölçme Süresi	3sn	3sn	2sn	3sn	3sn	
Ölçme Mesafesi	1.5-100m			2-60m	1.8-60m	
Kompansatör	+/-1.5'			+/-0.3'	+/-0.2'	+/-0.5'



Trimble DiNi Serisi



Topcon DL 101C



Leica DNA Serisi

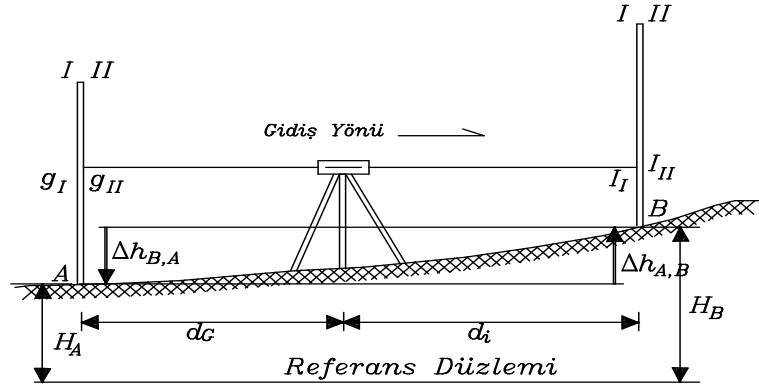
2. PRESİZYONLU NİVELMAN TEKNİĞİ

2.1 Genel Bilgiler

Gerek nirengi, poligon, nivelman noktalarının yükseklik doğrulukları için 1 mm'den daha iyi bir değer talep edildiğinden, gerekse mühendislik ölçmelerinde yüksek doğruluklar gerektiğinden yükseklik farklarının ölçülmesinde presizyonlu nivelman tekniği kullanılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu teknik, $\pm (0.2 - 0.8) \text{ mm} / \sqrt{S (\text{km})}$ gibi oldukça yüksek doğruluk sağlayan özel bir geometrik nivelman yöntemidir. Bu doğruluğa erişebilmek için geometrik nivelmanda kullanılan donanım bazı ilaveler yapılmış ve klasik geometrik nivelmandan farklı olarak ölçme yönteminde de değişiklikler yapılmıştır. Bunlar kısaca aşağıda özetlenmiştir [3]:

- 1-) Presizyonlu nivelmanda kullanılan nivonun kalitesi artırılmıştır,
- 2-) Okuma doğruluğunu arttırmak için nivonun objektifinin önüne bir paralel yüzlü cam plaka ve mikrometre donatımı ilave edilmiştir,
- 3-) Klasik miralar yerine tek parçalı ve özel bölümlendirmeli bir çift invar mira, mira altlıkları ve mira destekleri kullanılmıştır,
- 4-) Dış ortamdan kaynaklanan hatalara (refraksiyon, küresellik, çökme vb. gibi) karşı daha fazla önlemler alınmıştır,

Presizyonlu nivelmanda bir istasyondaki ölçme modeli Şekil 2.1'de verilmektedir.



Şekil 2.1: Presizyonlu Nivelmanda Bir İstasyondaki Ölçme Modeli

Geometrik nivelman ölçme modelindeki başlıca varsayımlar şöyle sıralanabilir; Mira tutulan noktalardan geçen yatay düzlemler ile nivonun gözleme düzlemi birbirine paraleldir. Bu noktalardan geçen düşey doğrultular ile yatay düzlemler ise birbirine diktir. Ölçme süresince miralar düşey konumdadır ve düşey doğrultuda yer değiştirmedeği varsayılır. Ayrıca, miralarda bölümlendirme hatası olmadığı kabul edilir. Bu varsayımlara göre herhangi iki nokta arasındaki yükseklik farkı bir vektör olup, bu vektörün doğrultusu düşey doğrultu ile çakışıktır. Vektörün yönü ise, ölçme yönüne göre değişir ve biri diğerinin ters işaretlisi olur:

$$\overline{\Delta h_{AB}} = -\overline{\Delta h_{BA}} \quad (2.1)$$

Presizyonlu nivelman ölçmelerinde bunlara ek olarak, nivonun her bir kuruluşunda, geri ve ileri noktalarda tutulan miralarda I. (ana) ve II. (yardımcı) bölümlendirmeler okunmakta (g_I, g_{II}, i_I, i_{II}), böylelikle yükseklik farkları ikişer kez ölçülmektedir. Ayrıca, nivelman noktaları arasındaki ölçmeler, doğruluğu artırmak, kaba hataları ortaya çıkarmak ve bir doğruluk kriteri elde edebilmek için gidiş-dönüş olarak yapılır. Sonuçta noktalar arasındaki yükseklik farkları için dörder değer elde edilmiş olur.

Diğer taraftan, presizyonlu nivelman ölçmelerinde sistematik hatalara karşı bazı önlemler alınır. Bunlar;

- Ölçmelerde kullanılacak aletlerin kontrol ve kalibrasyonunun yapılması,
- Uygun ölçme yönteminin uygulanması,
- Uygun bir matematik modele göre gerektiğinde ölçülere düzeltme getirilmesi şeklinde sıralanabilir.

2.2 Presizyonlu Nivelmanda Alet Donanımı

Presizyonlu nivelman ölçmesinde alet donatımı, geometrik nivelmana özdeş olarak mira ve nivodur. Bunlara ek olarak, miraların tutulduğu zemin noktalarındaki çökmeleri azaltmak için mira destekleme donatımı kullanılır.

2.2.1 Miralar

Presizyonlu nivelmanda bir çift invar mirası kullanılır. İnvar miraların yapısı, 25 mm genişlikte ve yaklaşık 1 mm kalınlıkta bir invar şeritle bu şeridin yerleştirildiği ahşap veya metal bir kasadan oluşur. Isı genleşme katsayısı son derece küçük olan şerit, kasa içine özel bir şekilde yerleştirilmiştir. İnvar şeridin bir ucu, germe yayı ile mira kasnağına bağlıdır. Bu yay vasıtasıyla invar şerit üzerine 10-20 kg'lık sabit bir çekme kuvveti uygulanır. Presizyonlu nivelmanda invar miraların kullanılmasının nedeni, sıcaklık ve nem değişimlerinden doğacak hata etkilerini azaltmaktır.

Presizyonlu nivelman ölçmelerine ölçek verecek uzunluk birimleri invar şerit üzerinde bulunur. Bu birimlerin invar şerit üzerine işaretlenmesi işlemine 'miraların bölümlendirilmesi' denir. Bu bölümler beyaz zemin üzerine siyah renkte ve yaklaşık 0.8 mm kalınlıkta bölüm çizgileri belirlenmiştir. İnvar şerit üzerinde en küçük bölüm 'Mira Birimi (B_m)' adını alır. Günümüzde $B_m=10$ mm ve $B_m= 5$ olmak üzere iki tür bölümlendirme yapılmaktadır [4].

İnvar miraların hemen hepsinde yan yana iki bölümlendirme vardır. Bunlardan birisi, bölüm çizgilerinin mira tabanından olan yüksekliğini gösterecek şekilde bölümlendirilmiş olan 'ana bölümlendirme' ya da 'sol bölümlendirme' dir. Diğer ana bölümlendirmeye göre sabit bir C değeri kadar kaydırılmıştır. Bu sabit C değerine 'mira sabiti', kaydırılmış bölümlendirmeye ise 'yardımcı bölümlendirme' veya 'sağ bölümlendirme' adı verilir. C sabiti değişik firmalar için değişik değerlerde olur [4].
Örneğin:

Wild miralarında $C = 301.500 B_m$

Zeiss Jena miralarında $C = 592.500 B_m$

Kern miralarında $C = 606.500 B_m$

Ölçme modelinin bir gereği olarak ölçme sırasında miraların düşey tutulması gerekir. Bunu sağlamak amacıyla invar mira üstüne bir küresel düzeç konmuştur.

Miralardaki çökme hatalarını azaltmak ve miranın döndürülmesi sırasında miranın tutulduğu noktanın değişmemesini sağlamak üzere özel mira altlıkları kullanılır. Aynı şekilde miraların düşey tutulmasını sağlamak ve sallanmasını önlemek amacıyla mira destekleme donatımı veya kolay taşınması bakımından en az iki adet jalon kullanılır [4].

2.2.2 Nivolar

Nivo, yatay gözleme yapabilen dürbünlü bir ölçme aletidir. Nivonun en önemli parçaları dürbün ve yatay gözlemeyi sağlayan donatımıdır.

Nivoların değişik yapıda birkaç türü bulunmakla birlikte presizyonlu nivelman ölçmelerinde kullanılan presizyonlu nivolar; Düzeci dürbünü sabit fenkalajlı nivo, komponsatörlü (otomatik) nivo türlerinde yapılmaktadır. Bu ayrımda en büyük rol yatay gözlemeyi sağlayan donatımıdır. Presizyonlu nivo dürbünlerinde büyütme gücü en az 40x, objektif çapı 50mm'dir. Dürbün içindeki ışık kaybı en aza indirilmiştir. Presizyonlu nivolarda kullanılan sehpalara, normal sehpalara göre daha ağır olup bacakları genellikle uzayıp kısalmaz [3,4].

2.2.2.1 Düzeci Dürbünü Sabit Fenkalajlı Nivo

Düzeci dürbünü sabit fenkalajlı nivolarda yatay gözleme diğer bir değişle dürbün gözleme ekseninin yatay kılınması, dürbüne monte edilmiş bir silindir düzeçten oluşan üst kısım, bir yaylı eklem aracılığı ile nivonun alt kısmına bağlanmıştır. Üst kısım, diğer kısımlardan bağımsız olarak düşey düzlem içinde sınırlı bir hareket yapabilmektedir. Bu hareket fenkalaj vidasının döndürülmesi ile sağlanmaktadır. Bu tür nivoların en önemli (ana) eksen şartı: 'dürbün ekseninin silindir düzeç eksenine paralel olmasıdır'. Silindir düzeç ekseninin asal eksene dik olma şartı bu nivolarda aranmaz [5].

Dürbün gözleme ekseninin yatay kılınma presizyonu, doğrudan doğruya silindir düzecin duyarlılığına bağlıdır. Presizyonlu nivo olarak yapılan düzeci dürbünü sabit fenkalajlı nivolarda silindir düzeç duyarlılığı 5"/2 mm ile 10"/2 mm arasında olmalıdır.

Ölçme doğruluğunu doğrudan doğruya etkileyecek hataları önemsiz kılmak için silindir düzeç 'Çakıştırma Düzeci' biçiminde yapılmıştır. Bu tür düzeçlerde kabarcığın uçlarının görüntüsü, bir optik sistem aracılığıyla dürbünün gözleme

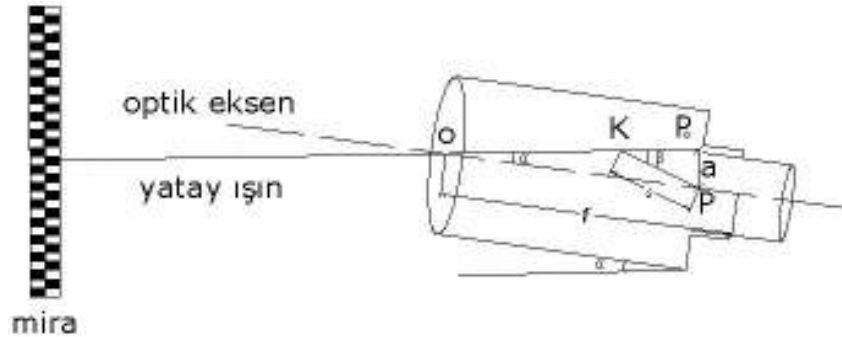
izgileri plağı üstüne getirilmiştir. Fenkalaj vidası döndürülerek kabarcık ortalanır.

Silindir dzecen belirli bir konumunda, kabarcığı ortaladığında, ancak düzeç eksenine paralel doğrultular yatay kılınmış olur. Bu durumda alet asal eksen etrafında az da olsa döndürülürse gözleme ekseninin yataylığı bozulur. Bu nedenle bir mira okumasından hemen önce silindir düzeç kabarcığı ortalanmalı ve okuma sırasında kabarcığın ortada olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu işlem her bir mira okumasında tekrarlanmalıdır [5].

2.2.2.2 Kompansatörlü Nivo

Kompansantrl nivolarda silindir düzeç yoktur. Sadece küresel düzeç vardır. Gözleme eksenini yatay kılma görevini dürbün içine yerleştirilen "Kompansantr" stlenmiştir. Kompansantr, gerekli optik elemanları üzerinde taşıyan mekanik bir sarkaçtır [5].

Dzeli aletlerde alet yataylandığı zaman optik ekseninde yatay duruma gelir. Eğer aletin yataylanması hatalı ise örneğin; optik eksen yatayla alfa açısı kadar bir açı yapıyorsa, objektif merkezinden geçen yatay ışın gözleme çizgilerinin keşiştiği P noktasına nazaran α miktarı kadar kayarak P_0 noktasına gelir. Alet iyi yataylanmamış olmasına rağmen, objektifin optik merkezinden geçen yatay ışınların herhangi bir şekilde gözleme çizgilerinin birleştiği P noktasından geçmesi sağlanacak olursa, alet iyi yataylanmış gibi ölçü yapılması mümkündür. Yatay ışınların P noktasından geçmesi, ya yatay ışınlar K noktasında beta açısı kadar kırılarak ya da gözleme eksenini yatay ışın kayma miktarı olana kadar kaydırılarak sağlanır [4].(şekil 2.2)



şekil 2.2: Kompansatörlü Nivo Kesiti

Yatay ışın kayma miktarı α açısı ve f odak uzaklığına bağlıdır.

$$a = \tan \alpha \quad (2.2)$$

Ancak α açısı çok küçük bir açı olduğundan radyan cinsinden.

$$a = f \cdot \alpha \quad (2.3)$$

KP=s dir.

Kompansatörün yatay ışını kaydırma miktarı KP uzunluğuna bağlı olup radyan cinsinden;

$$a = (KP)\beta \quad (2.4)$$

(2.3) ve (2.4) formüllerinden;

$$f\alpha = sp \quad (2.5)$$

$$f/s = p/a - n \quad (2.6)$$

Görülüyor ki kompansatörün yatay ışını kırma açısı olan betanın aletin eğikliği olan alfa açısına oranına n denirse, objektifin odak uzaklığının ışının kırıldığı K noktası ile gözleme eksenini orta noktası arasındaki s uzaklığına eşittir. Görüldüğü gibi $f=s$ yani $n=1$ ise K noktası objektifin optik merkezi olan 0 olur. Eğer $n=2$ ise $s=f/2$ olması gerekir n değeri büyüdükçe K noktası gözleme eksenine yaklaşır.

Kompansatörlü nivolar genel olarak;

- Eklem dikdörtgen kompansatörlü nivolar,
- Ayna kompansatörlü nivolar,
- Yaylı kompansatörlü nivolar,
- Sarkaç prizmalı kompansatörlü nivolar,
- Düzeç kompansatörlü nivolar,
- Gözleme eksenini sarkaç şeklindeki kompansatörlü nivolar,
- Oynak mercekli kompansatörlü nivolar,
- Sıvı prizmalı kompansatörlü nivolar olarak ayrılabilir.

Sonuç olarak kompansatörün görevini yapabilmesi için;

a) Küresel düzeç eksen şartı sık sık kontrol edilmeli gerekirse düzenlenmeli,

b) Küresel düzeç kabarcığı, prizmadaki görüntüye bakılarak özenle ortalımalıdır.

Presizyonlu nivo olarak yapılan kompansatörlü nivolarda gözleme ekseninin $\pm 0,2''$ doğrulukla yatay kılınması yani kompansatör duyarlılığının $\pm 0,2''$ olması gerekli görülmektedir.

2.2.3 Presizyonlu Nivolarda Mira Okuma İnceliğini Artıran Donatım

Presizyonlu nivelmanda, $0,1 B_m$ değerini tahminle okumak yeterli hassasiyeti sağlamaktadır. Talep edilen doğrulukları karşılamak için öncelikle mira okuma inceliğini artırmak için iki değişik çözüm bulunmuştur.

- Eğik gözleme yöntemi
- Paralel yüzölçü cam plaka ve mikrometre donatımı

2.2.3.1 Eğik Gözleme Yöntemi

Bu yöntemde kullanılan nivoların fenkalaj vidalarının üstünde ya da düzeç kabarcığı görüntüsünde eğim bölümleri bulunmaktadır. Dürbün miraya yöneldikten sonra silindir düzeç kabarcığı ortalayıp (yatay gözleme) r eğim değeri okunur. Daha sonra fenkalaj vidası döndürülerek yatay gözleme çizgisi en yakın iki mira bölüm çizgisinden biri ile karşılaştırılır, (m) ve bu eğik gözlemeye karşılık gelen r eğim değeri okunur. Yatay gözleme karşılığı olan m mira okuması ise;

$$m = m_e + (r_y - r_c) l \quad (2.7)$$

bağıntısından hesaplanır. Burada l gözleme uzaklığıdır ve ölçülmesi gerekir. Bu yöntem titreşimi çok olan yerlerde kullanışlıdır. Eğik gözleme yöntemi günümüzde vadi geçiş nivelmanı dışında sık kullanılmamaktadır.

2.2.3.2 Paralel Yüzlü Cam Plaka ve Mikrometre Donatımı

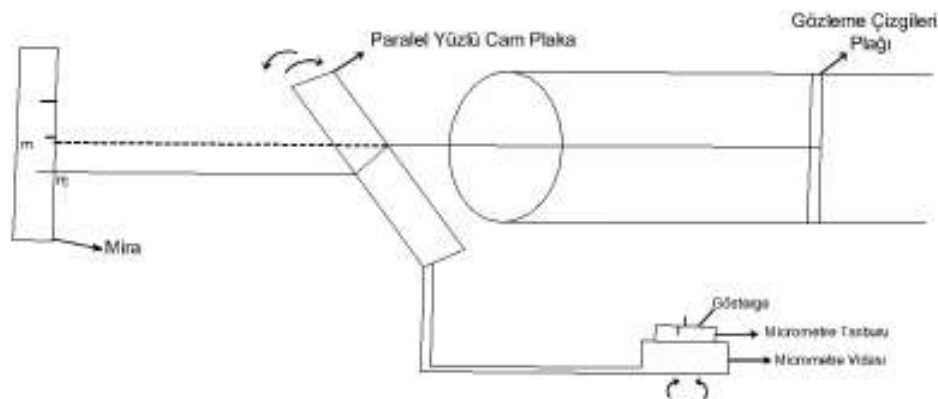
Şekil 2.3'teki donanımda görüldüğü gibi dürbünün objektifi önüne bir paralel yüzlü cam plaka konmuştur. Bunun sayesinde gelen ışın paralel olarak ötelenebilir. Ötelenme miktarı, ışının cam yüzeyine geliş açısına, cam plakanın kalınlığına ve kırılma indisine bağlıdır. Paralel yüzlü cam plak bir mikrometre vidası yardımıyla yatay bir eksen etrafında döndürülebilmektedir. Bu hareket, mikrometre vidasının yaklaşık bir devirlik hareketi ile sınırlandırılmıştır. Mikrometre vidasının bir devir döndürülmesi ile gözleme ışını tam bir mira bölümü (B_m) kadar ötelenir. Mikrometre vidası ile birlikte dönen mikrometre tamburu üstünde n adet (presizyonlu nivolarda $n= 100$) bölüm vardır. Tambur bölümlemesinin tümü, ışının B_m kadar ötelenmesine karşılık geldiğine göre bir tambur biriminin (B_1) değeri;

$$B_1 = B_m / n \text{ olur.} \quad (2.8)$$

Tambur bölümleri, sabit bir gösterge yardımıyla $0.1 B_1$ değerleri tahmin edilerek okunur.

Mira okuması şöyle yapılır: dürbün miraya yöneltilip yatay gözleme sağlandıktan sonra mikrometre vidası döndürülerek yatay gözleme çizgisi bir mira bölüm çizgisi ile karşılaştırılır ve bu mira bölüm çizgisi okunur (m_m). Hemen sonra mikrometre tamburu okunur (m_1) ve iki okuma toplanır.

$$m = m_m + m_1 \text{ dir.} \quad (2.9)$$



Şekil 2.3: Paralel Yüzlü Cam Plaka ve Mikrometre Donatımı

Presizyonlu nivolarda yatay gözleme çizgisinin mira bölüm çizgisiyle karşılaştırılmasındaki hatayı azaltmak için yatay gözleme çizgisinin yarısı kama şeklinde yapılmıştır.

2.3 Presizyonlu Nivelmanda Hata Kaynakları

2.3.1 Nivolardan Kaynaklanan Hatalar

Daha önceki bölümlerde açıklanan ana madde ve bu madde varsayımlara göre, nivolar belirli eksen şartlarını sağlamalı ve bir kısım özellikleri taşımalıdır. Bu şartların sağlanmaması durumunda nivolardan kaynaklanan hatalar ortaya çıkar. Bu hatalar ve nedenleri;

- Nivo gözleme eksen şartının düzensizliği
- Küresel düzeç eksen şartının düzensizliği
- Kompansatörlü nivolarda artık kompensasyon hatası
- Nivolardan kaynaklanan diğer hatalar şeklinde sıralanabilir.

2.3.1.1 Nivo Gözleme Eksen Şartının Düzensizliği

Nivolarda, nivo gözleme ekseni ile yatay gözlemeyi sağlayan donanım arasında belirli bir şartın olması gereklidir. Bu şart;

- Silindir düzeçli nivolarda silindir düzeç ekseni nivo gözleme eksene paralel olmalıdır.
- Kompansatörlü nivolarda, eksen şartı düzenli olan küresel düzeç kabarcığı ortalandığında kompensatör alet yatayına karşılık olan gözlemeyi sağlamalıdır. Bu şartın sağlanamaması durumunda düzenli bir hata meydana gelir. Bu hata miktarı;

$$P_m = d(\gamma^c / 7p^c) \quad (2.10)$$

γ = Gözleme ekseninin yatayla yaptığı açı

d = Gözleme uzaklığı

Bu hatanın presizyonlu nivelman ölçmelerine etkisi ise geri ve ileri gözleme uzaklıkları farkı ile orantılıdır.

Bu şartın kontrol ve düzenlenmesinde presizyonlu nivolarla ortadan ve yandan gözleme yöntemi kullanılmaz. Bunun nedenlerini de şöyle sıralayabiliriz;

1) Yakın miradaki okumanın hatasız olduğu varsayımı, hatalı mira okumasının hatasız olduğunu kabul etmektedir. Büyük düzensizliklerde bu varsayım önemli ölçüde sonucu etkileyebilir.

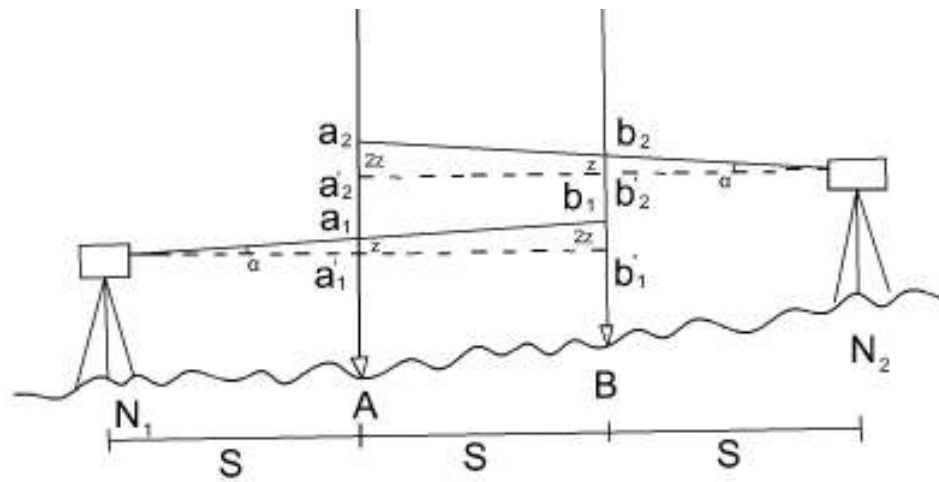
2) Yandan gözlemede, yakın miradaki gözleme uzaklığı yaklaşık olarak 2 metre, uzak mirada ise 62 metredir. Gözleme uzaklıklarındaki bu fark yüzünden, yer küreselliği ve düşey refraksiyon hataları sonuçları etkilemektedir.

3) Yandan gözleme durumunda, gözleme uzaklıklarının çok farklı olmasından dolayı, yakın miradaki okumayı yaptıktan sonra, uzaktaki miranın görüntüsünü netleştirmek için görüntü netleştirme vidası çok fazla döndürülür. Bunun sonucunda iç bükey mercek çok fazla döndürülür ve dürbün gözleme eksenini değiştirir. Dolayısıyla yakın miradaki dürbün gözleme eksenini ile uzak miradaki dürbün gözleme eksenini farklı olur. Yani, gözleme düzlemi kötü değişir.

Bu sakıncalardan dolayı presizyonlu nivolarla kullanılan yöntemlerden birisi "Karşılıklı Gözleme (Nabauer) Yöntemi" dir.

Sağlam zeminli, düzgün bir arazide, aralarındaki uzaklık birbirine eşit yaklaşık 15m olan 4 nokta tespit edilir. Ortadaki A ve B noktalarına mira tutulur. Nivo önce N1 noktasına kurularak a_1 ve b_1 mira okumaları yapılır.

Karşılıklı Gözleme (Nabauer) Yöntemi [3]



Şekil 2.4: Nabauer Yöntemi

Şekil 2.4'e göre;

$$\Delta h_{AB} = a'_1 - b'_1 = (a_1 - z) - (b_1 - 2z) \text{ dir.} \quad (2.11)$$

Daha sonra Nivo N_2' ye kurulup a_2 ve b_2 mira okumaları yapılır. Nivo da hata varsa gözleme uzaklıkları eşit olduğuna göre, α açıları da sabittir ve miradaki hatalar z ve $2z$ dir. Buradan;

$$\Delta h_{AB} = a'_2 - b'_2 = a'_2 - (b'_2 - z) \quad (2.12)$$

Δh_{AB} 'ler birbirine eşitlenir ve a'_2 yalnız bırakılırsa

$$a'_2 = (a_1 - b_1) + b_2 \text{ elde edilir.} \quad (2.13)$$

a'_2 , nivo nun hatasız olduğu durumunda okunması gereken değerdir. a_2 ise, nivo nun ikinci konumunda iken uzak mirada yapılan okuma değeridir. Eğer $a_2 - a'_2 \leq \pm 0,2 - 0,3$ mm ise nivo düzendir. Değilse, alet düzenlenir. Düzenleme işleminde, gözleme çizgileri plakasında a_2 okuması elde edilecek şekilde alet düzenlenir. Ancak burada a'_2 nün kesir kısmı mikrometrede elde edilir [4].

2.3.1.2 Küresel Düzec Eksen Şartının Düzensizliği

Bu hata; küresel düzeç kabarcığı ortalandığı halde eksenin düşey duruma gelmemesinden kaynaklanır. Ölçmelere etkisi ise yatay gözlemeyi sağlayan donanıma göre değişir.

Silindir düzeçli nivolarda bu hata pek etkili değildir. Ancak bu düzensizlik fazla ise yükseklik sıçraması denen yeni bir hataya yol açabilir. Ayrıca silindirik düzeç kabarcığının ortalanmasını zorlaştıracığından ölçme süresini uzatır ve çökme hatasına sebep olur. Bunun için küresel düzeç zaman zaman kontrol edilmeli ve gerekirse düzenlenmelidir. Kompansatörlü nivolarda ise asal eksenin eğikliği belli bir değerden büyük olursa, kompansatörün lineer çalışma alanı dışına çıkılır. Bu ise gözleme eksenini eğikliğine yol açar. Sonuç olarak bu şartın sağlanması Kompansatörlü nivolarda çok daha önemlidir [5].

2.3.1.3 Kompansatörlü Nivolarda Artık Kompansasyon Hatası

Kompansatörlü nivoların çalışma prensibi, gözleme doğrusunu kompansatör yardımıyla yatay hale getirmektir. Ancak aşağıdaki nedenlerden dolayı

kompanseatör tam yatay hale getirmeyecek ve sonuçta ölçmeler etkilenecektir. Bu nedenle;

- Kompansatörün dürbün içindeki konumunun zamanla değişmesi,
- Kompansatörün askı tellerinin zamanla yorulması ve özelliklerini kısmen kaybetmesi.
- Askı tellerinin dürbüne bağlandığı eklemlerde zamanla sürtünme ortaya çıkması
- Değişik gözleme uzaklıklarına netleştirme durumunda alet yatayının az da olsa değişmesi,
- Alette ısı birikimi gibi nedenlerle küresel düzeç kabarcığının ortalama doğruluğunun değişmesi,
- Trafik, rüzgar vb dış etkenlerin yol açtığı titreşimlerin kompanseatörün denge konumunu etkilemesi söz konusudur.
- Bu nedenlerden meydana gelen artık kompanseasyon hatasını en aza indirmek için yaygın olarak iki ölçme yöntemi kullanılır. Bunlardan biri “Kırmızı Pantolon” diğeri ise “Schwarz” yöntemleridir [5].

1) Kırmızı Pantolon Yöntemi

Bu yöntemi ölçme sırası tek nolu istasyon noktalarında i_I , g_I g_{II} , i_{II} çift nolu istasyon noktalarında ise g_I , i_I i_{II} , g_I şeklindedir. Bu yöntemde ardışık iki istasyon noktasında hata etkisini yok etmek için her iki istasyondaki gözleme uzaklıklarının eşit olması ve küresel düzeç kabarcığının aynı doğrulukta ortalaması gerekir [5].

2) Schwarz Yöntemi

Bu yöntemde ise ölçme sırası olarak her istasyonda ilk defa geri miraya yöneltilir ve küresel düzeç ortalandıktan sonra g_I okuması yapılır. İleri mirada i_I okumasından sonra tesviye bozularak kabarcık yeniden ortalılır ve i_{II} ve g_{II} okumaları yapılarak ölçme tamamlanır. Ayrıcalığı da her istasyon noktasında küresel düzecin iki kez ortalmasıdır [5].

2.3.1.4 Nivolardan Kaynaklanan Diğer Hatalar

Paralaks Hatası: Genelde rastlantısal nitelikli olan bu hata, operatörün okülerden bakış alışkanlıklarına bağlı olarak düzenli hata niteliği de kazanabilir. Paralaks hatasını gidermek için her bir mira gözlemesinde görüntü netleştirildikten sonra paralaks kontrolü yapılmalı ve giderilmelidir.

Oküleri Göze Uydurma Hatası: Gözleme çizgilerini en iyi görecektir şekilde okülerin göze uydurulmamasından kaynaklanan hatadır. Bu hata çakıştırma doğruluğunu ve dolayısıyla mira okuma presizyonunu etkiler. Bunu önlemek için ölçme sırasında oküler zaman zaman göze uydurulmalıdır.

Mira Bölüm Çizgileri İle Gözleme Çizgilerini Çakıştırma Hatası: Çok büyük ve çok küçük gözleme uzaklıklarında daha fazla ortaya çıkan bir hatadır. Bu hatayı azaltmak için değişik şekilli gözleme çizgileri kullanılır ve presizyonlu nivelmanda 40m'den daha fazla gözleme uzaklığına müsaade edilmez. İdeal gözleme uzaklığı 25–30 m'dir.

Ayrıca sehpa başlığının gevşek olmasından çıkan hatada alet sehpasının vidaları ile kontrol edilerek giderilir.

2.3.2 Miralardan Kaynaklanan Hatalar

Miralardan kaynaklanan hatalar, presizyonlu nivelman ölçmelerinde önemli bir hata kaynağını oluşturur. Bunun sebebi, presizyonlu nivelman ölçmelerine ölçek veren bölümlerin invar miralar üstünde olmasıdır [4]. Ölçmelerde sistematik karakterli önemli hatalara yol açabilen bu hata kaynaklarının başlıcaları şunlardır:

- Mira bölümlendirme hatası
- Mira çifti sıfır konum hatası
- Miraların eğik tutulması hatası
- Mira tabanının düzlem olmaması hatası
- Mira taban düzleminin invar şerit yüzeyine dik olmaması hatası

2.3.2.1 Mira Bölümlendirme Hatası

Mira bölümlerinin standart uzunluk biriminden olan farklarına "Mira Bölümlendirme Hatası" denir. Miralardan kaynaklanan hataların en önemlisidir. Günümüzde iki çeşit

mira bölümlendirme tekniği söz konusudur. Klasik bölümlendirme tekniği, modern, bölümlendirme tekniği [3].

1) Klasik Bölümlendirme Tekniği: Şimdiye kadar kullanılan ve mevcut invar miraların bölümlendirilmesinde uygulanan bölümlendirme tekniğidir. Bu işlem değişik uzunlukta özel şablonlar kullanılarak kazıma veya boyama yöntemine göre yapılır. Bu tekniğe göre bölümlendirilen miralardaki bölümlendirme hatası 20µm ile 80µm arasındadır. Mira bölümlendirme hatasının etkisini azaltmak için uygulamalarda "Ortalama Mira Ölçeği" veya " Dengelenmiş Mira ölçeği" kullanılır.

Ortalama Mira Ölçeği: Bir çift invar mirasında ana ve yardımcı bölümler üzerinde değişik bölüm çizgileri arasına, bir normal metre ile karşılaştırılması ve bunlara ait aritmetik ortalamanın alınmasıyla bulunan bir ölçek katsayısıdır.

Dengelenmiş Mira Ölçeği: S_i , herhangi bir bölüm çizgisini, b_i , S_i çizgisine ait çizgi düzeltmesini, V_i , b_i , çizgi düzeltmesinin rastlantısal bileşenini ve N_m dengeleyen doğrunun eğimini göstermek üzere dengelenmiş mira ölçeği dengeleyen doğru yardımıyla bulunur [4].

$$B_i = \Delta N_m \cdot S_i \quad (2.14)$$

$$b_i = B_i - V_i = \Delta N_m \cdot S_i - V_i \quad (2.15)$$

$$V_i = B_i - b_i \quad (2.16)$$

yazılır. Buna göre; $L_m = I_m + \Delta N_m$ değerlerine 'Dengelenmiş Mira Ölçeği' adı verilir. N_m değerine de dengelenmiş 'Mira Ölçeği Düzeltmesi' denir [4].

2) Modern Mira Bölümlendirme Tekniği: Mira bölümlendirme hatasını en aza indirmek üzere geliştirilmiş bir mira bölümlendirme tekniğidir. Son yıllarda bu teknikte, bilgisayarlı lazer interferometresi kullanılarak bir mira bölümüne ait bölümlendirme hatası $\pm 5 \mu m$ nin altına indirilmiştir.

2.3.2.2 Mira Çifti Sıfır Konum Hatası

Presizyonlu nivelman ölçmelerinde kullanılan bir çift invar miranın, ana ve yardımcı bölümlerine ait sıfır çizgilerinin mira tabanından aynı uzaklıkta olmaları gerekir. Miralarda bu şartın olmaması sıfır konum hatası denen bir hataya sebep

olur. Bu hatanın kenar yükseklik farkı ve kenar kapsamındaki etkisini gidermek için:

- Her bir nivelman kenarındaki çift sayıda alet kurulmalıdır
- Mira tutma sırası değiştirilmemelidir [4].

2.3.2.3 Mira Eğikliği Hatası

Mira düzeci şartının düzensizliği veya rüzgarın etkisi ya da miracının yorgunluğu gibi nedenlerden dolayı miranın düşey tutulmamasından kaynaklanan bir hatadır. Kontrol edilmiş küresel düzeç yardımıyla düşeylenmiş miranın düşeyliğini presizyonlu nivelman için yeterli olduğu kabul edilmektedir.

2.3.2.4 Mira Taban Düzleminin Şerit Düzeyine Dik Olmaması Hatası

Presizyonlu nivelman ölçmelerinde kullanılan invar miralarda mira tabanının düz ve invar şeride dik olması gerekir. Bu şart sağlanmıyorsa ölçme sırasında miraların rasgele tutulması halinde değişken sıfır konum hatası ortaya çıkar. Bu hatayı önlemek için mira tabanının hep aynı noktası mira altlığı üzerine konmalıdır.

2.3.3 Dış Ortamdan Kaynaklanan Hatalar

Dış ortama (atmosfer ve fiziksel yeryüzü) ait parametrelerin değişken olması, bu parametrelerle ölçme modeli arasında ayrılıklar doğurur. Bu ayrılıklar presizyonlu nivelman ölçmelerinde “Dış Ortamdan Kaynaklanan Hatalar” olarak adlandırılır [4]. Bu hataların başlıcaları;

- Çökme Hatası
- Sıcaklık Hatası
- Düşey Refleksiyon Hatası
- Kompansatörlü Nivelarda Magnetik Alan Hatası
- Yerin Gravite Alanının Etkisi
- Güneş ve Ayın Çekim Kuvveti Hatası

2.3.3.1 Nivo ve Miralarda Çökme Hatası

Presizyonlu nivelman ölçmelerinde zeminle teması olan donanımın ölçme sırasında düşey doğrultuda hareket etmesi presizyonlu nivelmanda 'Çökme

Hatası' denen bir hataya neden olur. Bu hata ölçme sonuçlarını fazlasıyla etkiler ve sistematik karakterli bir hata niteliği taşır. Bu hataya neden olan parametreler;

- Üzerinde ölçme yapılan zeminin cinsi ve ölçme sırasındaki sıcaklık, nem gibi fiziksel özellikleri,
- Bir istasyon noktasında harcanan zaman,
- Sehpa ayaklarına ve mira altlıklarına iyi basılıp basılmaması ve miracıların miraya uyguladıkları basınç kuvveti,
- Bir istasyon noktasında uygulanan gözleme sırası vs.

Bu hatayı azaltmanın en güvenilir yolu, hatayı doğuran parametreleri iyi tanımak ve buna göre ölçme sırasında bazı önlemler almaktır.

2.3.3.2 Refraksiyon Hatası

Bu hata gözleme ışının atmosferin farklı tabakalarından geçerken kırılması ve bir eğri yol izlemesinden kaynaklanır. Presizyonlu nivelman ölçmelerinden refraksiyon hatası düşey temperatur gradyenti ile birlikte düşey ısı akımı, alet yüksekliği ve gözleme uzaklığı gibi parametrelere bağlı bir hata türüdür.

Bu hatayı en aza indirmek için yapılacak olan iş ölçmelere düzeltme getirmektir. Bu ise tanımlanmış olarak refraksiyon modelleri ile yapılabilir.(Kukkamaki, Reissman, Lallemand vs)

2.3.3.3 Sıcaklık Hatası

Presizyonlu nivelman ölçmelerinde sıcaklık hatası, kullanılan nivo ve miranın sıcaklık değişiminden etkilenmesinden kaynaklanır.

Silindirik düzeçli nivolar üzerinde yapılan bir araştırmada, alet gözleme ekseninin değişik doğrultuda bulunması durumuna göre, her 1°C'lik sıcaklık değişiminin gözleme doğrusunu 2,5^{cc} ile 5,5^{cc} arasında, düzeç ekseninin ise 1,8^{cc} ile 1,1^{cc} arasında değiştirdiği görülmüştür. Buna karşılık her iki eksen değişiminin ortalaması sadece 0,5^{cc} dolayında bulunmuştur. Kompansatörlü nivolarda ise, bu hata kompansatör yapısına bağlı olarak 4^{cc} 'ye kadar çıkabilir [4].

İnvar nivolar ise bu sıcaklık değişiminden termik uzama katsayıları oldukça küçük olmasına rağmen az da olsa etkilenirler. Buna göre herhangi bir anda okunan mira değeri;

$$V_i = r \cdot \alpha (t - t_0) \quad (2.17)$$

r: Mira okuması

t: Miranın iç sıcaklığı

t₀: Miranın kalibrasyon sıcaklığı

α: İnvar şeridin termik uzama katsayısı eşitliği ile düzeltilmelidir.

3. SAYISAL MİRA VE NİVOLARIN YAPILARI

3.1 Sayısal Miraların Yapıları

Sayısal miralar genel olarak genleşme katsayısı oldukça düşük (10 ppm'den az) alaşımlardan üretilmektedir. Miralar, bir yüzünde elektronik okuma yapmaya olanak verecek şekilde ikili (binary) bar kod ile bölümlendirilmiştir. Günümüzde, sayısal nivolarla birlikte kullanılacak miralar, çeşitli amaçlarla, bir yüzü bar kodlu diğer yüzü metrik olarak bölümlenmiş olarak veya sadece bar kodlu olarak yada bir yüzünde bir kenar bar kodlu diğer kenar metrik olarak bölümlenmiş olarak (a) Alüminyum (sürgülü) mira: 5m, (b) Fiberglas mira: 1m, (c) İnvar mira: 3m olarak üretilmektedir [3].

Miradaki siyah ve beyaz ikili kodlar yaklaşık 2000 adet 2 mm'lik elemandan oluşmaktadır. Görüntü işlemede genel olarak korelasyon tekniği kullanıldığından, elemanlar pseudo-istatistiksel kod biçiminde sıralanmıştır. Bu kodlama; korelasyon işlemi 1.8 m ile 100 m uzaklıkta yapabilecek şekildedir. Tek bir mira okuması standart sapmasının 50 m de 0.3 mm; 100 m de ise 0,5 mm olması istenir. Sayısal nivelman tekniğinde kullanılmak üzere firmalar tarafından farklı amaçlarla özel miralar geliştirilmiştir [6].

3.2 Sayısal Nivoların Yapıları

Sayısal nivolar; normal otomatik nivonun sahip olduğu optik ve mekanik aksanlara sahip olup, tek farklılığı elektronik mira okuması yapılmak üzere nivoya; bar kod görüntüsünü detektör diyot dizisine dönüştüren bir ışın ayırıştırıcısı eklenmiş olmasıdır. Bar koddan yansıyan yalnızca beyaz elemanlara ait ışık, ışın ayırıştırıcısı yardımıyla kızıl ötesi ve görünen ışınlara ayırıştırılır. Buradan kızılötesi ışık diyot dizisine, görünen ışık gözlemci tarafına geçer. Alınan bar kod görüntüsü, daha sonra

alette kayıtlı bulunan referans kodu ile karşılaştırılacak olan analog video sinyaline dönüştürülür. Korelasyon işlemi, daha sonra kodların yer değiştirilmesiyle yüksek bir ilişki elde eder. Bu arada, nivo-mira uzaklığı alınan kodun görüntü ölçeğine bağlıdır. Ölçme değerlendirme işlemi tek çipli küçük bir mikro işlemci ile yapılır. Değerlendirilen veri daha sonra ekranda görüntülenir. Ölçme işlemi nivodaki görüntü netleştirme vidasının hemen yanındaki bir düğmeye basılarak yapılır ve veriler veri kayıt modülünde kaydedilir.

Sayısal nivo, küresel düzeci yardımıyla kabaca düzeçlendikten sonra, dürbün bar kodlu miraya yöneltilmekte ve görüntü netleştirilmektedir. Ölçme düğmesine basıldığında, dürbünün görüş alanına giren mira kodu alınmakta ve görüntü işlemeye tabi tutulmaktadır. Görüntü işleme; alınan mira görüntüsünün, nivodaki bir merkezi işlem birimi (bilgisayarın) tarafından, bilgisayar hafızasında yüklü olan miranın tümüne ait bir görüntü kalıbı ile karşılaştırılmasından ibarettir. Alınan mira görüntüsü ile miranın tümüne ait görüntü arasında bir eşleşme bulunduğunda (Yaklaşık 4 saniye süren bir işlem), mira okuması sayısal olarak görüntülenir ve bu değer otomatik olarak aletin hafızasına kaydedilir [6].

Ölçme işlemi (a) Miraya tatbik ve mira görüntüsünün netleştirilmesi, (b) Sayısal ölçmenin başlatılması olmak üzere iki harici işlem ile gerçekleştirilmektedir. Ölçme işleminin yaklaşık 4 saniye süren dahili işlemleri; (a) kaba korelasyon, (b) ince korelasyondur. Nivodaki ölçme düğmesine basılınca, netlik duru tespit edilir ve kompensatörün izlenmesine başlanır. Yaklaşık 1 saniye süren “kaba korelasyon” ile alet yüksekliği ve görüntü ölçeği yaklaşık olarak belirlenir. İkinci saniyede, kalibrasyon sabitleri yardımıyla ince korelasyon ile sonuç mira yükseklik ve uzaklık değeri hesaplanır [3].

Ölçme işlemini etkileyen unsurlar;

- Yöneltilme ve netleştirme
- Titreşimler ve sıcaklık titreşimleri
- Aydınlatma
- Miranın yeterli bölümünün görülmemesidir (Mirada en az 30 elemanın görülmesi gerekir; 70 mm’lik mira bölümü).

Sayısal Nivonun diğer nivolara göre birtakım üstünlükleri bulunmaktadır. Bunlar;

- Ölçünün gözle mira okuması yapmaması nedeniyle yorulmaması,
- Kolay ve doğru sonuç alınması,
- Tutarlı ve güvenilir olması,
- Otomatik veri depolaması (kayıt ve buna ilişkin kişi hatalarının giderilmesi),
- Hesaplama hatalarının giderilmesi,
- Kolay ve anlaşılır bir mönüye sahip olması,
- Hızlı ve ekonomik ölçü sağlaması,
- Diğer nivolarla göre uzaktan ölçme yapabilmesi (100 m uzaklık ölçümü),
- Bilgisayara doğrudan bağlantı ile kısa zamanda hesaplama ve çizim kolaylığı sağlaması,
- Klasik nivonun kullanılabildiği bütün koşullarda kullanılması,
- Bazı modellerde klasik nivo gibi kullanılması [3,6].

3.3 Sayısal Nivelman ve Sayısal Nivoların Tekniği

3.3.1 Sayısal Nivelman Tekniğinin Temelleri ve Görüntü Teknolojisi

Elektronik uzaklık ve konum belirleme gibi jeodezik ölçmelerin (EDM, GPS, GLONASS) bir çoğu, iki konum arasındaki bilginin transferi olarak karakterize edilebilir. Nivelmandaki bilgi transferi ise; bar kodlu bir mira yardımıyla düşey ölçek ile temsil edilen bir konumun belirlenmesi işlemi olarak tanımlanabilir.

Sayısal nivolarda, mira görüntüsü, sayısal görüntü sağlanarak değerlendirilmektedir. Bu aletlerde, gözlemci gözü yerini alan elektronik algılayıcılar, bar kod tekniği ile kodlanmış mira bölümlerini tanımakta ve bu görüntüden bir sinyal modelini oluşturarak korelasyon modeli ile değerlendirme yapan elektronik birime göndermektedir. Değerlendirme sonunda, gözlem ekseninin mirada rastladığı yer okunmakta ve alet - mira mesafesi elde edilmektedir. Kodlama ve kod çözümleme ile ilgili ilkelere, sayısal nivolarda olduğu gibi, EDM ve GPS teknolojileri gibi diğer jeodezik ölçme tekniklerinde de rastlanılmaktadır. Normal olarak tüm sayısal nivoların, güneş ışığını (doğal ışığı) kullanmaları nedeniyle, değişik etkenler aktarma (transfer)-bilgisi

terminolojisiinde olduğu gibi gürültü (noise) olarak isimlendirilmekte olup sayısal nivelman işleminde de aynı terminoloji kullanılmaktadır [6]

3.3.2 Sayısal Nivelmanda Kullanılan Kodlamalar

Genel olarak üretici firmalar kendi kodunu ve görüntü işleme yöntemini geliştirmiştir. Yapılan araştırmalar, sayısal nivodaki ölçeğin optik bir büyütme sistemi ile normal bir ayarlamının gerekli olduğunu göstermesi nedeniyle, üreticiler sayısal nivolar için, çok gelişmiş optik sistemler olmaksızın temiz bir izdüşüm gerçekleştiren özel kodlar geliştirmişlerdir. Üreticilere ait bu kodlar, doğrusal bir CCD dizisi yardımıyla, miradaki bar kod görüntüsünün sayısal yoğunluk ve konum bilgisine dönüştürülmesi işine yaramaktadır. Bu nedenle, tüm kodlar, kod çubuklarının kenarında siyah-beyaz bir geçiş kullanmaktadır [8].

CCD' ler genel olarak ışığa duyarlı bütünleşik devreler olup bir görüntüye ait veriyi, bir görüntüdeki her bir pikselin elektrik yüküne dönüştürülmesi suretiyle depolayan ve görüntüleyen aletlerdir. Elektrik yükünün şiddeti ise renk spektrumunda yer alan renk ile ilişkilidir. 65535 rengi destekleyen bir sistem için depolanabilen ve düzenlenebilen her bir renge ayrı bir şiddet değeri atanmaktadır. CCD' ler günümüzde yaygın olarak sayısal filtreler ile video kameralarda kullanılmaktadır.

Bar kod; harf ve sayılan bilinen alfabeden farklı olup siyah ve beyaz çizgilerle ifade edilir. Günümüzde yaygın olarak verilerin bilgisayar ortamına girilmesinde kullanılmaktadır. Bar kodlar, özel optik sistemli okuyuculardan yararlar üzerlerine düşürülen güçlü ışık demetiyle taranırlar. Tarama sırasında çizgilerden beyaz olanlar ışığı yansıtırlarken koyu renkte olanlar ışığı emerler. Bu yansımalar mantıksal olarak kodlanarak 0 (sıfır) ve 1 (bir) değerlerinden oluşan ikili sayı sistemine çevrilirler. Bu değerler kodlananın dayandığı sisteme göre karakterlere dönüştürülür. Böylece barkodun, bilinen sisteme dönüşümü sağlanmış olur.

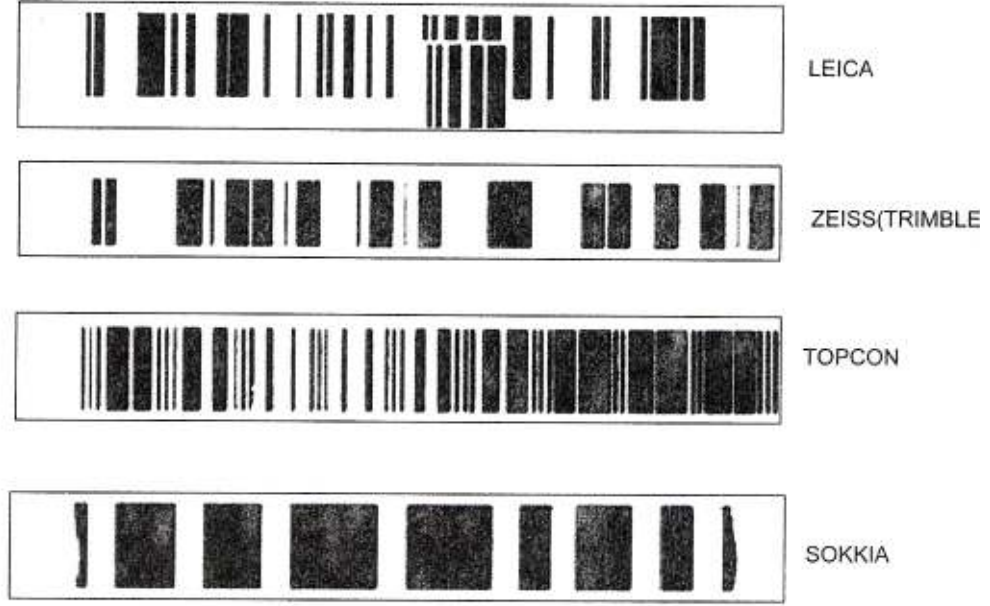
Leica firması tarafından geliştiren kod, aperiodyik pseudo-stokastik binary (ikili) adı verilen bir kod ile temsil edilmektedir. Bar kodlu miranın tam 4.050 metrelik boyu üzerindeki tüm bar kodların sayısı 2000 dir. Yani her bir kod elemanının boyutu 2.025 mm' dir. Zeiss (Trimble) firması tarafından kullanılan kodun modülasyonu 2 cm genişlikli her bir bitteki parlaklığın değişimi (renklerin

birbirini takip etmesi) ile sağlanmaktadır. Kodlamadaki kalıp (pattern), 30 cm lik görüş alanında en az 15 adet siyah-beyaz geçişin tespit edilebilecek şekilde, tüm görüntü alanındaki optimum bir dağılıma sahiptir. Sadece, 6 metreden daha küçük uzaklıkta, 2 mm lik ek siyah veya beyaz bir genişlik gerekmektedir. Topcon bar kodlu miralar, birbiri üstüne binen üç adet tekli desen koduna sahiptir. Bunlar referans desen olan bir sabit R üçlü bar, diğer iki bar ise yardımcı barlardaki A ve B kodlarıdır. A ve B desenlerinin bar genişliği 2 mm den 10 mm ye kadar değişen sinüs fonksiyonuna bağlı olarak değişir ve bunların dalga boylan sırasıyla 600 mm ve 570 mm dir. Bar merkezleri arasındaki p uzaklığı sabit olup 30 mm dir. İki sinüs sinyalinin; 4 metrelik bir yükseklikte A ve B sinyalleri arasında her zaman kesin bir faz farkı olacak şekilde, miranın tabanından başlamak üzere $\pm n/2$ lik bir faz kayıklığı vardır. Sokkia firması tarafından kullanılan "Rastlantısal çift yönlü kodun (Random Bidirectional Code (RAB))", her biri 16 mm' lik temel kod elemanı boyutu ile ilişkili olarak tanımlanan 6 kodluk genişlik değişimini kaplar [6]. Çeşitli firmalar tarafından kullanılmakta olan kod özellikleri Tablo 3.1' de, sayısal nivoların kullandığı kodlar Şekil 3.1'de grafik olarak gösterilmektedir [9,10,11,12].

Tablo 3.1: Firmalara Göre Mira Kod Özellikleri

Üretici Firma	Özellikler	Yakın-Uzak alan kodu	İstenen Uzaklık/ölçe	Kod elemanı
LEICA	Pseudo stokastik	Var	Var	2.025 mm
SOKKIA	Rastlantısal çift yönlü kod	Var	Yok	16 mm
TOPCON	Analog genişlik değişimi	Yok	Yok	10 mm
ZEISS	iki fazlı	Var	Yok	20 mm

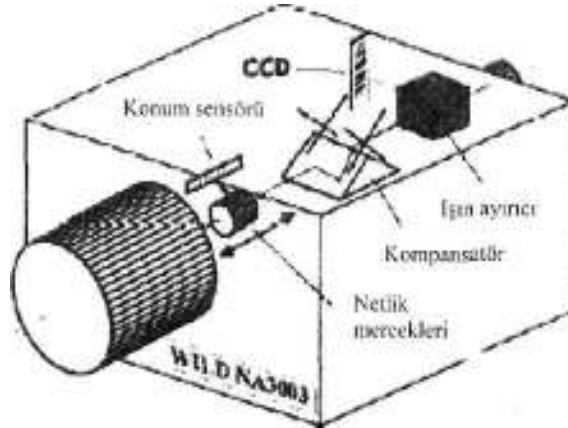
Nivo ile mira arasındaki uzaklık ile mira orta çizgi okuması değeri, ilişkili olan üç kod görüntüsünün frekans ve faz konumundan FFT (Fast Fourier Transform) yöntemiyle belirlenmektedir.



Şekil 3.1: Sayısal Nivoların Kullandığı Kodlar

3.3.3 Alıcı Birimlerinin Genel Özellikleri

Sayısal nivolar, bir sayısal fotoğraf makinesi ile otomatik nivonun birleşimi olarak düşünülebilir. Wild (Leica) sayısal nivusunun, optik eksenini yataylamaya yarayan bir kompansatörü ile doğru görüntü veren bir teleskopu vardır. Ayrıca, netleştirme mercekleri ile donatılan bir konum sensörü ile alet-mira uzaklığı kabaca belirlenir. Diğer firmalar tarafından üretilen sayısal nivolar odak konumu bilgisi olmaksızın işlev görmektedir. Bir eğim (tilt) sensörü kompansatörün konumunu belirler ve ışık-ayırıcı ışın paçasını CCD sensörüne doğru yönlendirir. Wild (Leica) tarafından üretilen NA 3003 serisi sayısal nivonun optik ilkesi şekil 3.2 de grafik olarak gösterilmektedir [8].



Şekil 3.2: NA 3003 Serisi Sayısal Nivonun Optik İlkesi

Sayısal nivoda bir mikro işlemci kullanılmaktadır. Referans fonksiyonlar ile korelasyon işlemi için ihtiyaç duyulan karmaşık işlemleri gerçekleştirmek üzere Leica sayısal nivolarında bir giriş serisi (dizisi) mevcuttur. Detektör diyot dizisi mirada gözlenen bar kod görüntüsünü 256 renkli sisteme sahip analog bir video sinyaline dönüştürür.

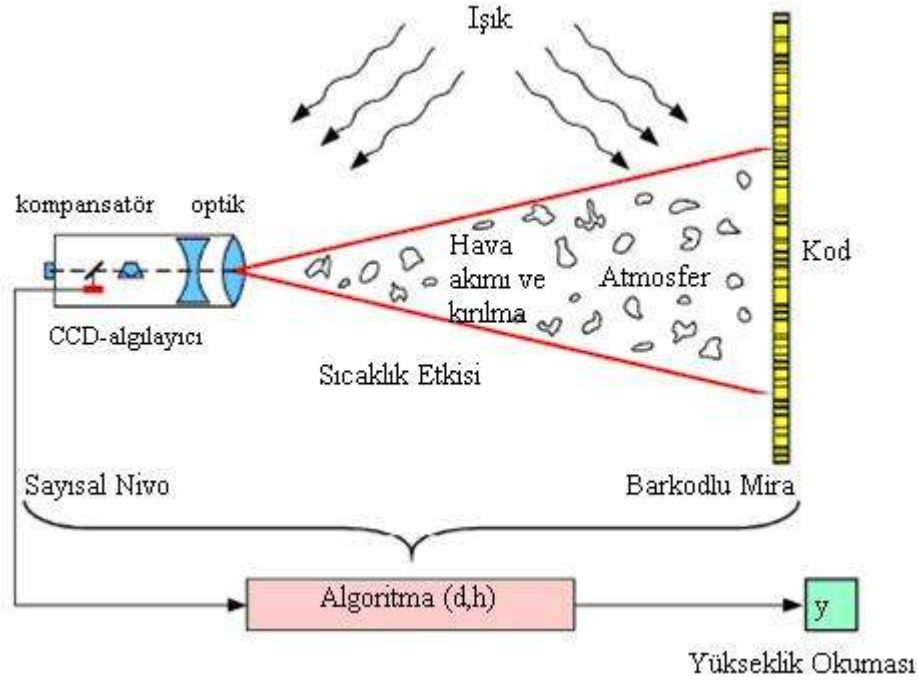
3.4 Sayısal Mira ve Nivoların Kalibrasyonu

3.4.1 Mira Kalibrasyonu

Miraların kalibrasyonu çok eskilere dayanmaktadır. İlk olarak etalonlar ve optik metotlar kullanılmıştır. Daha sonra uzunluk ölçmede interferometreler kullanılmaya başlanmış ve kalibrasyon işlemleri otomasyona bağlanmıştır. Bu yöntem interferometre kontrolündeki opto-elektronik mikroskoplu miranın üzerindeki derecelendirme çizgilerinin ölçümelerini temel almaktadır. Kalibrasyon sonucunda miranın ölçek değerine ve her bir derecelendirme çizgisi için düzeltmelere ulaşılır. Akabinde okunan değerler(okumalar) bu değerlerle düzeltilir [13].

3.4.2 Sistem Kalibrasyonu

Sayısal nivo ile ölçme işlemlerinde (Şekil 3.3’da) bütün sistem dahil edilir. Sistemin ölçek değeri nivonun ölçek değerinden ve sistemin hareketlerinden etkilenir. Mira yüzeyi tahrip olursa sistem hareketleri değişebilir. Bu nedenle sistem kalibrasyonu; miranın ve nivonun birlikte kalibrasyonunda uygun teknik olarak değerlendirilir. Temel düşünce sayısal nivo ile yükseklik okuması gerçekleştirmektir, sonra mirayı bilinen miktarda hareket ettiririz ve bu işlem diğer yükseklik okuması ve devamı şeklinde sürer. Nivoyla belirlenen yükseklikleri, hareketlerin doğru değerleriyle karşılaştırarak, nivo sisteminin hareketleri hakkındaki bilgiler türetilir. Açıkça doğru değerlerin elde edilmesi ve hareketlerin yapılabilmesi için uygun alet gerekmektedir [14].



Şekil 3.3: Sayısal Nivo İle Ölçme İşlemi

3.4.3 Kalibrasyon Araçlarının Tanımlanması

3.4.3.1 Mira Ölçeği Tesbiti İçin Yatay Komparatör

Mira ölçeği tesbiti için yatay komparatör UniBwM'deki jeodezi laboratuvarında bulunmaktadır. Laboratuar derecesi ve nemi sırasıyla 0.2°C ve %5 lik düzensizliklerle 2–3 saatlik aralarla kontrol altında tutulmaktadır. Laboratuvarın kalbi lazer interferometre HP5507B tarafından kontrol edilen iki hareketli taşıyıcıyla 30 metre uzunluğundaki komparatör tezgahından (benç) oluşmaktadır. Mira iki taşıyıcıya monte edilmiş (Şekil 3.4) ve en iyi noktada desteklenerek invar bandın yüksekliğinde minimum değişikliğe yol açacak şekilde sonuçlanmıştır. Mirayı informeterenin lazer ışığına paralel olacak pozisyona ayarlamak için üçgensel sensör kullanılır. Bençin bir tarafına elektro-optik mikroskop monte edilmiştir (Şekil 3.4). Taşıyıcılar mikroskopun altına monte edilerek mira üzerindeki bütün kodların ölçümünü yapacak şekilde hareket ederler. Otomatik kod belirleme hassaslığı $0.7\mu\text{m} + L \cdot 0.4\mu\text{m}$, L metre olarak mira üzerindeki konumu belirtmektedir [13].

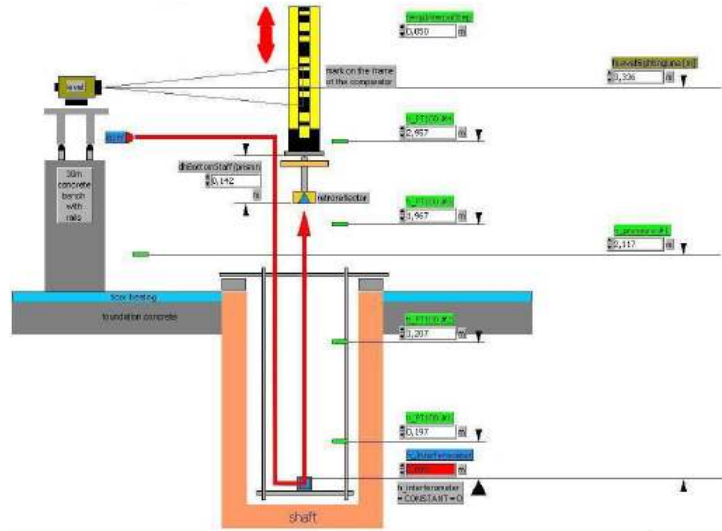


Şekil 3.4: Yatay Komparatör ve Elektro-optik Mikroskop

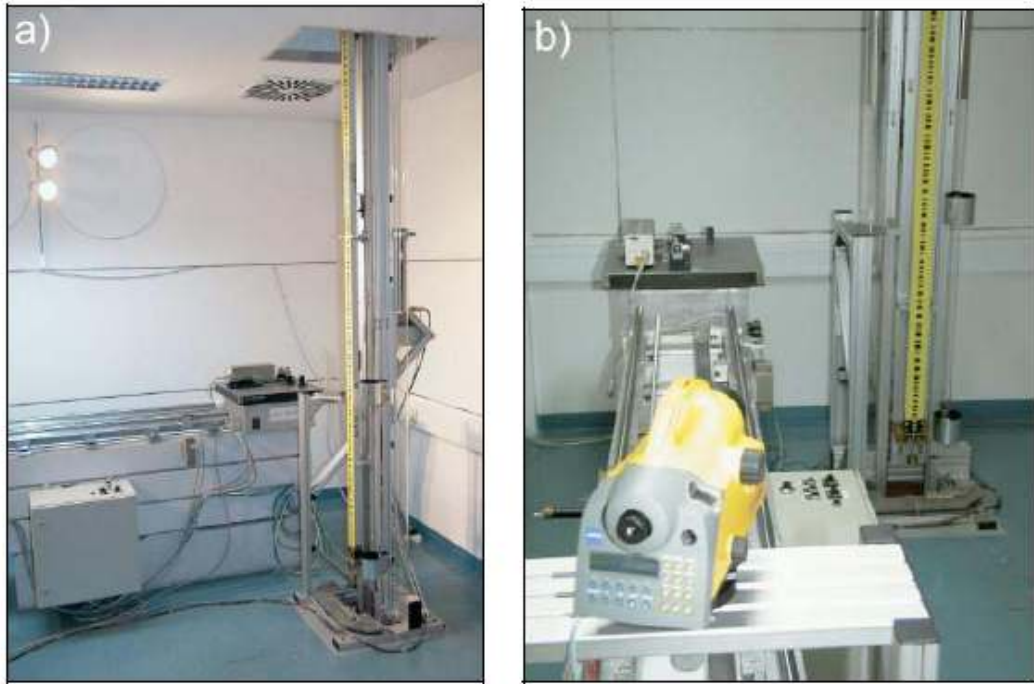
3.4.3.2 Sistem Kalibrasyonu İçin Düşey Komparatör

Son 10 sene içinde Jeodezik Metroloji Laboratuvarı (GML) Graz Üniversitesinde kurulmuştur. Laboratuar iklimle ilgili olarak $22^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\%50 \pm \%10$ nemle kontrol altında tutulmaktadır. GML'in kalibrasyon araçlarından bir tanesi de düşey komparatördür.

Düşey komparatörün temel içeriği düşey konumda kullanılması için nivelman mirasına monte edilmesidir. 3 metre uzunluğundaki invar miranın kalibrasyonu, 6.5 metre uzunluğundaki çerçeve ve üzerindeki taşıyıcıya yeterli alanı sağlamak için iki şaftla laboratuvarı genişletmekle gerçekleşir. Monte edilmiş mirayla taşıyıcı, lazer informetrenin kontrolünde hareket eder. Nivo beton zemin üzerine konumlandırılabilirdiği için, görme mesafesi 1.5m'den 30m'ye kadar seçilebilir. GML'de mira aydınlatılması, 4 çeşit sayısal nivodan herhangi biri için, spektral tepki alanı içinde ışığı yayan özel ışık ampulleri ile gerçekleştirilmektedir. Şematik bir görünüm Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Düşey komparatörün duyarlılığını $4\mu\text{m}$ 'yle tayin ederiz [13].



Şekil 3.5: GML-TUG'daki Düşey Komparatör Planı



Şekil 3.6: Aydınlatılmış Düşey Komparatör (a) ve Mira Konumu(b)

4. UYGULAMA

Bu çalışma kapsamında biri İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsünde diğeri Silahtarağa elektrik santrali alanında olmak üzere iki uygulama ele alınmıştır. Birinci çalışmada İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa kampüsünde bulunan 7 tanesi duvar tesisi (Rs), 14 tanesi de yer tesisi olmak üzere toplam 21 adet jeodezik noktanın yüksekliklerini belirlemek amacıyla, sayısal ve klasik nivelman ile presizyonlu geometrik nivelman ölçmeleri yapılmıştır. 7 halka ve 27 nivelman kenarından oluşan 21 noktalı kampüs nivelman ağı sayısal nivo ile gidiş ve dönüş olmak üzere ölçülmüştür. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla kampüs nivelman ağının bir parçası klasik nivo ile de gidiş dönüş olarak ölçülmüştür. Söz konusu ikinci ağ 3 halka, 13 nivelman kenarı ve 11 nokta içermektedir. İkinci çalışma İstanbul Haliç bölgesinde bulunan Silahtarağa elektrik santrali alanında deformasyon ölçmeleri için toplam 8 adet düşey kontrol noktası (Rs) ve 36 adet düşey obje noktasından oluşan 6 halkalı nivelman ağı gidiş dönüş olmak üzere ölçülmüştür. Arazide yapılan ölçme işlemleri tamamlandıktan sonra her iki uygulamaya ait nivelman ölçüleri dengelenmiş, nokta yükseklikleri ve doğrulukları hesaplanmıştır.

4.1 İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Nivelman Ölçmeleri

İTÜ Ayazağa kampüsü nivelman ağı nokta yüksekliklerinin iki farklı alet donanımı ile belirlenmesi ve bu yöntemlerin maliyetleri ve doğrulukları ile birlikte karşılaştırılması amacıyla yapılan çalışmada, klasik Presizyonlu nivelman için 4, sayısal Presizyonlu nivelman için ise 3 kişilik tek bir ekip görev almıştır. Uygulamalarda klasik Presizyonlu nivelmanda Şekil 4.2a' daki Carl Zeiss N11 kompansatörlü nivosu ve 2 metrelik invar şeritli bölümlendirme hatası $\pm 5 \mu\text{m}$ nin altına indirilmiş mira kullanılmıştır (Şekil 4.1a). Sayısal Presizyonlu Nivelmanda ise Şekil 4.2b'deki Topcon DL 101-C sayısal nivosu ve invar şeritli 3 metrelik barkodlu mira kullanılmıştır (Şekil 4.1b). Sayısal nivoya ait teknik bilgiler Tablo 1.1'de verilmiştir. Her ölçme yönteminde de miraların aynı düzleme basabilmesi için 2şer adet mira altlığı ve mira destek çubukları kullanılmıştır.



Şekil 4.1: a) Carl Zeiss Ni1



b) Topcon DL 101-C

Kampüste mevcut olan 3 Rs noktasına ek olarak 4 yeni Rs noktası uygun yerlere tesis edilmiştir. Bu noktaların yüksekliklerinin belirlenmesi amacı ile bu noktalar arasında gidiş-dönüş olmak üzere presizyonlu nivelman yapılmıştır. Çalışmaların tarihini, saatini, çalışanların görevlerini, çalışma koşullarını belirten çizelgeler günlük olarak hazırlanmıştır. Arazi işleri tamamlandıktan sonra dengeleme yöntemi belirlenmiş ve ölçüler dengelemeye sokulmuştur. Dengeleme sonrası kesin yükseklikler ve karesel ortalama hatalar belirlenmiştir. İki farklı donanımla yapılan ölçmelerin dengelenme sonuçları karşılaştırılmıştır. Son olarak maliyet analizi yapılmış ve çalışmada varılan sonuç ve öneriler belirtilmiştir.

İTÜ Ayazağa kampüsüne 4 yeni Rs noktası tesisi yapıldıktan sonra sayısal nivo ile 9 poligon noktası ve 7 Rs noktasından oluşan ağın kenarları gidiş – dönüş olarak ölçülmüştür. Bir istasyon noktasında G_1 I_1 I_2 G_2 sırasında mira okumaları yapılmıştır. Ölçmeler esnasında 3 kişi çalışmış olup (1 operatör, 2 miracı) toplam nivelman yolu 8 sa 15 dk toplam sürede kat edilmiştir (Şekil 4.2a).



Şekil 4.2: a) Sayısal Nivo İle Ölçme İşlemi

b) Klasik Nivo İle Ölçme İşlemi

4.1.1. Nivelman Ölçülerinin Değerlendirilmesi ve Nokta Yüksekliklerinin Hesabı

Nokta yüksekliklerinin hesabı için, Gauss-Markoff modeline göre en küçük kareler yöntemi ile dengeleme (dolaylı ölçüler dengelemesi) uygulanmıştır. Dengeleme hesabında Ek-A'da verilmiş olan ağ bir bütün olarak ele alınmış ve ortalama yükseklik farkları ölçü değerleri olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamındaki noktaların içinde yer alan inşaat fakültesi duvarında bulunan Rs-1 noktası, bilinen nokta olarak seçilmiş söz konusu noktanın bilinen kotu (93.5830 m) esas alınarak diğer noktaların yükseklikleri hesaplanmıştır.

Dengelemede, ağırlıkların hesabında;

$$P_i = \frac{1}{S(km)}, \quad \sigma_i^2 = \frac{\sigma_0^2}{P_i} \quad (4.1)$$

eşitliğinden yararlanılmış ve her bir ölçü için bir P_i ağırlığı hesaplanmıştır. Burada σ_0^2 , ağırlığı 1 seçilen yükseklik farkının (1km.lik nivelman yoluna sahip ortalama yükseklik farkının) varyansı, σ_i^2 ise, ağırlığı hesaplanacak i . gözlemenin varyansını göstermektedir. Daha sonra dengelemenin bilinen kuralları uygulanarak, ölçüler dengelenmiştir. Dengelemede ağırlığı 1 seçilen ölçünün dengeleme sonrası standart sapması;

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{P_i v_i v_i}{f}}, \quad f = n - u \quad (4.2)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte, v_i ; düzeltme değerleri, f ; serbestlik derecesi, n ; ölçü sayısı ve u ; bilinmeyen sayısıdır.

4.1.2. Dengeleme Hesabı

Bu proje kapsamında, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa kampüsünde bulunan 7 tanesi duvar tesisi (Rs), 14 tanesi de yer tesisi olmak üzere toplam 21 adet jeodezik noktayı içeren kampüs nivelman ağı kullanılmıştır. 6 halka ve 27 nivelman kenarından oluşan 21 noktalı kampüs nivelman ağı sayısal nivo ile gidiş ve dönüş olmak üzere ölçülmüştür. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla kampüs nivelman

ağının bir parçası klasik nivo ile de gidiş dönüş olarak ölçülmüştür. Söz konusu ikinci ağ 3 halka, 13 nivelman kenarı ve 11 nokta içermektedir. Nivelman ağlarını gösteren kanavalar Ek-A'da sunulmuştur.

Birinci ağa ait sayısal nivelman ölçüleri ortalama yükseklik farkları kullanılarak alet kurma sayısı ve nivelman yolu uzunluğuna göre ayrı ayrı dengelenmiştir. Dengeleme sonunda 1 km'lik nivelman yolu için birim ölçünün K.O.H sı (mo) 0,81mm, 1 alet kurmada elde edilen yükseklik farkı için birim ölçünün K.O.H sı (mo) 0,16mm bulunmuştur. Bilinmeyenlerin (nokta yükseklikleri) karesel ortalama hataları dayalı dengeleme için 0.26mm ile 0.59mm arasında değişmektedir. Serbest dengeleme için bilinmeyenlerin karesel ortalama hataları 0.25mm ile 0.58mm arasında değişmektedir (Tablo 4.1).

İkinci ağa ait sayısal nivelman ölçüleri ortalama yükseklik farkları kullanılarak nivelman yolu uzunluğuna göre dengelenmiştir. Dengeleme sonunda 1 km'lik nivelman yolu için birim ölçünün K.O.H sı (mo) 0,91mm olarak bulunmuştur. Bilinmeyenlerin karesel ortalama hataları 0.35mm ile 0.67mm arasında değişmektedir. İkinci ağa ait klasik nivelman ölçüleri ortalama yükseklik farkları kullanılarak nivelman yolu uzunluğuna göre dengelenmiş dengeleme sonunda 1 km'lik nivelman yolu için birim ölçünün K.O.H sı (mo) 1,27mm olarak bulunmuştur. Bilinmeyenlerin karesel ortalama hataları 0.49mm ile 0.95mm arasında değişmektedir (Tablo 4.1).

Aynı nivelman ağında, gidiş dönüş yükseklik farklarından (Δh 'lardan) da bir doğruluk hesaplanmıştır. Çift ölçü farklarından hesaplanan karesel ortalama hata sayısal nivo için 0,91mm, klasik presizyonlu nivelman için 0,87mm olarak hesaplanmıştır. Dengeleme sonuçları ve hesapları Ek-B de ve Tablo 4.1'de sunulmuştur.

İstanbul Teknik Üniversitesi nivelman ağına ait iki farklı alet donanımı ile yapılan ölçmelerden aynı noktaları kapsayan nivelman kenarlarında, sayısal ve klasik yöntemle elde edilen yükseklik farklarının farklarından elde edilen doğruluk maksimum 0.90mm minimum 0.36mm ve ortalama 0.63mm hesaplanmıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1: İTÜ Nivelman Ağına Ait Dengeleme Özet Tablosu

DENGELEME SONRASI		K.O.H. (mm)	Bilinmeyenlerin K.O.H. (mm)			
			Dayalı Dengeleme		Serbest Dengeleme	
1. AĞ	1 km'lik nivelman yoluna göre	0.81	min	max	min	max
	1 alet kurmada elde edilen yükseklik farkına göre	0.16	0.26	0.59	0.25	0.58
2. AĞ	1 km'lik nivelman yolu (sayısal)	0.91	0.35	0.67		
	1 km'lik nivelman yolu (klasik)	1.27	0.49	0.95		
Çift ölçü farklarının K.O.H.			Sayısal Nivo		Klasik Nivo	
			0,91		0,87	
Karşılaştırma ağı yükseklik farklarından elde edilen		K.O.H. (mm)	min		max	
		0.17	0.36		0.90	

4.1.3. Maliyet Karşılaştırması

İki farklı alet donanımı ile yapılan presizyonlu nivelman çalışmasının ölçme, hesap yönünden karşılaştırılmasının yanı sıra maliyet açısından da karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma da iller bankasının belirlediği birim fiyatlar baz alınmış ve kampüs nivelman ağının bir kısmını içine alan ikinci ağ için (her iki alet donanımı ile ölçülen ortak halkalar) günlük maliyetler belirlenmiştir. Günlük ortalama 8 saat çalışıldığı ve çalışma da 1 tanesi yazıcı diğer iki tanesi miracı olmak üzere 3 işçi ve 1 operatörün (harita mühendisi) çalıştığı göz önüne alınarak birim fiyatlar seçilmiştir. Sayısal Nivelmanda yazıcı kullanılmamıştır. Aynı zamanda günlük yemek masrafları da Tablo 4.2’de “diğer masraflar” kısmında belirtilmiştir.

Tablo 4.2: Klasik ve Sayısal Nivelarla Yapılan Bir Günlük (8 Saat) Presizyonlu Nivelman Ölçmelerinin Maliyet Karşılaştırması

Sayı	Personel / Kullanılan Donanım / Araç Gereç vs.	Klasik Nivo ile Presizyonlu Nivelman				Sayısal Nivo ile Presizyonlu Nivelman			
		Birim Saat		Birim (YTL)	Toplam (YTL)	Birim Saat		Birim (YTL)	Toplam (YTL)
1 Kişi	Operatör (Harita Mühendisi)	8	x	7.250	58.000	8	x	7.250	58.000
1 Kişi	Yazıcı	8	x	1.176	18.816	-	-	-	-
2 Kişi	Mesaha İşçisi	8	x	1.176	9.408	8	x	1.176	18.816
	Ulaşım Maliyeti	1	x	4.125	4.125	1	x	4.125	4.125
	Nivo ve Donanım	8	x	2.611	20.888	8	x	2.611	20.888
	Diğer Masraflar	-	-	-	10.000	-	-	-	7.500
TOPLAM MALİYET (YTL)					121.237				
Ortalama Günlük Nivelman Yolu		2-2.5 km				4-5 km			
Birim Maliyet		60.619 - 48.495 YTL / 1km				27.332 - 21.886 YTL / 1km			
ORAN		60.619 / 27.332 = 2.22				48.495 / 27.332 = 2.22			

4.2. Santral İstanbul Deformasyon Ölçmeleri

İstanbul Haliç bölgesinde bulunan Silahtarağa elektrik santrali alanında yeni yapılan binaların yatay ve düşey hareketlerinin izlenmesi amacıyla 2006 yılı Temmuz-Ağustos ayları içinde deformasyon ölçmeleri yapılmıştır. Devam etmesi planlanan proje şartlar oluşmadığı için devam edememiş ve sadece başlangıç ölçmeleri ile sınırlı kalmıştır. Deformasyonların düşey ve yatay bileşenlerinin belirlenmesi amacıyla iki ayrı tesis yapılmıştır. Yapılan tesislere ilişkin bilgiler aşağıda sunulmuştur. Çalışma bölgesinde düşey deformasyon ağı tamamlanmış ve ilk periyot ölçmeleri yapılmıştır. Yatay kontrol ağına ilişkin ölçme ve değerlendirmeler bu tez çalışması kapsamına konu edilmemiştir.

4.2.1. Noktaların Tesis

Çalışma alanında toplam 8 adet düşey kontrol noktası (Rs) ve 36 adet düşey obje noktası (D1, D2,...,D36) tesis edilmiştir. Düşey ağı ait noktaların tesisinde paslanmaya karşı özel bir işleme tabi tutulmuş zemin işaretleri kullanılmıştır. Noktalar arasında presizyonlu nivelman yapılacağı göz önüne alınarak işaretler buna uygun şekilde dizayn edilmiştir. Bölgenin inşaat alanı olması nedeniyle yapının cinsine göre (genellikle çelik yapı) kullanılmak üzere yaklaşık 20 cm uzunluğunda yaptırılan bu işaretler, kaynaklanarak sağlam bir şekilde tesis edilmiştir (Şekil 4.3). Düşey kontrol noktalarının (Rs'lerin) tesisinde ise, çelikten yapılmış duvar işaretleri kullanılmıştır. Bu tesisler, mümkün olduğunca uzun süreli yaşayacak şekilde çalışma bölgesi dışında yer alan sağlam, kalıcı bina vb. yapıların duvarlarına yerleştirilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.3: Bölgede Tesis Edilen Düşey Obje Noktaları



Şekil 4.4: Bölgede Tesis Edilen Düşey Kontrol Noktaları

4.2.2. Nivelman Ölçmeleri ve Dengeleme Hesabı

Presizyonlu nivelman ölçmeleri 18-26 Temmuz 2006 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5). Nivelman kenarlarının gidiş-dönüş olarak iki kere ölçülmesinin dışında, mümkün olduğunca fazla halka oluşturacak şekilde ek ölçmeler yapılmıştır. Söz konusu bu ölçmelere ait özet tabloları Ek-Ade verilmiştir. Silahtarağa Santral İstanbul presizyonlu nivelman ölçmelerine ait kanava Ek-C'de verilmiştir.



Şekil 4.5: Presizyonlu Nivelman Ölçmeleri

Nokta yüksekliklerinin hesabı için, Gauss-Markoff modeline göre en küçük kareler yöntemi ile dengeleme (dolaylı ölçüler dengelemesi) uygulanmıştır. Dengeleme hesabında Santral İstanbul nivelman ağı bir bütün olarak ele alınmış ve Ek-A'de verilmiş olan ortalama yükseklik farkları ölçü değerleri olarak kullanılmıştır. Proje kapsamındaki noktaların içinde yer alan Rs.5 noktasının kotu 99,615 m olarak alınmıştır. Bu noktanın bilinen kotu (99,615 m) esas alınarak diğer noktaların yükseklikleri hesaplanmış ve dengelemesi yapılmıştır.

Dengeleme sonrasında nokta yüksekliklerinin kesin değerleri ile bunlara ait standart sapmaları elde edilmiştir. Hesaplar sonucunda elde edilen kesin nokta yükseklikleri Ek-C'de özet olarak verilmiştir. Dengeleme sonrasında birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatası 2.06mm olarak bulunmuştur. Dengeleme hesabı sonucunda kesin değerlerin (nokta yükseklikleri) elde edilen karesel ortalama hataları maksimum 1,82 mm ile minimum 0,77 mm arasında değişmektedir. Ortalama olarak 1,12 mm değeri elde edilmiştir. Dengelenmiş yükseklik farklarının karesel ortalama hataları ise maksimum 1,38 mm ile minimum 0,24mm arasında değişmekte ve ortalaması 0,53 mm değerini almaktadır. Bu bağlamda yapılan çalışmanın yükseklik farklarının yaklaşık olarak $\pm 0,5\text{mm}$ karesel ortalama hata ile belirlendiği görülmektedir. Nokta kotlarının ise yaklaşık olarak $\pm 1,2$ mm karesel ortalama hata ile belirlendiği söylenebilir.

Bir önceki uygulamada olduğu gibi Santral İstanbul nivelman ağına da gidiş dönüş yükseklik farklarının (Δ hların) farklarından diğer bir değişle çift ölçü farklarından bir doğruluk hesaplanmıştır. Söz konusu bu değer 1,32mm olarak hesaplanmıştır.

Santral İstanbul deformasyon noktaları nivelman ağına toplam 6 halka oluşturulmuştur. Bu halkalardan elde edilen doğruluklar (halka kapanma hataları) Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Santral İstanbul'a Ait Dengeleme Özet Tablosu

DENGEME SONRASI K.O.H.		min	max	ort.
Kesin değerlerin (nokta yüksekliklerinin)		0,77mm	1,82mm	1.12
Dengelenmiş yükseklik farklarının		0.24mm	1,38mm	0.53mm
Çift l farklarından		1,32mm		
Dengeleme sonrası birim ağırlıklı ölçünün K.O.H.		2.06mm		
Halka Kapanmalarının Doğrulukları				
Halka 1	2.2mm	Halka 4	0.4mm	
Halka 2	2.1mm	Halka 5	0.5mm	
Halka 3	0.6mm	Halka 6	0.1mm	

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ölçme tekniklerinden presizyonlu geometrik nivelman tekniği ile günümüz teknolojilerinden sayısal nivo ve donanımları hakkında genel bir bilgi verilmiş ve sayısal nivolarla ilgili uygulamalar ve elde edilen doğruluklar sunulmuştur. Bu tez kapsamında biri İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsünde diğeri Silahtarağa elektrik santrali alanında olmak üzere iki uygulama ele alınmıştır.

Santral İstanbul, Silahtarağa elektrik santrali bölgesi nivelman ölçülerine ait ayrıntıları önceki bölümde verilen bilgiler ışığında yapılan çalışmada dengeleme sonrasında nokta yüksekliklerinin kesin değerleri ile bunlara ait standart sapmaları elde edilmiştir. Hesaplar sonucunda elde edilen kesin nokta yükseklikleri Ek-C’de özet olarak verilmiştir. Dengeleme sonrasında birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatası 2.06mm olarak bulunmuştur. Dengeleme hesabı sonucunda kesin değerlerin (nokta yükseklikleri) elde edilen karesel ortalama hataları maksimum 1,82mm ile minimum 0,77mm arasında değişmektedir. Ortalama olarak 1,12mm değeri elde edilmiştir. Dengelenmiş yükseklik farklarının karesel ortalama hataları ise maksimum 1,38mm ile minimum 0,24mm arasında değişmekte ve ortalaması 0,53mm değerini almaktadır. Bu bağlamda yapılan çalışmanın yükseklik farklarının yaklaşık olarak $\pm 0,5$ mm karesel ortalama hata ile belirlendiği görülmektedir. Nokta kotlarının ise yaklaşık olarak $\pm 1,2$ mm karesel ortalama hata ile belirlendiği söylenebilir.

Santral İstanbul nivelman ağında da gidiş dönüş yükseklik farklarının (Δ hların) farklarından diğeri bir değişle çift ölçü farklarından bir doğruluk hesaplanmıştır. Söz konusu bu değer 1,32mm olarak hesaplanmıştır.

İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa kampüsünde bulunan 7 tanesi duvar tesisi (Rs), 14 tanesi de yer tesisi olmak üzere toplam 21 adet jeodezik noktanın

yüksekliklerini belirlemek amacıyla, sayısal ve klasik nivolar ile presizyonlu geometrik nivelman ölçmeleri yapılmıştır. 6 halka ve 27 nivelman kenarından oluşan 21 noktalı kampüs nivelman ağı sayısal nivo ile gidiş ve dönüş olmak üzere ölçülmüştür. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla kampüs nivelman ağın bir parçası klasik nivo ile de gidiş dönüş olarak ölçülmüştür. Söz konusu ikinci ağ 3 halka, 13 nivelman kenarı ve 11 nokta içermektedir. Ölçüler serbest ve dayalı olarak ayrı ayrı dengelenmiştir. Kampüs nivelman ağı dengelendiğinde birim ölçü olarak kabul edilen 1 km'lik nivelman yoluna ait yükseklik farkının karesel ortalama hatası (K.O.H)'sı (m_o) 0.81mm olarak bulunmuştur. İkinci ağ için sayısal nivelman ölçüleri dengelemesi sonucunda 1 km'lik nivelman yoluna ait yükseklik farkının karesel ortalama hatası (K.O.H)'sı (m_o) 0.91mm bulunmuştur. Klasik nivelman ölçüleri dengelendiğinde aynı değer 1.28mm olarak hesaplanmıştır.

Çalışmalardan elde edilen doğruluklar göz önüne alındığında, yapılan ölçmeler ve maliyet hesapları sonucunda, gerek arazi çalışmalarındaki rahatlığı gerekse hesaplamalarda ki kolaylığı nedeni ile, sayısal nivelmanın klasik nivelmana göre birçok üstünlüğü olduğu tespit edilmiştir. Bu üstünlükler şu şekilde özetlenebilir:

- Gözle mira okuması yapılmadığı için gözün yorulmaması,
- Otomatik veri depolaması (kayıt ve buna ilişkin kişi hatalarının giderilmesi),
- Hesaplama hatalarının giderilmesi,
- Kolay ve anlaşılır bir mönüye sahip olması,
- Hızlı ve ekonomik ölçü sağlaması,
- Klasik nivoları göre daha uzak mesafeden ölçme yapabilmesi (100 m uzaklık ölçümü),
- Bilgisayara doğrudan bağlantı ile kısa zamanda aktarma, hesaplama ve çıkış kolaylığı sağlaması,
- Klasik nivonun kullanılabildiği bütün koşullarda kullanılması,
- Bazı modellerde gözleme çizgileri yardımıyla klasik nivo gibi kullanılabilmesi.

Bu avantajların yanında sayısal nivoların bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajları şu şekilde sıralayabiliriz.

- Klasik nivolarla gözün seçebileceği bir ışık miraya yansıdığında sağlıklı okuma yapılabilmekte. Ancak sayısal nivolarda yeterli ışık olmadığı zaman mirayı okuma sorunu yaşanabilmektedir,
- Sayısal nivolarda batarya sorunu yaşanabilir,
- Sayısal nivolarda miranın alt veya üst kesimlerinde okuma yapılamamaktadır,
- İyi netleştirme yapılamadığında mira okuması gerçekleştirilememektedir.

Günümüzde, düşey kontrol ağırları önemini korumaktadır. Ayrıca, yerel geoid ondülasyonlarının belirlenmesi ve özellikle raylı sistemler gibi mühendislik yapılarında talep edilen yüksek doğrulukta noktaların oluşturulması çalışmalarında presizyonlu nivelman ölçmelerine olan ihtiyaç artarak devam etmektedir. Ölçme süresini, dolayısıyla maliyeti, yaklaşık ikide bir oranına düşüreceği göz önünde tutularak doğruluğun yeterli görüldüğü durumlarda klasik presizyonlu nivoların yerine sayısal nivoların kullanılmasının kolay, tutarlı ve güvenilir olacağı söylenebilir.

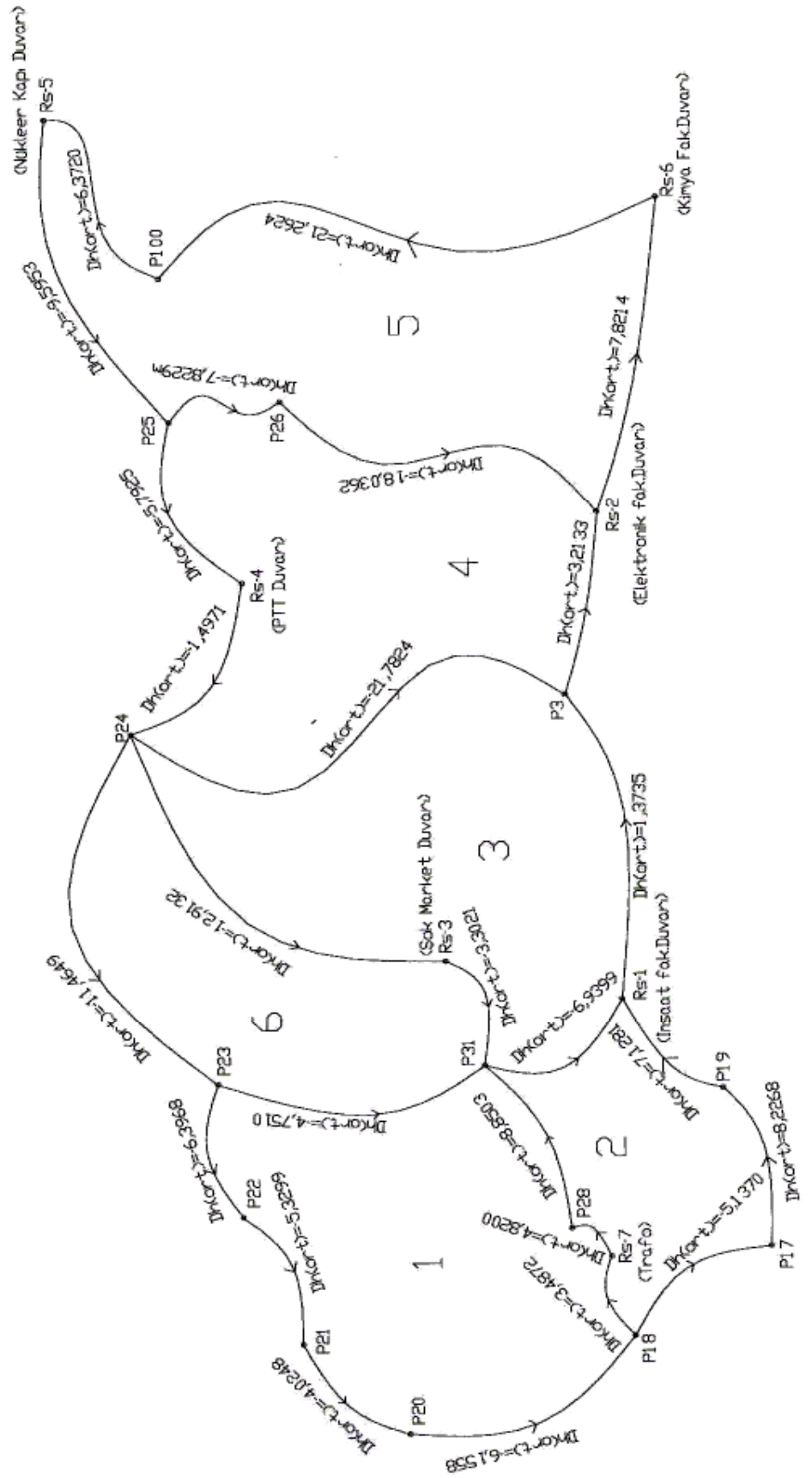
KAYNAKLAR

- [1] **Yanar, R.**, 1997. Sayısal Nivolar, *Harita Dergisi*, **117**, 29-41.
- [2] **Uzel, T. ve Gülal, E.**, 1997. Sayısal Nivolar, *Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi*, **83**, 121-. 126.
- [3] **Ekinci, S.K., Çamyar, E. ve Maldar, C.**, 2005, Klasik Presizyonlu Nivolar ile Elektronik Presizyonlu Nivoların Karşılaştırılması, *Tasarım Projesi*, İTÜ. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [4] **Samsun, N.**, 2000, Presizyonlu Nivelman ile Yükseklik Belirleme, *Tasarım Projesi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [5] **Horzum, T.F.**, 1999, Ölçme Bilgisi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya
- [6] **Gürdal, M.A.**, 2004, Sayısal Nivoların Teknolojisi ve Tarihsel Gelişimi, *Harita Dergisi*, **131**, 20-33.
- [7] **Kalkan, Y., Alkan, R. M. ve Yanalak, M.**, 2005. Ulaştırma Yapılarına İlişkin Mühendislik Projelerinde Yatay-Düşey Kontrol Ağlarının Oluşturulması: Üsküdar-Ümraniye II. Etap Hafif Metro Projesi Örneği, *HKMO 10. Teknik Kurultayı Bildirisi*, Ankara.
- [8] **Ingensand, H.**, The Evolution of Digital Leveling Techniques. *Limitations and New Solutions*. Nisan 2003.
- [9] **www.leica.com**, 2007. Leica Firması Web Adresi.
- [10] **www.sokkia.com**, 2007. Sokkia Firması Web Adresi.
- [11] **www.topcon.com**, 2007. Topcon Firması Web Adresi.
- [12] **www.trimble.com**, 2007. Trimble Firması Web Adresi.

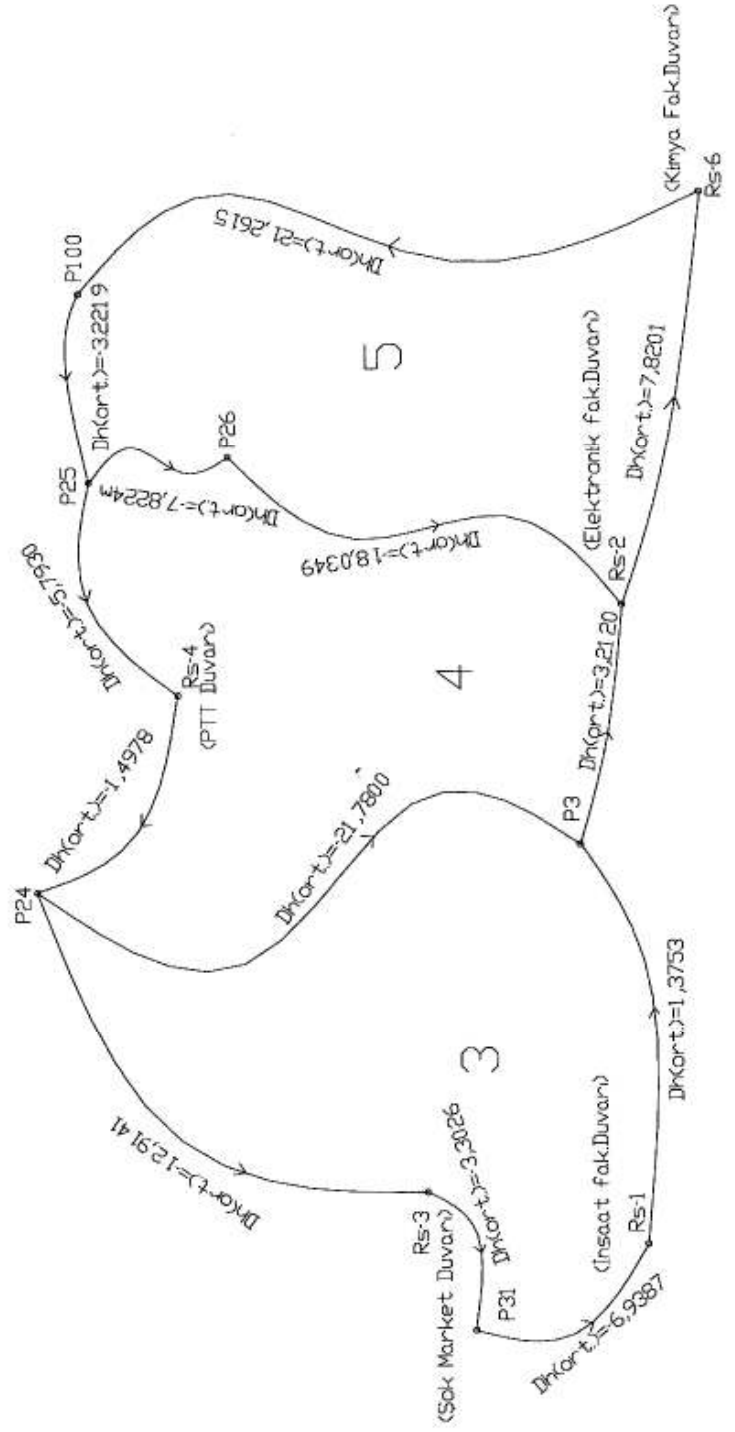
- [13] **Takalo M. ve Rouhiainen P.**, 2004. Development of a System Calibration Comparator for Digital Levels in Finland *Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research*, **Vol 1**, 119-130.
- [14] **Woschitz H., Brunner F. ve Heister H.**, 2001. Preprint from ZfV (Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement), Scale Determination of Digital Levelling Systems using a Vertical Comparator, **128**, 11-17.

EKLER

İTÜ Ayazağa Kampüsü Nivelman Ağı
 Presizyonlu Nivelman Ölçü Kanavaşı
 (Sayısal Nivo)

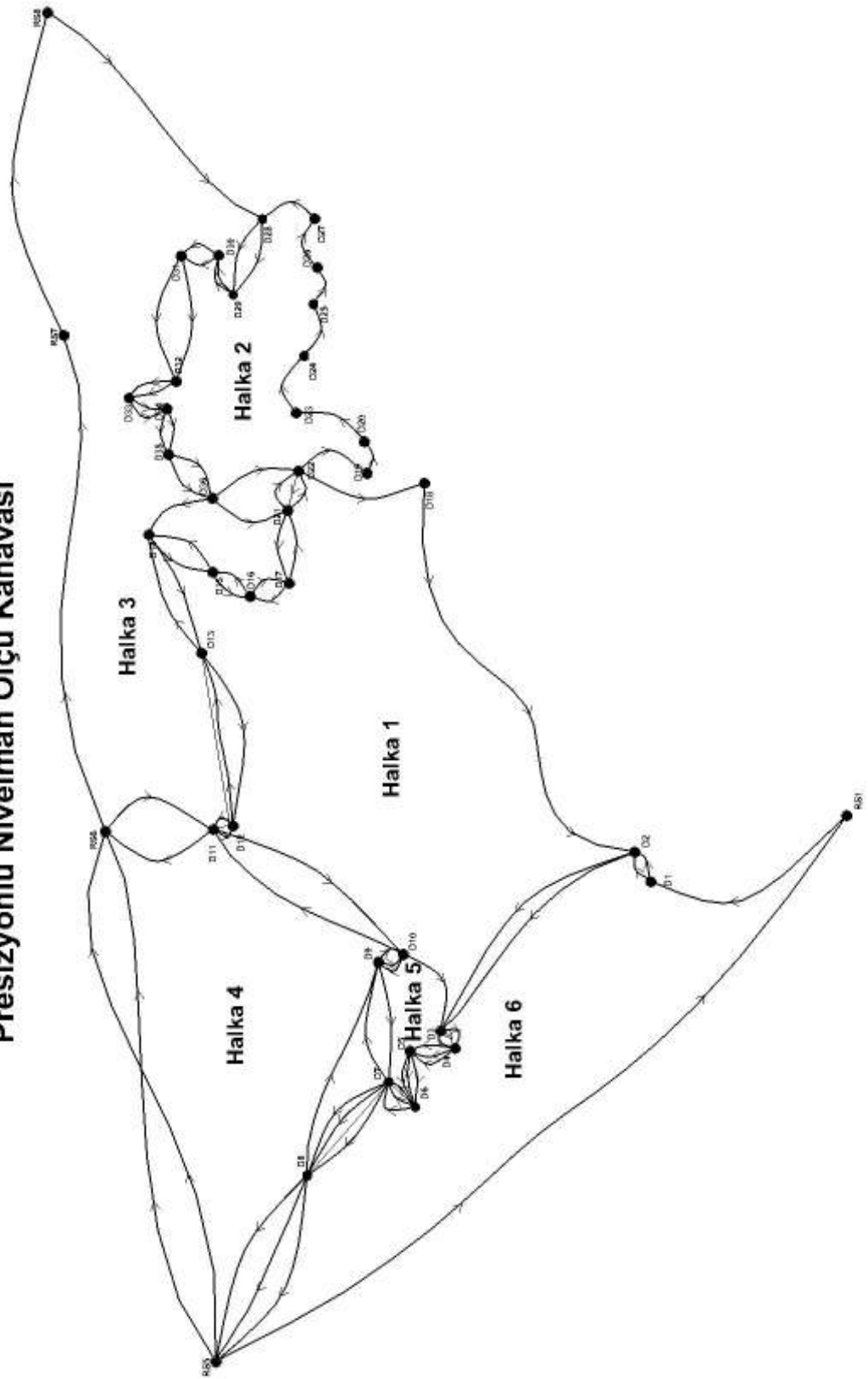


İTÜ Ayazağa Kampüsü Nivelman Ağı Presizyonlu Nivelman Ölçü Kanavası (Klasik Nivo)



Santral İstanbul Deformasyon Noktaları Nivelman Ağı

Presizyonlu Nivelman Ölçü Kanavas



EK-B

Kampüs Nivelman Ağı Nivelman Yoluna Göre Dayalı Dengeleme
Sonuçları
(Sayısal Nivo)

kampus bitirme
kampus

AŞdaki Nokta Sayısı : 21
Bilinmeyen Sayısı : 20
Sabit Nokta Sayısı : 1
ölçü Sayısı : 27

S A B İ T K O T L A R		
N.N.	KOT (m)	
101	93.5830	

YAKLAŞIK KOTLAR		
N.N.	KOT (m)	
3	94.9565	
17	78.2306	
18	83.3676	
19	86.4574	
20	89.5244	
21	93.5492	
22	98.8791	
23	105.2758	
24	116.7407	
25	124.0303	
26	116.2074	
28	91.6748	
31	100.5250	
100	127.2536	
102	98.1698	
103	103.8271	
104	118.2378	
105	133.6255	
106	105.9912	
107	86.8548	

Ö L Ç Ü L E N Y Ü K S E K L İ K F A R K L A R I

D.N.	B.N.	dH (m)	nk/Skm	(dHo - dH) (mm)
101	3	1.37350	0.2980	0.000
3	24	21.78240	0.3850	1.800
3	102	3.21330	0.1910	0.000
102	26	18.03620	0.3610	1.400
26	25	7.82290	0.0980	0.000
25	104	-5.79250	0.2190	0.000
104	24	-1.49710	0.2080	-0.000
24	103	-12.91360	0.3800	-0.000
103	31	-3.30210	0.0720	-0.000
31	101	-6.93990	0.1700	-2.100
102	106	7.82140	0.3820	-0.000
106	100	21.26240	0.3000	0.000
100	25	-3.22330	0.1200	-0.000
100	105	6.37200	0.1950	-0.100
105	25	-9.59530	0.3220	0.100
31	28	-8.85030	0.2250	0.100
28	107	-4.82000	0.0700	0.000
107	18	-3.48720	0.0810	0.000
24	23	-11.46490	0.2500	0.000
23	31	-4.75100	0.2750	0.200
23	22	-6.39680	0.1180	0.100
22	21	-5.32990	0.1230	-0.000
21	20	-4.02480	0.1220	-0.000
20	18	-6.15580	0.2150	-1.000
18	17	-5.13700	0.1390	0.000
17	19	8.22680	0.1460	0.000
19	101	7.12810	0.1210	-2.500

D E N G E L E N M İ Ş K O T L A R

N.N.	Ho (m)	Bilinmeyen (mm)	H (m)	mdH (mm)
3	94.9565	-0.25442	94.9562	0.364
17	78.2306	-2.22496	78.2284	0.341
18	83.3676	-2.08174	83.3655	0.359
19	86.4574	-2.37533	86.4550	0.260
20	89.5244	-2.77571	89.5216	0.433
21	93.5492	-2.60215	93.5466	0.439
22	98.8791	-2.42721	98.8767	0.421
23	105.2758	-2.15913	105.2736	0.378
24	116.7407	-2.01135	116.7387	0.377
25	124.0303	-1.59916	124.0287	0.506
26	116.2074	-1.65027	116.2057	0.523
28	91.6748	-2.14110	91.6727	0.375
31	100.5250	-2.12999	100.5229	0.279
100	127.2536	-1.45427	127.2521	0.539
102	98.1698	-0.43880	98.1694	0.462
103	103.8271	-2.11113	103.8250	0.335
104	118.2378	-1.81057	118.2360	0.473
105	133.6255	-1.40889	133.6241	0.587
106	105.9912	-1.00733	105.9902	0.572
107	86.8548	-2.11366	86.8527	0.375

Ö Z E T Ç İ Z E L G E

D.N.	-	B.N.		ÖLÇÜ (m)	V (mm)	DENGELİ ÖLÇÜ (m)	KONTROL (mm)	AĞIRLIK P	K.O.H. (mm)
101	-		3	1.3735	-0.2544	1.3732	0.000	3.356	0.4438
3	-		24	21.7824	0.0429	21.7824	-0.000	2.597	0.5044
3	-		102	3.2133	-0.1844	3.2131	-0.000	5.236	0.3553
102	-		26	18.0362	0.1890	18.0364	0.000	2.770	0.4885
26	-		25	7.8229	0.0513	7.8230	-0.000	10.204	0.2545
25	-		104	-5.7925	-0.2114	-5.7927	0.000	4.566	0.3805
104	-		24	-1.4971	-0.2008	-1.4973	-0.000	4.808	0.3708
24	-		103	-12.9136	-0.0998	-12.9137	0.000	2.632	0.5012
103	-		31	-3.3021	-0.0189	-3.3021	-0.000	13.889	0.2181
31	-		101	-6.9399	0.0299	-6.9399	0.000	5.882	0.3352
102	-		106	7.8214	-0.5687	7.8208	-0.000	2.618	0.5025
106	-		100	21.2624	-0.4466	21.2620	0.000	3.333	0.4453
100	-		25	-3.2233	-0.1449	-3.2234	-0.000	8.333	0.2816
100	-		105	6.3720	-0.0548	6.3719	-0.000	5.128	0.3590
105	-		25	-9.5953	-0.0905	-9.5954	-0.000	3.106	0.4613
31	-		28	-8.8503	0.0887	-8.8502	0.000	4.444	0.3856
28	-		107	-4.8200	0.0276	-4.8200	-0.000	14.286	0.2151
107	-		18	-3.4872	0.0319	-3.4872	0.000	12.346	0.2314
24	-		23	-11.4649	-0.1478	-11.4650	-0.000	4.000	0.4065
23	-		31	-4.7510	0.2291	-4.7508	-0.000	3.636	0.4263
23	-		22	-6.3968	-0.1680	-6.3970	-0.000	8.475	0.2793
22	-		21	-5.3299	-0.1752	-5.3301	0.000	8.130	0.2851
21	-		20	-4.0248	-0.1737	-4.0250	0.000	8.197	0.2840
20	-		18	-6.1558	-0.3062	-6.1561	-0.000	4.651	0.3770
18	-		17	-5.1370	-0.1431	-5.1371	-0.000	7.194	0.3031
17	-		19	8.2268	-0.1503	8.2266	-0.000	6.849	0.3106
19	-		101	7.1281	-0.1246	7.1280	0.000	8.264	0.2828

Birim Ağırlıklı Ölçünün K.O.H.

Mo = 0.813 mm

Kampüs Nivelman Ağı Nivelman Yoluna Göre Dayalı Dengeleme
Sonuçları
Alet Kurma Sayısına Göre
(Sayısal Nivo)

kampus
kampus

Ağıdaki Nokta Sayısı : 21
Bilinmeyen Sayısı : 20
Sabit Nokta Sayısı : 1
Olcu Sayısı : 27

=====		
	S A B I T	K O T L A R
=====		
	N.N.	KOT (m)
=====		
	101	93.5830
=====		

YAKLASIK KOTLAR		
N.N.	KOT (m)	
3	94.9565	
17	78.2306	
18	83.3676	
19	86.4574	
20	89.5244	
21	93.5492	
22	98.8791	
23	105.2758	
24	116.7407	
25	124.0303	
26	116.2074	
28	91.6748	
31	100.5250	
100	127.2536	
102	98.1698	
103	103.8271	
104	118.2378	
105	133.6255	
106	105.9912	
107	86.8548	

O L C U L E N Y U K S E K L I K F A R K L A R I

D.N.	B.N.	dH (m)	nk/Skm	(dHo - dH) (mm)
101	3	1.37350	7.0000	0.000
3	24	21.78240	11.0000	1.800
3	102	3.21330	5.0000	0.000
102	26	18.03620	11.0000	1.400
26	25	7.82290	5.0000	0.000
25	104	-5.79250	5.0000	0.000
104	24	-1.49710	5.0000	-0.000
24	103	-12.91360	8.0000	-0.000
103	31	-3.30210	3.0000	-0.000
31	101	-6.93990	6.0000	-2.100
102	106	7.82140	11.0000	-0.000
106	100	21.26240	11.0000	0.000
100	25	-3.22330	2.0000	-0.000
100	105	6.37200	4.0000	-0.100
105	25	-9.59530	6.0000	0.100
31	28	-8.85030	6.0000	0.100
28	107	-4.82000	3.0000	0.000
107	18	-3.48720	3.0000	0.000
24	23	-11.46490	9.0000	0.000
23	31	-4.75100	7.0000	0.200
23	22	-6.39680	3.0000	0.100
22	21	-5.32990	3.0000	-0.000
21	20	-4.02480	3.0000	-0.000
20	18	-6.15580	5.0000	-1.000
18	17	-5.13700	3.0000	0.000
17	19	8.22680	4.0000	0.000
19	101	7.12810	3.0000	-2.500

D E N G E L E N M I S K O T L A R

N.N.	Ho (m)	Bilinmeyen (mm)	H (m)	mdH (mm)
3	94.9565	-0.24015	94.9563	0.351
17	78.2306	-2.20496	78.2284	0.341
18	83.3676	-2.07848	83.3655	0.363
19	86.4574	-2.37352	86.4550	0.252
20	89.5244	-2.79772	89.5216	0.428
21	93.5492	-2.62935	93.5466	0.436
22	98.8791	-2.46102	98.8766	0.424
23	105.2758	-2.19244	105.2736	0.389
24	116.7407	-2.00223	116.7387	0.383
25	124.0303	-1.62482	124.0287	0.502
26	116.2074	-1.68859	116.2057	0.535
28	91.6748	-2.16258	91.6726	0.393
31	100.5250	-2.14704	100.5229	0.304
100	127.2536	-1.54070	127.2521	0.525
102	98.1698	-0.42886	98.1694	0.453
103	103.8271	-2.10758	103.8250	0.371
104	118.2378	-1.81353	118.2360	0.468
105	133.6255	-1.47433	133.6240	0.562
106	105.9912	-0.98453	105.9902	0.575
107	86.8548	-2.12061	86.8527	0.392

O Z E T C I Z E L G E

D.N.	-	B.N.	OLCU (m)	v (mm)	DENGELİ OLCU (m)	KONTROL (mm)	AGIRLIK P	K.O.H. (mm)
101	-	3	1.37350	-0.2401	1.37326	0.000	0.143	0.4147
3	-	24	21.78240	0.0378	21.78244	-0.000	0.091	0.5199
3	-	102	3.21330	-0.1887	3.21311	-0.000	0.200	0.3505
102	-	26	18.03620	0.1407	18.03634	0.000	0.091	0.5199
26	-	25	7.82290	0.0640	7.82296	-0.000	0.200	0.3505
25	-	104	-5.79250	-0.1887	-5.79269	0.000	0.200	0.3505
104	-	24	-1.49710	-0.1887	-1.49729	-0.000	0.200	0.3505
24	-	103	-12.91360	-0.1054	-12.91371	-0.000	0.125	0.4433
103	-	31	-3.30210	-0.0395	-3.30214	-0.000	0.333	0.2715
31	-	101	-6.93990	0.0470	-6.93985	0.000	0.167	0.3839
102	-	106	7.82140	-0.5558	7.82084	-0.000	0.091	0.5199
106	-	100	21.26240	-0.5558	21.26184	0.000	0.091	0.5199
100	-	25	-3.22330	-0.0841	-3.22338	-0.000	0.500	0.2217
100	-	105	6.37200	-0.0338	6.37197	-0.000	0.250	0.3135
105	-	25	-9.59530	-0.0508	-9.59535	0.000	0.167	0.3839
31	-	28	-8.85030	0.0843	-8.85022	0.000	0.167	0.3839
28	-	107	-4.82000	0.0421	-4.81996	-0.000	0.333	0.2715
107	-	18	-3.48720	0.0421	-3.48716	-0.000	0.333	0.2715
24	-	23	-11.46490	-0.1902	-11.46509	0.000	0.111	0.4702
23	-	31	-4.75100	0.2453	-4.75075	-0.000	0.143	0.4147
23	-	22	-6.39680	-0.1685	-6.39697	0.000	0.333	0.2715
22	-	21	-5.32990	-0.1685	-5.33007	0.000	0.333	0.2715
21	-	20	-4.02480	-0.1685	-4.02497	0.000	0.333	0.2715
20	-	18	-6.15580	-0.2809	-6.15608	-0.000	0.200	0.3505
18	-	17	-5.13700	-0.1264	-5.13713	-0.000	0.333	0.2715
17	-	19	8.22680	-0.1685	8.22663	0.000	0.250	0.3135
19	-	101	7.12810	-0.1264	7.12797	-0.000	0.333	0.2715

Birim Agirlikli Olcunun K.O.H.

Mo = 0.157 mm

Karşılaştırma Ağıının Sayısal Nivo Ölçmelerine Göre Dayalı Dengeleme
Sonuçları

kampus
kampus

Ağıdaki Nokta Sayısı : 11
Bilinmeyen Sayısı : 10
Sabit Nokta Sayısı : 1
ölçü Sayısı : 13

S A B İ T K O T L A R	
N.N.	KOT (m)
101	93.5830

YAKLAŞIK KOTLAR	
N.N.	KOT (m)
3	94.9565
24	116.7407
25	124.0303
26	116.2074
31	100.5250
100	127.2536
102	98.1698
103	103.8271
104	118.2378
106	105.9912

Ö L Ç Ü L E N Y Ü K S E K L İ K F A R K L A R I					
D.N.	B.N.	dH (m)	nk/Skm	(dHo - dH) (mm)	
101	3	1.37350	0.2980	0.000	
3	24	21.78240	0.3850	1.800	
3	102	3.21330	0.1910	0.000	
102	26	18.03620	0.3610	1.400	
26	25	7.82290	0.0980	0.000	
25	104	-5.79250	0.2190	0.000	
104	24	-1.49710	0.2080	-0.000	
24	103	-12.91360	0.3800	-0.000	
103	31	-3.30210	0.0720	-0.000	
31	101	-6.93990	0.1700	-2.100	
102	106	7.82140	0.3820	-0.000	
106	100	21.26240	0.3000	0.000	
100	25	-3.22330	0.1200	-0.000	

D E N G E L E N M İ Ş K O T L A R

N.N.	Ho (m)	Bilinmeyen (mm)	H (m)	mdH (mm)
3	94.9565	-0.14282	94.9564	0.429
24	116.7407	-1.80208	116.7389	0.494
25	124.0303	-1.44149	124.0289	0.599
26	116.2074	-1.49751	116.2059	0.615
31	100.5250	-2.01861	100.5230	0.346
100	127.2536	-1.27135	127.2523	0.640
102	98.1698	-0.30412	98.1695	0.540
103	103.8271	-1.98416	103.8251	0.398
104	118.2378	-1.62644	118.2362	0.576
106	105.9912	-0.84563	105.9904	0.666

Ö Z E T Ç İ Z E L G E

D.N.	-	B.N.	öLçü (m)	v (mm)	DENGELİ öLçü (m)	KONTROL (mm)	AİRLİK P	K.O.H. (mm)
101	-	3	1.3735	-0.1428	1.3734	0.000	3.356	0.4950
3	-	24	21.7824	0.1406	21.7825	-0.000	2.597	0.5627
3	-	102	3.2133	-0.1613	3.2131	-0.000	5.236	0.3963
102	-	26	18.0362	0.2070	18.0364	0.000	2.770	0.5448
26	-	25	7.8229	0.0562	7.8230	-0.000	10.204	0.2839
25	-	104	-5.7925	-0.1849	-5.7927	-0.000	4.566	0.4244
104	-	24	-1.4971	-0.1756	-1.4973	-0.000	4.808	0.4136
24	-	103	-12.9136	-0.1821	-12.9138	0.000	2.632	0.5590
103	-	31	-3.3021	-0.0345	-3.3021	0.000	13.889	0.2433
31	-	101	-6.9399	-0.0815	-6.9400	-0.000	5.882	0.3739
102	-	106	7.8214	-0.5417	7.8209	-0.000	2.618	0.5605
106	-	100	21.2624	-0.4254	21.2620	-0.000	3.333	0.4967
100	-	25	-3.2233	-0.1702	-3.2235	0.000	8.333	0.3141

Birim Ağırlıklı ölçünün K.O.H.

Mo = 0.907 mm

Kampüs Nivelman Ağı Nivelman Yoluna Göre Serbest Dengeleme
Sonuçları
(Sayısal Nivo)
kampus
kampus

Aşdaki Nokta Sayısı : 21
Bilinmeyen Sayısı : 21
Sabit Nokta Sayısı : 0
Alet Sayısı : 27

YAKLAŞIK KOTLAR		
N.N.	KOT (m)	
3	94.9565	
17	78.2306	
18	83.3676	
19	86.4574	
20	89.5244	
21	93.5492	
22	98.8791	
23	105.2758	
24	116.7407	
25	124.0303	
26	116.2074	
28	91.6748	
31	100.5250	
100	127.2536	
101	93.5830	
102	98.1698	
103	103.8271	
104	118.2378	
105	133.6255	
106	105.9912	
107	86.8548	

Ö L Ç Ü L E N Y Ü K S E K L İ K F A R K L A R I

D.N.	B.N.	dH (m)	nk/Skm	(dHo - dH) (mm)
101	3	1.37350	0.2980	0.000
3	24	21.78240	0.3850	1.800
3	102	3.21330	0.1910	0.000
102	26	18.03620	0.3610	1.400
26	25	7.82290	0.0980	0.000
25	104	-5.79250	0.2190	0.000
104	24	-1.49710	0.2080	-0.000
24	103	-12.91360	0.3800	-0.000
103	31	-3.30210	0.0720	-0.000
31	101	-6.93990	0.1700	-2.100
102	106	7.82140	0.3820	-0.000
106	100	21.26240	0.3000	0.000
100	25	-3.22330	0.1200	-0.000
100	105	6.37200	0.1950	-0.100
105	25	-9.59530	0.3220	0.100
31	28	-8.85030	0.2250	0.100
28	107	-4.82000	0.0700	0.000
107	18	-3.48720	0.0810	0.000
24	23	-11.46490	0.2500	0.000
23	31	-4.75100	0.2750	0.200
23	22	-6.39680	0.1180	0.100
22	21	-5.32990	0.1230	-0.000
21	20	-4.02480	0.1220	-0.000
20	18	-6.15580	0.2150	-1.000
18	17	-5.13700	0.1390	0.000
17	19	8.22680	0.1460	0.000
19	101	7.12810	0.1210	-2.500

D E N G E L E N M İ Ş K O T L A R

N.N.	Ho (m)	Bilinmeyen (mm)	H (m)	mdH (mm)
3	94.9565	1.49687	94.95800	0.337
17	78.2306	-0.47366	78.23013	0.368
18	83.3676	-0.33045	83.36727	0.344
19	86.4574	-0.62403	86.45678	0.356
20	89.5244	-1.02442	89.52338	0.388
21	93.5492	-0.85086	93.54835	0.386
22	98.8791	-0.67591	98.87842	0.366
23	105.2758	-0.40784	105.27539	0.327
24	116.7407	-0.26005	116.74044	0.307
25	124.0303	0.15214	124.03045	0.382
26	116.2074	0.10102	116.20750	0.409
28	91.6748	-0.38980	91.67441	0.361
31	100.5250	-0.37870	100.52462	0.299
100	127.2536	0.29702	127.25390	0.418
101	93.5830	1.75130	93.58475	0.317
102	98.1698	1.31249	98.17111	0.380
103	103.8271	-0.35984	103.82674	0.333
104	118.2378	-0.05928	118.23774	0.373
105	133.6255	0.34240	133.62584	0.472
106	105.9912	0.74396	105.99194	0.470
107	86.8548	-0.36237	86.85444	0.357

Ö Z E T Ç İ Z E L G E

D.N. -	B.N.	ÖLÇÜ (m)	v (mm)	DENGELİ ÖLÇÜ (m)	KONTROL (mm)	AĞIRLIK P	K.O.H. (mm)
101	-	3 1.37350	-0.2544	1.37325	-0.00	3.356	0.4438
3	-	24 21.78240	0.0429	21.78244	0.000	2.597	0.5044
3	-	102 3.21330	-0.1844	3.21312	0.000	5.236	0.3553
102	-	26 18.03620	0.1890	18.03639	0.000	2.770	0.4885
26	-	25 7.82290	0.0513	7.82295	-0.00	10.204	0.2545
25	-	104 -5.79250	-0.2114	-5.79271	-0.00	4.566	0.3805
104	-	24 -1.49710	-0.2008	-1.49730	0.000	4.808	0.3708
24	-	103 -12.91360	-0.0998	-12.91370	-0.00	2.632	0.5012
103	-	31 -3.30210	-0.0189	-3.30212	0.000	13.889	0.2181
31	-	101 -6.93990	0.0299	-6.93987	0.000	5.882	0.3352
102	-	106 7.82140	-0.5687	7.82083	-0.00	2.618	0.5025
106	-	100 21.26240	-0.4466	21.26195	-0.00	3.333	0.4453
100	-	25 -3.22330	-0.1449	-3.22344	0.000	8.333	0.2816
100	-	105 6.37200	-0.0548	6.37195	0.000	5.128	0.3590
105	-	25 -9.59530	-0.0905	-9.59539	-0.00	3.106	0.4613
31	-	28 -8.85030	0.0887	-8.85021	0.000	4.444	0.3856
28	-	107 -4.82000	0.0276	-4.81997	-0.00	14.286	0.2151
107	-	18 -3.48720	0.0319	-3.48717	-0.00	12.346	0.2314
24	-	23 -11.46490	-0.1478	-11.46505	-0.00	4.000	0.4065
23	-	31 -4.75100	0.2291	-4.75077	-0.00	3.636	0.4263
23	-	22 -6.39680	-0.1680	-6.39697	-0.00	8.475	0.2793
22	-	21 -5.32990	-0.1752	-5.33007	-0.00	8.130	0.2851
21	-	20 -4.02480	-0.1737	-4.02497	0.000	8.197	0.2840
20	-	18 -6.15580	-0.3062	-6.15611	-0.00	4.651	0.3770
18	-	17 -5.13700	-0.1431	-5.13714	-0.00	7.194	0.3031
17	-	19 8.22680	-0.1503	8.22665	0.000	6.849	0.3106
19	-	101 7.12810	-0.1246	7.12798	0.000	8.264	0.2828

Birim Ağırlıklı ölçünün K.O.H.

PVW= 4.62661604 mm2

Mo = 0.813 mm

Karşılaştırma Ağıının Sayısal Nivo Ölçmelerine Göre Serbest Dengeleme
Sonuçları
kampus
kampus

Ağıdaki Nokta Sayısı : 11
Bilinmeyen Sayısı : 11
Sabit Nokta Sayısı : 0
ölçü Sayısı : 13

YAKLAŞIK KOTLAR		
N.N.	KOT (m)	
3	94.9565	
24	116.7407	
25	124.0303	
26	116.2074	
31	100.5250	
100	127.2536	
101	93.5830	
102	98.1698	
103	103.8271	
104	118.2378	
106	105.9912	

Ö L Ç Ü L E N Y Ü K S E K L İ K F A R K L A R I					
D.N.	B.N.	dH (m)	nk/Skm	(dHo - dH) (mm)	
101	3	1.37350	0.2980	0.000	
3	24	21.78240	0.3850	1.800	
3	102	3.21330	0.1910	0.000	
102	26	18.03620	0.3610	1.400	
26	25	7.82290	0.0980	0.000	
25	104	-5.79250	0.2190	0.000	
104	24	-1.49710	0.2080	-0.000	
24	103	-12.91360	0.3800	-0.000	
103	31	-3.30210	0.0720	-0.000	
31	101	-6.93990	0.1700	-2.100	
102	106	7.82140	0.3820	-0.000	
106	100	21.26240	0.3000	0.000	
100	25	-3.22330	0.1200	-0.000	

D E N G E L E N M İ Ş K O T L A R

N.N.	Ho (m)	Bilinmeyen (mm)	H (m)	mdH (mm)
3	94.9565	1.03301	94.95753	0.401
24	116.7407	-0.62625	116.74007	0.411
25	124.0303	-0.26565	124.03003	0.401
26	116.2074	-0.32167	116.20708	0.429
31	100.5250	-0.84277	100.52416	0.475
100	127.2536	-0.09551	127.25350	0.446
101	93.5830	1.17584	93.58418	0.470
102	98.1698	0.87171	98.17067	0.409
103	103.8271	-0.80832	103.82629	0.476
104	118.2378	-0.45060	118.23735	0.425
106	105.9912	0.33021	105.99153	0.495

Ö Z E T Ç İ Z E L G E

D.N. -	B.N.	ÖLÇÜ (m)	v (mm)	DENGELİ ÖLÇÜ (m)	KONTROL (mm)	AĞIRLIK P	K.O.H. (mm)
101 -	3	1.37350	-0.1428	1.37336	-0.000	3.356	0.4950
3 -	24	21.78240	0.1406	21.78254	0.000	2.597	0.5627
3 -	102	3.21330	-0.1613	3.21314	-0.000	5.236	0.3963
102 -	26	18.03620	0.2070	18.03641	0.000	2.770	0.5448
26 -	25	7.82290	0.0562	7.82296	-0.000	10.204	0.2839
25 -	104	-5.79250	-0.1849	-5.79268	-0.000	4.566	0.4244
104 -	24	-1.49710	-0.1756	-1.49728	0.000	4.808	0.4136
24 -	103	-12.91360	-0.1821	-12.91378	-0.000	2.632	0.5590
103 -	31	-3.30210	-0.0345	-3.30213	0.000	13.889	0.2433
31 -	101	-6.93990	-0.0815	-6.93998	0.000	5.882	0.3739
102 -	106	7.82140	-0.5417	7.82086	-0.000	2.618	0.5605
106 -	100	21.26240	-0.4254	21.26197	0.000	3.333	0.4967
100 -	25	-3.22330	-0.1702	-3.22347	-0.000	8.333	0.3141

Birim Ağırlıklı ölçünün K.O.H.

PVV= 2.46688374 mm2

Mo = 0.907 mm

Karşılaştırma Ağıının Sayısal Nivo Ölçmelerine Göre Serbest Dengeleme
Sonuçları
kampus
kampus

Ağıdaki Nokta Sayısı : 11
Bilinmeyen Sayısı : 11
Sabit Nokta Sayısı : 0
ölçü Sayısı : 13

YAKLAŞIK KOTLAR		
N.N.	KOT (m)	
3	94.9565	
24	116.7407	
25	124.0303	
26	116.2074	
31	100.5250	
100	127.2536	
101	93.5830	
102	98.1698	
103	103.8271	
104	118.2378	
106	105.9912	

Ö L Ç Ü L E N Y Ü K S E K L İ K F A R K L A R I					
D.N.	B.N.	dH (m)	nk/Skm	(dHo - dH) (mm)	
101	3	1.37350	0.2980	0.000	
3	24	21.78240	0.3850	1.800	
3	102	3.21330	0.1910	0.000	
102	26	18.03620	0.3610	1.400	
26	25	7.82290	0.0980	0.000	
25	104	-5.79250	0.2190	0.000	
104	24	-1.49710	0.2080	-0.000	
24	103	-12.91360	0.3800	-0.000	
103	31	-3.30210	0.0720	-0.000	
31	101	-6.93990	0.1700	-2.100	
102	106	7.82140	0.3820	-0.000	
106	100	21.26240	0.3000	0.000	
100	25	-3.22330	0.1200	-0.000	

D E N G E L E N M İ Ş K O T L A R

	Ho	Bilinmeyen	H	mdH
N.N.	(m)	(mm)	(m)	(mm)
3	94.9565	1.03301	94.95753	0.401
24	116.7407	-0.62625	116.74007	0.411
25	124.0303	-0.26565	124.03003	0.401
26	116.2074	-0.32167	116.20708	0.429
31	100.5250	-0.84277	100.52416	0.475
100	127.2536	-0.09551	127.25350	0.446
101	93.5830	1.17584	93.58418	0.470
102	98.1698	0.87171	98.17067	0.409
103	103.8271	-0.80832	103.82629	0.476
104	118.2378	-0.45060	118.23735	0.425
106	105.9912	0.33021	105.99153	0.495

Ö Z E T Ç İ Z E L G E

D.N. -	B.N.	ÖLÇÜ (m)	v (mm)	DENGELİ ÖLÇÜ (m)	KONTROL (mm)	AĞIRLIK P	K.O.H. (mm)
101 -	3	1.37350	-0.1428	1.37336	-0.000	3.356	0.4950
3 -	24	21.78240	0.1406	21.78254	0.000	2.597	0.5627
3 -	102	3.21330	-0.1613	3.21314	-0.000	5.236	0.3963
102 -	26	18.03620	0.2070	18.03641	0.000	2.770	0.5448
26 -	25	7.82290	0.0562	7.82296	-0.000	10.204	0.2839
25 -	104	-5.79250	-0.1849	-5.79268	-0.000	4.566	0.4244
104 -	24	-1.49710	-0.1756	-1.49728	0.000	4.808	0.4136
24 -	103	-12.91360	-0.1821	-12.91378	-0.000	2.632	0.5590
103 -	31	-3.30210	-0.0345	-3.30213	0.000	13.889	0.2433
31 -	101	-6.93990	-0.0815	-6.93998	0.000	5.882	0.3739
102 -	106	7.82140	-0.5417	7.82086	-0.000	2.618	0.5605
106 -	100	21.26240	-0.4254	21.26197	0.000	3.333	0.4967
100 -	25	-3.22330	-0.1702	-3.22347	-0.000	8.333	0.3141

Birim Ağırlıklı Ölçünün K.O.H.

PVV= 2.4668374 mm2

Mo = 0.907 mm

3 Halkalı Aşın Klasik Nivo Ölçme Sonuçlarına Göre Serbest Dengeleme
Sonuçları
kampus
kampus

Agdaki Nokta Sayısı : 11
Bilinmeyen Sayısı : 11
Sabit Nokta Sayısı : 0
Olcu Sayısı : 13

YAKLASIK KOTLAR		
N.N.	KOT (m)	
3	94.9565	
24	116.7407	
25	124.0303	
26	116.2074	
31	100.5250	
100	127.2536	
101	93.5830	
102	98.1698	
103	103.8271	
104	118.2378	
106	105.9912	

O L C U L E N Y U K S E K L I K F A R K L A R I					
D.N.	B.N.	dH (m)	nk/Skm	(dHo - dH) (mm)	
101	3	1.37530	0.2990	-1.800	
3	24	21.78000	0.6640	4.199	
3	102	3.21200	0.2250	1.300	
102	26	18.03490	0.3570	2.699	
26	25	7.82240	0.0960	0.500	
25	104	-5.79300	0.2010	0.500	
104	24	-1.49780	0.1840	0.700	
24	103	-12.91410	0.3820	0.500	
103	31	-3.30260	0.0820	0.500	
31	101	-6.93870	0.1700	-3.300	
102	106	7.82010	0.3970	1.300	
106	100	21.26150	0.3000	0.901	
100	25	-3.22190	0.1220	-1.400	

D E N G E L E N M İ S K O T L A R

N.N.	Ho (m)	Bilinmeyen (mm)	H (m)	mdH (mm)
3	94.9565	3.21383	94.9597	0.593
24	116.7407	-1.15103	116.7395	0.595
25	124.0303	-0.15599	124.0301	0.561
26	116.2074	0.12996	116.2075	0.601
31	100.5250	-2.01903	100.5230	0.672
100	127.2536	-1.34911	127.2523	0.628
101	93.5830	1.32898	93.5843	0.668
102	98.1698	2.03363	98.1718	0.590
103	103.8271	-1.54238	103.8256	0.674
104	118.2378	-0.54909	118.2373	0.595
106	105.9912	0.06023	105.9913	0.704

O Z E T C I Z E L G E

D.N. -	B.N.	OLCU (m)	v (mm)	DENGELI OLCU (m)	KONTROL (mm)	AGIRLIK P	K.O.H. (mm)
101	-	3 1.37530	0.0848	1.37538	0.000	3.344	0.6985
3	-	24 21.78000	-0.1655	21.77984	0.000	1.506	1.0409
3	-	102 3.21200	0.1199	3.21212	0.000	4.444	0.6059
102	-	26 18.03490	0.7957	18.03570	0.000	2.801	0.7632
26	-	25 7.82240	0.2140	7.82261	-0.000	10.417	0.3958
25	-	104 -5.79300	0.1071	-5.79289	-0.000	4.975	0.5727
104	-	24 -1.49780	0.0981	-1.49770	0.000	5.435	0.5479
24	-	103 -12.91410	0.1083	-12.91399	-0.000	2.618	0.7895
103	-	31 -3.30260	0.0233	-3.30258	-0.000	12.195	0.3658
31	-	101 -6.93870	0.0482	-6.93865	0.000	5.882	0.5267
102	-	106 7.82010	-0.6732	7.81943	0.000	2.519	0.8048
106	-	100 21.26150	-0.5087	21.26099	-0.000	3.333	0.6996
100	-	25 -3.22190	-0.2069	-3.22211	0.000	8.197	0.4462

Birim Agirlikli Olcunun K.O.H.

Mo = 1.277 mm

EK-C

Santral İstanbul Deformasyon Noktalarına İlişkin Ölçmeler

HALKA 1	(m)	(m)	(mm)	(m)
N.N.	dh Gidis	dh Donus	fark	ortalama
D1	-0,0059	0,0061	0,2	-0,0060
D2	-0,0696	0,0693	-0,2	-0,0695
D3	-0,0260	0,0259	-0,1	-0,0260
D4	-0,3169	0,3169	0,1	-0,3169
D5	0,3100	-0,3101	-0,1	0,3101
D6	0,0414	-0,0413	0,1	0,0413
D7	-0,0075	0,0078	0,3	-0,0076
D8	0,0078	-0,0075	0,3	0,0076
D7	-0,5866	0,5866	0,1	-0,5866
D9	0,0684	-0,0680	0,4	0,0682
D10	1,2839	-1,2834	0,5	1,2837
D11	0,0472	-0,0472	0,0	0,0472
D12	-0,0738	0,0737	0,0	-0,0738
D13	-0,4964	0,4971	0,7	-0,4967
D14	-0,0361	0,0357	-0,4	-0,0359
D15	-0,3842	0,3843	0,1	-0,3843
D16	0,0685	-0,0685	-0,1	0,0685
D17	-0,1356	0,1363	0,7	-0,1359
D21	-0,4343	0,4344	0,1	-0,4343
D22	0,2062	-0,2067	-0,5	0,2065
D18	0,1294	-0,1295	-0,1	0,1294
D19	0,4032	-0,4022	1,0	0,4027
D2	0,0060	-0,0060	0,0	0,0060
D1				
TOPLAM	-0,0008	0,0037		-0,0022

HALKA 2	(m)	(m)	(mm)	(m)
N.N.	dh Gidis	dh Donus	fark	Ortalama
D22	0,3368	-0,3363	0,6	0,3365
D19	0,1408	-0,1406	0,2	0,1407
D20	-0,4494	0,4495	0,1	-0,4494
D23	0,3504	-0,3508	-0,4	0,3506
D24	-0,2271	0,2270	0,0	-0,2270
D25	-0,0816	0,0817	0,1	-0,0817
D26	0,0863	-0,0858	0,5	0,0861
D27	-0,1992	0,1992	0,0	-0,1992
D28	0,4247	-0,4245	0,3	0,4246
D29	0,0010	-0,0010	0,0	0,0010
D30	0,2697	-0,2692	0,6	0,2694
D31	-0,0019	0,0017	-0,2	-0,0018
D32	-0,3829	0,3829	0,0	-0,3829
D33	0,8278	-0,8278	0,0	0,8278
D34	-0,1767	0,1767	-0,1	-0,1767
D35	-0,0856	0,0861	0,5	-0,0858
D36	-0,8339	0,8346	0,7	-0,8342
D22				
TOPLAM	-0,0007	0,0034		-0,0021

HALKA 3	(m)	(m)	(mm)	(m)
N.N.	dh Gidis	dh Donus	fark	Ortalama
RS6	0,6453	-0,6439	1,3	0,6446
RS7	0,5734	-0,5726	0,8	0,5730
RS8	-5,8853	5,8863	1,1	-5,8858
D28	0,42470	-0,4245	0,3	0,4246
D29	0,00100	-0,0010	0,0	0,0010
D30	0,26970	-0,2692	0,6	0,2694
D31	-0,00190	0,0017	-0,2	-0,0018
D32	-0,38290	0,3829	0,0	-0,3829
D33	0,82775	-0,8278	0,0	0,8278
D34	-0,17670	0,1767	-0,1	-0,1767
D35	-0,08560	0,0861	0,5	-0,0858
D36	-0,8339	0,8346	0,7	-0,8342
D22	0,4344	-0,4343	0,1	0,4343
D21	0,1363	-0,1356	0,7	0,1359
D17	-0,0685	0,0685	-0,1	-0,0685
D16	0,3843	-0,3842	0,1	0,3843
D15	0,0357	-0,0361	-0,4	0,0359
D14	0,4971	-0,4964	0,7	0,4967
D13	0,0737	-0,0738	0,0	0,0738
D12	-0,0472	0,0472	0,0	-0,0472
D11	3,1826	-3,1823	0,3	3,1825
RS6				
TOPLAM	0,0037	0,0025		0,0006

HALKA 4	(m)	(m)	(mm)	(m)
N.N.	dh Gidis	dh Donus	fark	ortalama
D8	1,6608	-1,6605	0,3	1,6606
RS5	2,2960	-2,2943	1,7	2,2951
RS6	-3,1823	3,1826	0,3	-3,1825
D11	-1,2834	1,2839	0,5	-1,2837
D10	-0,0680	0,0684	0,4	-0,0682
D9	0,5866	-0,5866	0,1	0,5866
D7	-0,0075	0,0078	0,3	-0,0076
D8				
TOPLAM	0,0022	0,0014		0,0004

HALKA 5	(m)	(m)	(mm)	(m)
N.N.	dh Gidis	dh Donus	fark	ortalama
D3	-0,0260	0,0259	-0,1	-0,0260
D4	-0,3169	0,3169	0,1	-0,3169
D5	0,3100	-0,3101	-0,1	0,3101
D6	0,0414	-0,0413	0,1	0,0413
D7	-0,5866	0,5866	0,1	-0,5866
D9	0,0684	-0,0680	0,4	0,0682
D10	0,5098	-0,5096	0,2	0,5097
D3				
TOPLAM	0,0002	0,0005		0,0005

HALKA 6	(m)	(m)	(mm)	(m)
N.N.	dh Gidis	dh Donus	fark	ortalama
RS1	-1,9707	1,97125	0,6	-1,9710
D1	-0,0059	0,00610	0,2	-0,0060
D2	-0,0696	0,06935	-0,2	-0,0695
D3	-0,0260	0,02590	-0,1	-0,0260
D4	-0,3169	0,31690	0,1	-0,3169
D5	0,3100	-0,31010	-0,1	0,3101
D6	0,0414	-0,04125	0,1	0,0413
D7	-0,0075	0,00780	0,3	-0,0076
D8	1,6608	-1,66050	0,3	1,6606
RS5	0,3858	-0,38425	1,5	0,3850
RS1				
TOPLAM	0,0015	0,0012		0,0001

DENGELENMİŞ NOKTA KOTLARI

Nokta No	Yakl. Kot	dH	H0+dH	mH
	H0i (m)	(mm)	(m)	(mm)
Rs1	100,0000	0,5522	100,0005	1,2822
Rs2	102,3584	0,5522	102,3589	1,4047
Rs3	104,0469	0,5522	104,0474	1,5482
Rs4	102,0103	0,4522	102,0107	1,8205
Rs6	101,9102	-0,3372	101,9098	0,8296
Rs7	102,5548	-0,7135	102,5540	1,2126
Rs8	103,1277	-0,7656	103,1269	1,2320
D1	98,0291	0,4522	98,0295	1,1246
D2	98,0231	0,4522	98,0235	1,0790
D3	97,9536	0,1746	97,9537	0,9253
D4	97,9276	0,1721	97,9277	0,9276
D5	97,6108	0,0693	97,6108	0,9176
D6	97,9208	0,1661	97,9209	0,8901
D7	97,9621	0,1634	97,9622	0,8514
D8	97,9545	0,0833	97,9545	0,7671
D9	97,3756	0,1268	97,3757	0,8878
D10	97,4437	0,2915	97,4439	0,9185
D11	98,7274	-0,0206	98,7273	0,9022
D12	98,7746	-0,0748	98,7745	0,9876
D13	98,7008	-0,1796	98,7006	1,0880
D14	98,2041	-0,2343	98,2038	1,1130
D15	98,1682	-0,3113	98,1678	1,1194
D16	97,7840	-0,2388	97,7837	1,1400
D17	97,8525	0,2661	97,8527	1,1615
D18	97,4884	3,5280	97,4919	1,1629
D19	97,6178	3,5280	97,6213	1,1190
D20	97,7585	3,5560	97,7620	1,1414
D21	97,7165	0,7391	97,7172	1,1415
D22	97,2819	0,9586	97,2828	1,1148
D23	97,3118	0,9035	97,3127	1,1369
D24	97,6624	0,9905	97,6633	1,1539
D25	97,4353	1,2936	97,4365	1,1762
D26	97,3537	1,0028	97,3547	1,2054
D27	97,4397	0,7817	97,4404	1,2150
D28	97,2406	0,3593	97,2409	1,1753
D29	97,6652	-0,0083	97,6651	1,1901
D30	97,6660	0,6362	97,6666	1,1942
D31	97,9356	0,5393	97,9361	1,2105
D32	97,9338	0,8149	97,9346	1,2058
D33	97,5509	0,8564	97,5517	1,1990
D34	98,3786	1,0028	98,3796	1,1895
D35	98,2019	1,0809	98,2029	1,1685
D36	98,1161	1,2027	98,1173	1,1232

DENGELENMİŞ YÜKSEKLİK FARKLARI

1.Nokta	2.Nokta	Yükseklik	DÜZELTME	D. Y. F.	K.O.H.	AĞIRLIK
No	No	Farkı	v	h+v	mh	P
h (m)	(mm)	(m)	(mm)			
Rs1	Rs2	2,3584	0,0000	2,3584	0,5736	12,8369
Rs2	Rs3	1,6885	0,0000	1,6885	0,6509	9,9700
Rs3	Rs4	-2,0367	0,0000	-2,0367	0,9578	4,6040
Rs1	Rs5	-0,3850	0,0000	-0,3850	1,3796	2,2192
Rs5	Rs6	2,2951	-0,2372	2,2949	1,0050	4,1823
Rs6	Rs7	0,6446	-0,3762	0,6442	1,1874	2,9958
Rs7	Rs8	0,5730	-0,1521	0,5728	0,7551	7,4074
Rs1	D1	-1,9710	0,0000	-1,9710	0,6159	11,1358
D1	D2	-0,0060	0,0000	-0,0060	0,3170	42,0168
D2	D3	-0,0695	-0,2775	-0,0698	0,7396	7,7220
D3	D4	-0,0260	-0,0025	-0,0260	0,3164	42,1940
D4	D5	-0,3169	-0,0028	-0,3169	0,3294	38,9105
D5	D6	0,3101	-0,0031	0,3101	0,3494	34,6020
D6	D7	0,0413	-0,0027	0,0413	0,3249	40,0000
D7	D8	-0,0076	-0,0800	-0,0077	0,5838	12,3915
D7	D9	-0,5866	0,0634	-0,5865	0,5507	13,9275
D9	D10	0,0682	0,0646	0,0683	0,3665	31,4465
D10	D3	0,5097	0,0831	0,5098	0,4156	24,4498
D9	D11	1,3518	-0,1474	1,3517	0,7356	7,8064
D11	D12	0,0472	-0,0542	0,0471	0,4749	18,7265
D12	D13	-0,0738	-0,1047	-0,0739	0,6599	9,6993
D13	D14	-0,4967	-0,0547	-0,4968	0,4771	18,5528
D14	D15	-0,0359	-0,0770	-0,0360	0,5658	13,1926
D15	D16	-0,3843	0,1725	-0,3841	0,2840	52,3560
D16	D17	0,0685	0,5049	0,0690	0,4859	17,8890
D17	D21	-0,1359	0,3730	-0,1355	0,4176	24,2130
D21	D22	-0,4346	0,2195	-0,4344	0,3203	41,1522
D22	D19	0,3385	-0,0306	0,3385	0,3475	34,9650
D18	D19	0,1294	0,0000	0,1294	0,3164	42,1940
D19	D20	0,1407	0,0280	0,1407	0,3326	38,1679
D20	D23	-0,4494	0,0474	-0,4494	0,4325	22,5733
D23	D22	-0,0297	-0,1448	-0,0298	0,4393	21,8818
D23	D24	0,3506	0,0869	0,3507	0,2942	48,7804
D24	D25	-0,2270	0,2031	-0,2268	0,4498	20,8768
D25	D26	-0,0817	-0,1908	-0,0819	0,3612	32,3624
D26	D27	0,0861	-0,3211	0,0858	0,4686	19,2307
D27	D28	-0,1992	-0,3223	-0,1995	0,4695	19,1570
D25	D29	0,2282	0,3979	0,2286	0,4017	26,1780
D29	D28	-0,4246	0,3677	-0,4242	0,3861	28,3286
D28	D30	0,4256	0,0769	0,4257	0,3230	40,4858

DENGELENMİŞ YÜKSEKLİK FARKLARI

1.Nokta No	2.Nokta No	Yükseklik	DÜZELTME	DENG. Y. F.	K.O.H.	AĞIRLIK P
		Farkı h (m)	v (mm)	h+v (m)	mh (mm)	
D30	D31	0,2694	0,1030	0,2695	0,3739	30,2114
D31	D32	-0,0018	0,2756	-0,0015	0,6114	11,2994
D32	D33	-0,3829	0,0414	-0,3829	0,2370	75,1879
D33	D34	0,8278	0,0464	0,8278	0,2508	67,1140
D34	D35	-0,1767	0,0781	-0,1766	0,3256	39,8406
D35	D36	-0,0858	0,1217	-0,0857	0,4064	25,5754
D22	D36	0,8342	0,2440	0,8344	0,3856	28,4090
D36	D15	0,0502	0,3858	0,0506	0,4027	26,0416
D19	D2	0,4027	-0,4757	0,4022	0,9684	4,5045
D8	Rs5	1,6606	-0,1833	1,6604	0,8835	5,4112
Rs8	D28	-5,8858	-0,1749	-5,8860	0,8097	6,4432
D11	Rs6	3,1825	-0,0166	3,1825	0,7205	8,1366
Rs8	D28	-5,8858	-0,1749	-5,8860	0,8097	6,4432
D11	Rs6	3,1825	-0,0166	3,1825	0,7205	8,1366

İSTATİSTİK BİLGİLERİ:

Ağdaki Ölçü Sayısı	:	52
Bilinmeyen Kot Sayısı	:	43
Bilinen Kot Sayısı	:	43
Toplam Nokta Sayısı	:	86

$$PVV1 = 38,0195 \quad PVV2 = 38,0195$$

$$M_0 = 2,0553 \text{ mm. (Birim Ölçünün Karesel Ortalama Hatası)}$$

Bilinen Olarak Verilen Nokta Kotu

Nokta No	Kot (H _{0i}) (m)
Rs5	99,61500

ÖZGEÇMİŞ

18 Ekim 1981 tarihinde Erzincan'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimlerini Erzincan'da sırası ile Mehmet Akif Ersoy İlkokulu, Cumhuriyet Orta Okulu ve Atatürk Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2007 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı.