



**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAYISAL NİVOLAR VE ÖLÇME
HASSASİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Süleyman Erden ŞİRECİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ekim-2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Süleyman Erden ŞİRECİ tarafından hazırlanan "SAYISAL NİVOLAR VE ÖLÇME HASSASIYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI" adlı tez çalışması 17/10/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Cevat İNAL

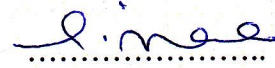
Danışman

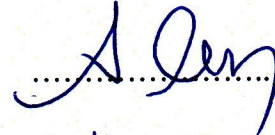
Yrd. Doç. Dr. Ayhan CEYLAN

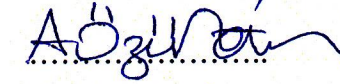
Üye

Yrd. Doç. Dr. Atilla ÖZÜTOK

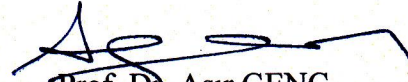
İmza







Yukarıdaki sonucu onaylarım.

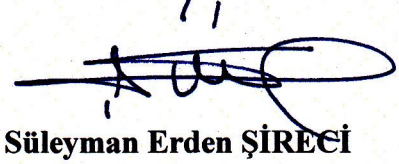

Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Süleyman Erden ŞİRECİ

Tarih: 17 / 10 / 2012

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

SAYISAL NİVOLAR VE ÖLÇME HASSASİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Süleyman Erden ŞİRECİ

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Ayhan CEYLAN

2012, 54 Sayfa

Jüri

Danışman Yrd.Doç.Dr. Ayhan CEYLAN

Prof. Dr. Cevat İNAL

Yrd. Doç. Dr. Atilla ÖZÜTOK

Gerek mühendislik projelerinin uygulamasında gerekse bilimsel çalışmalarda yüksek doğruluk gerektiren yükseklik ölçmelerinde talep edilen ($\pm 0.5\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$) doğrulukları karşılayacak tek jeodezik yöntem presizyonlu geometrik nivelman tekniğidir. Presizyonlu geometrik nivelmandan beklenen doğrulukların elde edilebilmesi için uygun ölçme donanımı yanında uygun ölçme modelinin de uygulanması gerekir. Bu çalışmada presizyonlu geometrik nivelmanın ölçme donanımları, presizyonlu ölçme modeli, fonksiyonel model ve hata kaynakları hakkında bilgilere yer verilmiştir. Özellikle, 1980’li yılların sonlarında üretilmeye başlayan ve her geçen gün geliştirilen sayısal nivoların yapıları ve geometrik nivelmanda sağlamış olduğu avantaj ve dezavantajlardan söz edilmiştir.

Bu çalışmada, Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampus alanı içerisinde oluşturulan 4 kenardan oluşan bir nivelman test alanında, Wild N3 (fenkajlı) ve 2 adet 3 m’lik invar mira, Zeiss Ni2 (otomatik) ve 2 adet 3 m’lik invar mira ve Topcon DL 101C (sayısal) ve 2 adet 3 m’lik barkodlu invar mira kullanılarak 5 gidiş-5 dönüş olmak üzere toplam 10 ölçü yapılmıştır. Ölçmeler sonucu elde edilen yükseklik farkları kendi içlerinde karşılaştırılarak her bir nivo ve donanımının ölçme hassasiyetleri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nivoları, sayısal nivolar, hassasiyet, presizyonlu geometrik nivelman, yükseklik ölçmeleri

ABSTRACT

MASTER THESIS

DIGITAL LEVELS AND COMPARISON OF MEASUREMENT PRECISION

Süleyman Erden ŞİRECİ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN GEOMATICS ENGINEERING**

Advisor: Asst.Prof.Dr.Ayhan CEYLAN

2012, 54 Pages

Jury

Advisor Asst.Prof.Dr.Ayhan CEYLAN

Prof. Dr. Cevat İNAL

Asst.Prof.Dr. Atilla ÖZÜTOK

Both applications of engineering projects and scientific researches, in height determination in which a very high accuracy of $\pm 0.5\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$ is required and this can be achieved by the precision geometric leveling. In order to obtain this expected high accuracy, in precision geometric leveling both appropriate measurement instrument and measurement model should be use. In this study, with precise geometric leveling measurement equipments (levels and rods), calibration of the measurement and functional models and precise leveling and sources of error especially digital levels which is began in 1980's and developed day by day, have been explained.

In this study, a leveling test network which has 4 lengths has been established in Selcuk University Alaeddin Keykubat Campus area. 10 times measurements have been completed (5 forward-backward by the Wild N3, invar rod 3 meter long, Zeiss Ni2, invar rod 3 meter long, and Topcon DL101C, invar barcod rod 3 meter long. Obtained height differences have been compared with each other and standard deviations were calculated for each measurement equipments.

Keywords: Level, digital level, accuracy, precision geometric leveling, height determination

ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren, bu bilgi ve deneyimlerinden hiçbir zaman beni yoksun bırakmayan, her zaman ilgi ve desteğini gördüğüm, kaynaklar ve dokümanlarla katkıda bulunan değerli danışman hocam Sayın Yrd.Doç. Dr. Ayhan CEYLAN'a, bana maddi ve manevi her türlü desteği veren aileme sonsuz teşekkür ederim.

Çalışma süresince yardımlarını gördüğüm S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü 4. Sınıf öğrencileri Faik Çağrı BAŞYİĞİT, Murat ÖZ, Onur Çağatay KARDAŞ ve Adnan ARSLANTÜRK'e sonsuz teşekkür ederim.

Süleyman Erden ŞİRECİ

KONYA - 2012

İçindekiler

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
1.GİRİŞ.....	1
2. PRESİZYONLU NİVELMAN TEKNİĞİ.....	2
2.1. Ölçme Modeli.....	2
2.2 Presizyonlu Nivelmanda Alet Donanımı	5
2.2.1 Miralar	5
2.2.2 Nivolar	7
2.2.3 Silindirik düzeçli (fenklajlı) nivolar	7
2.2.4 Kompansatörlü (Otomatik) nivolar	8
2.2.5 Sayısal nivolar ve miralar	9
2.2.5.1 Sayısal nivoların yapısı	10
2.2.5.2 Barkodlu miralar	12
2.2.5.3 Sayısal nivo ile nivelman Ölçmeleri	13
2.2.5.4 Sayısal Mira ve Nivoların Kalibrasyonu	15
2.3 Presizyonlu Nivelmanda Hata Kaynakları	17
2.3.1 Nivolardan kaynaklanan hatalar	17
2.3.1.1 Nivo gözleme eksen şartının düzensizliği	18
2.3.1.2 Kompansatörlü nivolarda artık kompanzasyon hatası	18
2.3.1.3 Küresel düzeç eksen şartının düzensizliği	19
2.3.2 Miralardan kaynaklanan hatalar	20
2.3.2.1 Miraların eğik tutulması hatası	20
2.3.2.2 Mira çifti sıfır konum hatası	21
2.3.2.3 Mira tabanının düzlem olmaması hatası	23

2.3.2.4 Mira bölümlendirme hatası	23
2.3.3 Dış ortamdan kaynaklanan hatalar	24
2.3.3.1 Nivo ve miralarda çökme hatası	24
2.3.3.2 Sıcaklığın nivoya etkisi.....	25
2.3.3.3 Sıcaklığın miraya etkisi	25
2.3.3.4 Geomagnetik alanın kompensatörlü nivoya etkisi.....	26
2.3.3.5 Gel-git etkisi	26
2.3.3.6 Düşey refraksiyon hatası.....	26
2.3.4 Barkod hataları	27
2.3.5 Elektro-optik hata kaynakları	27
3.UYGULAMA	30
3.1 Nivelman Test Ağı	30
3.2.Uygulamada Kullanılan Donanımlar ve Teknik özellikleri	31
3.3. Arazi Çalışmaları	32
3.3.1 Nivelman ölçmeleri	32
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	54

1.GİRİŞ

Jeodezinin en önemli çalışma alanlarından birisi olan yükseklik belirlemeleri konusunda uygulanan geometrik nivelman tekniği, özellikle dağlık arazilerde uygulanması zor ve zaman alıcıdır. Bu bağlamda, geometrik nivelmanın daha kolay yapılması ve ölçme hızının artırılması yönündeki çalışmalarda, işlemlerinin hızlı ve otomatik olarak yapılması, okuma inceliğinin artırılmasına için optik ve mekanik düzenekler, özel bölümlmeli miralar geliştirilmiştir. Bu teknolojik gelişmelerin sonucu olarak, özellikle, 1980’li yıllardan sonra sayısal okumalı ve kayıt üniteli sayısal nivolar üretilmeye ve geometrik nivelman ölçmelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Böylece, ölçme hızı önemli ölçüde artırılmıştır. Ayrıca, ölçüler otomatik olarak manyetik ortamlarda kaydedilerek geometrik nivelmandaki en önemli hata kaynakları olan kaba okuma hataları ve yazma hatalarının da önüne geçilmiştir.

Günümüzde, yer kabuğu düşey hareketlerinin izlenmesi, ülke nivelman ağlarının oluşturulması, yüksek doğruluk gerektiren yapı ve makinelerin yükseklik uygulaması, önemli yapılarda bakım-kontrol ölçmeleri, otoyol, demiryolu, boru hattı gibi mühendislik işlerinde yeterli sıklıkta güvenilir yüksekliğe sahip nivelman noktalarının oluşturulması, yer altı maden işletmelerinin yeryüzüne etkilerinin belirlenmesi v.b. bir çok mühendislik projelerinde nokta yüksekliklerinin veya noktalar arası yükseklik farklarının çok yüksek doğrulukta ($\leq \pm 0.5mm/\sqrt{km}$) belirlenmesi gerekmektedir. Talep edilen bu yüksek doğruluğu karşılayacak tek jeodezik yöntem presizyonlu nivelman tekniğidir. Presizyonlu nivelman tekniği ile istenilen doğruluklara ulaşılabilmesi ve oluşabilecek model hatalarına karşın uygun ölçme donanımı ve ölçme modelinin uygulanması gerekmektedir (Baykal, 1988; Ceylan 1993).

Bu çalışmada, presizyonlu nivelmanda kullanılan nivoların ölçme HASSASİYETLERİNİN araştırılması amacıyla Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampus alanı içerisinde oluşturulan 4 kenardan oluşan bir nivelman test ağı oluşturulmuştur. Bu ağda, Wild N3 (fenklajlı) ve 2 adet 3 m’lik invar mira, Zeiss Ni2 (otomatik) ve 2 adet 3 m’lik invar mira ve Topcon DL 101C (sayısal) ve 2 adet 3 m’lik barkodlu invar mira kullanılarak 5 gidiş-5 dönüş olmak üzere toplam 10 ölçü yapılarak bu aletlerin ölçme hassasiyetleri araştırılmıştır.

2. PRESİZYONLU NİVELMAN TEKNİĞİ

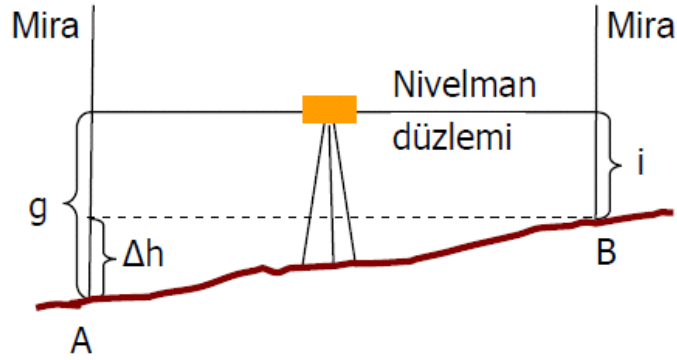
Günümüzde gerek bilimsel amaçlarla gerekse mühendislik hizmetlerine yönelik yer kabuğunun düşey hareketlerinin belirlenmesi $\pm(0.1-0.5)$ mm/yıl, atom santrallerinin yerlerinin belirlenmesinde ve düşey aplikasyonunda $\pm(0.1 - 0.2)$ mm, büyük köprü, baraj ve modern yüksek yapıların bakım ve kontrol ölçmelerinde noktaların birbirine göre rölatif yüksekliklerinin belirlenmesinde $\pm(0.2 - 0.5)$ mm, I. ve II. derece ülke nivelman ağlarının ölçülmesinde, geoidi belirlemeye yönelik noktalar arasındaki yükseklik farklarının bulunmasında, otoyol, demiryolu, boru hattı gibi mühendislik hizmetlerinde hata birikiminin önlenmesi ve yeterli sıklıkta güvenilir yüksekliğe sahip nivelman noktalarının oluşturulmasında, yer altı maden işletmelerinin bulunduğu bölgelerde işletmenin yeryüzüne etkilerinin belirlenmesinde, yükseklik farklarının çok yüksek bir doğrulukta belirlenmesi istenmektedir. Sözü edilen bu yüksek doğrulukları karşılayacak tek yöntem presizyonlu nivelman tekniğidir (Baykal, 1988). Belirtilen doğruluklara erişilebilmek için klasik geometrik nivelman da kullanılan donanımlara bazı ilaveler yapılmıştır. Ayrıca uygulanan ölçme modelinde ana modele bazı ilave yan modeller eklenmiştir. Bunlar şu şekilde özetlenebilir.

1. Presizyonlu nivelmanda, dürbün büyütmesi en az 40x, objektif çapı 50mm, gözleme ekseninin yataylama duyarlılığı $5''/2\text{mm}-10''/2\text{mm}$ kullanılan nivolar kullanılmalıdır.
2. Mira okuma duyarlılığını artırılabilmesi için nivonun objektifine paralel yüzölçüm cam ve mikrometre donanımı ilave edilmelidir.
3. Klasik ahşap miralar yerine tek parçalı çift bölümlendirmeli invar miralar, mira altlıklar ve mira destekleri kullanılmalıdır.
4. Gerek aletlerden gerekse dış ortamdan kaynaklanan model hatalarını en aza indirebilmek için uygun ölçme modelleri uygulanmalıdır (Ceylan,1988).

2.1. Ölçme Modeli

Presizyonlu nivelmanın ölçme modeli şekil 2.1’de gösterilmiştir. Bu modelin başlıca varsayımları;

- Yükseklik farkı ölçülecek noktalardan geçen yataylar ve nivonun gözleme eksenini birbirine paralel düzlemlerdir.



Şekil 2.1: Presizyonlu nivelmanda ölçme modeli (ana model)

- Noktalardan geçen düşey doğrultular ile yatay düzlemler birbirlerine diktir
- Ölçme sırasında mira ve nivolar konumlarını korumakta, düşey doğrultuda hiçbir hareket yapmamaktadırlar
- Miralar üzerindeki bölümlendirmede kesin olarak tanımlanmış uzunluk biriminden hiçbir sapma yoktur, herhangi bir etkiyle böyle bir sapma ortaya çıkmamaktadır.
- Herhangi iki nokta arasındaki yükseklik farkı bir vektördür. Bu vektörün doğrultusu düşey doğrultu ile çıkarılır, yönü ise seçilen “Gidiş Yönü” ne göre değişir. Şekil 2.1 e göre 1 noktasından 2 noktasına doğru gidişte yükseklik farkı Δh_{12} ise 2 noktasından 1 e doğru dönüşte ise Δh_{21} dir. Bu iki vektörün yönleri dolayısıyla işaretleri birbirine terstir:

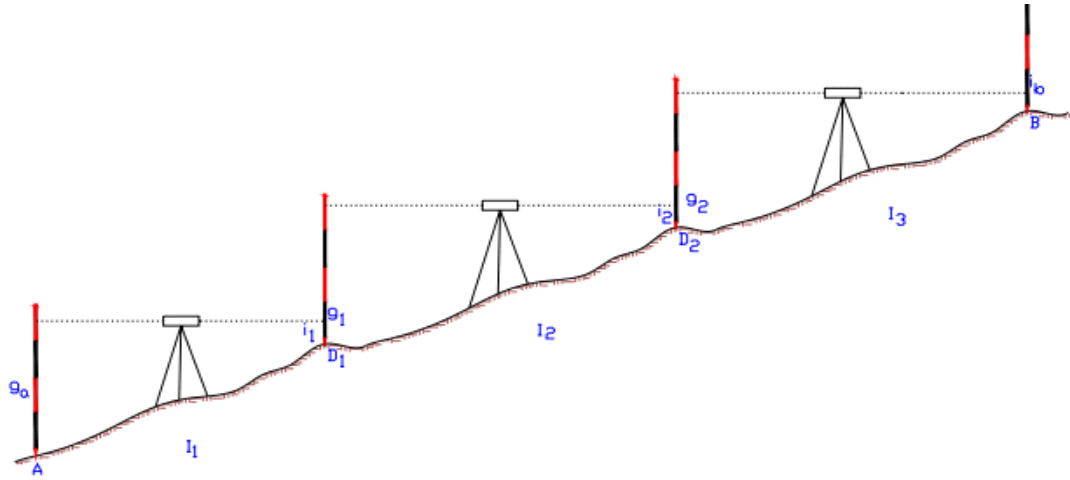
$$\Delta h_{1,2} \geq 0 \text{ ise } \Delta h_{2,1} \leq 0 ; \quad \Delta h_{1,2} \leq 0 \text{ ise } \Delta h_{2,1} \geq 0 \quad (2.1)$$

- İki nokta arasındaki yükseklik farkı vektörlerinin büyüklüğü birbirine ve söz konusu iki noktadan geçen yatay düzlemler arasındaki düşey uzaklığa eşittir. O halde (2.1) e göre

$$\Delta h_{1,2} = - \Delta h_{2,1} \quad (2.2)$$

bağıntısı geçerli olur.

Şekilde A ve B gibi birbirinden uzak iki sabit nokta arasındaki yükseklik farkını ölçmek için şekil 2.2 deki ölçme modeli art arda uygulanır.



Şekil 2.2: Ölçme modelinin ard arda uygulanmasıyla birbirinden uzak iki nokta arasındaki yükseklik farkının bulunması

$$H_{A,B} = \Delta h_{A,1} + \Delta h_{1,2} + \Delta h_{2,3} + \Delta h_{3,4} + \Delta h_{4,B} = \sum \Delta h \quad (2.3)$$

yazılabilir.

Gidiş yönünde yapılan ölçmeye “Gidiş Ölçmesi”, ters yönde yapılan ölçmeye ise “Dönüş Ölçmesi” adı verilir. Kaba hataları ortaya çıkarmak ve bir doğruluk kriteri elde etmek amacıyla presizyonlu nivelman ölçmeleri mutlaka “Gidiş-Dönüş” yapılır. Gidiş ölçmeleri (G), dönüş ölçmeleri ise (D) indisi ile gösterilir.

Gidiş ya da dönüş ölçmelerinde nivonun her bir kuruluşunda ölçme yönüne göre geride kalan noktaya “Geri Nokta”, öndeki noktaya ise “İleri Nokta” denir. Geri noktada yapılan mira okuması “Geri Okuma”, ileri noktada yapılan mira okuması ise “İleri Okuma” adını alır ve bunlar sırayla (g) ve (i) ile gösterilir. Şekil 2.2’ ye göre;

$$\Delta h_{i,2} = (g - i)_G \quad (2.4)$$

ve şekil (2.1) ve (2.2) bağıntılarından

$$H_{A,B} = H_G = \sum \Delta h_G = \sum g_G - \sum i_G \quad (2.5)$$

elde edilir. Dönüş ölçmesi için

$$H_{B,A} = H_D = \sum \Delta h_D = \sum g_D - \sum i_D \quad (2.6)$$

olur. Ayrıca (2.2) ye benzer olarak;

$$H_G \equiv -H_D \quad (2.7)$$

bağıntısı geçerlidir.

Nokta yüksekliklerini bulabilmek için, noktalardan en az birinin yüksekliğinin bilinmesi gereklidir. Bilinmeyen yükseklikler şekil 2.2’ ye göre;

$$K_B = K_A + H_{A,B} = K_A + H_G \quad (2.8)$$

bağıntısından hesaplanır.

Burada K_A nın bilinen, K_B nin ise bilinmeyen yükseklik olduğu varsayılmıştır. Burada bir “Hesap Yönü” ortaya çıkar; bu yön daima “Bilinen yükseklikten bilinmeyen yüksekliğe doğrudur”. (2.5) ve (2.8) bağıntılarına göre “Hesap Yönü ile Gidiş Yönü Aynı Olmalıdır”. (2.4), (2.5), (2.6), (2.7) ve (2.8) bağıntıları presizyonlu nivelman tekniğinin “Fonksiyonel modelini” oluşturur (Baykal 1988).

2.2 Presizyonlu Nivelmanda Alet Donanımı

Presizyonlu nivelman ölçülerindeki alet donanımı geometrik nivelmanda olduğu gibi mira ve nivodur. Bunlara ek olarak mira noktalarındaki çökmelere önlem amaçlı mira destekleme aparatları kullanılır.

2.2.1 Miralar

Presizyonlu nivelmanda çift bölümlü invar miralar kullanılır. Bu kullanılan invar miralar 25 mm genişliğinde 1 mm kalınlığında bir invar şerit ve bu şeridin yerleştirildiği 3 m uzunluğunda ahşap veya metal kasadan oluşur. Genleşme katsayısı küçük olan şerit, kasa içerisine özel olarak yerleştirilmiştir. Presizyonlu nivelmanda invar miraların kullanılmasının nedeni sıcaklık ve nem farklılaşmalarından doğacak hata oranlarını en aza indirmektir.

Sayısal nivo ile okuma yapabilmek için fiberglas, alüminyum ve invar olmak üzere bir yüzü barkod bölümlü miralar imal edilmiştir. Miranın üzerinde 5 cm eninde barkod çizgileri işaretlenmiştir. Barkod ile taranmış kısmın arka tarafındaki yüzünde, klasik geometrik nivelman ölçümleri yapmaya yarayan mira bölümlemesi bulunmaktadır.

Bu miralar ihtiyaca göre 3 m, 4 m, 5 m ' lik ikiye veya üçe katlanabilir ve iç içe geçebilir mira olarak üretilmiştir. Mira yapımında kullanılan maddelerin genleşmeleri hassasiyet açısından önemlidir. İnvar miranın genleşme katsayısı, 1 ppm/°C'den küçüktür. Mira yüzeyinin ve bağlantı bölümlerinin hasar görmesinden ve kirlenmesinden kaçınılmalıdır. Çünkü mira yüzeyinde kirli veya bozuk bölümler varsa bunlar elektriksel sinyal olarak algılanacaktır. Bu sinyallerin değerlendirilmesi esnasında hatalı ve yanlış okumalara sebep olacaktır.

Presizyonlu nivelman ölçmelerine ölçek verecek uzunluk birimleri invar mira üzerinde bulunur. Bu birimlerin invar şerit üzerine işaretlenmesi işlemine “mira bölümlendirilmesi” denir. Bu bölümler beyaz zemin üzerine siyah renkte ve yaklaşık 0.8 mm kalınlıkta belirlenmiştir. İnvar şerit üzerindeki en küçük bölüm “mira birimi (B_m)” adını alır. Günümüzde (B_m)=10mm ve (B_m)=5mm olmak üzere iki tür bölümlendirme yapılmaktadır (Samsun, 2000).

İnvar miraların hemen hemen hepsinde yan yana iki bölümlendirme vardır. Bunlardan birisi bölüm çizgilerinin mira tabanından olan yüksekliği ‘ana bölümlendirme’ veya ‘sol bölümlendirme’ diğeri ise ana bölümlendirmeye göre sabit bir C değeri kadar kaydırılmasıyla oluşur. Bu ‘mira sabiti’ değeri kadar kaydırılmış bölümlendirilmeye ise ‘yardımcı bölümlendirme’ veya ‘sağ bölümlendirme’ adı verilir. Mira sabiti C değeri her mira üretici firması için farklılıklar gösterir.

Örneğin;

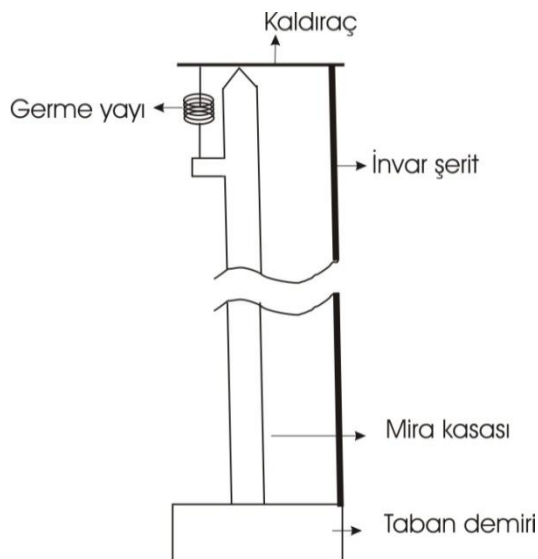
Wild miraları için $C = 301.550$

Zeiss miraları için $C = 606.500$

Kern miraları için $C = 592.500$

Ölçümlerin hassas olabilmesi için miraların olabildiğince düşey tutulması gerekir. Miraların düşey tutulabilmesi için invar miralar üzerine küresel düzeçler yerleştirilmiştir.

Miralardaki düşey doğrultudaki çökme hatalarını azaltabilmek için ve miraların tutulduğu noktaların yerlerinin değişmemesi için özel mira altlıkları kullanılır. Miraların düşey tutulmasını sağlamak ve sallanmasını önlemek amacıyla mira destekleri kullanılır.



448	146
446	144
444	142
442	140
440	138
438	136
436	134
434	132
432	130
430	128
428	126
426	124
424	122
422	120
420	118

Şekil 2.3: İnvar miralar

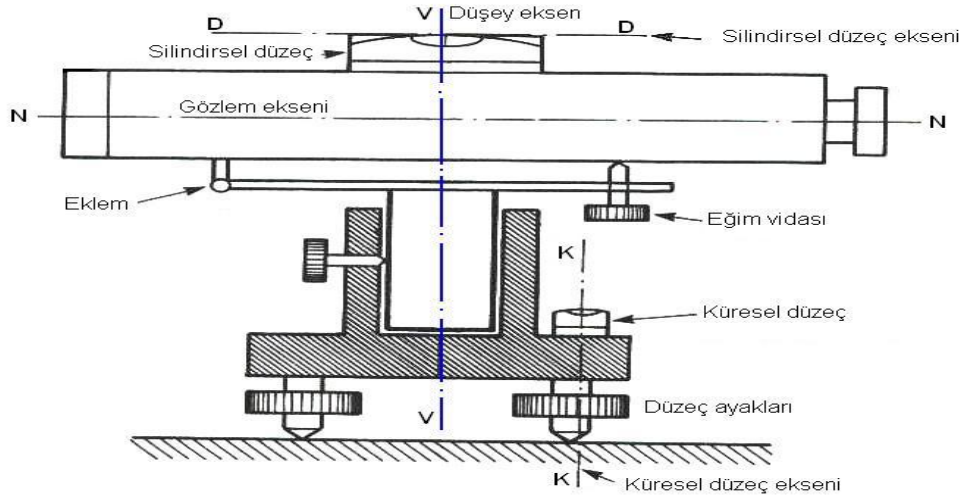
2.2.2 Nivolar

Nivolar, yatay gözleme doğrultusunu sağlayan ve mira okumalarını yapmaya yarayan optik aletlerdir. Nivoların en önemli parçaları dürbünleri ve yatay gözlemeyi sağlayan donanımdır. Presizyonlu nivelmanda kullanılan nivolar, silindirik düzeçli (fenklajlı) , kompensatörlü ve sayısal nivolardır. Ayrıca, presizyonlu nivolarda kullanılan sehpalara, normal sehpalara göre daha ağır ve sehpa bacakları tek parçadır (Ceylan, 1993).

Bu çalışmada, çalışmanın amacına uygun olarak sadece sayısal nivolar ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

2.2.3 Silindirik düzeçli (fenklajlı) nivolar

Silindirik düzeçli (fenklajlı) nivoların şematik kesiti şekil 2.4 te görülmektedir. Bu tür nivolarda yatay gözleme diğer bir deyişle dürbün gözleme ekseninin yatay kılınması, dürbüne tespit edilmiş bir silindir düzeç yardımı ile yapılır. Dürbün ve 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 “Fenklaj vidası”nın döndürülmesi ile sağlanmaktadır. Fenklaj vidası döndürülerek silindir düzeç kabarcığı ortalandığı zaman silindir düzeç eksenini yatay kılınmış olur. Eğer dürbün gözleme eksenini silindir düzeç eksenine paralelse düzeç kabarcığı ortalandığında dürbün gözleme eksenini de yatay kılınmış olur; böylece yatay gözleme karşılığı mira okuması elde edilir. Açıkça görüldüğü gibi nivoların en önemli (ana) şartı “Dürbün gözleme ekseninin silindir düzeç eksenine paralel olmasıdır”. Silindir düzeç ekseninin asal eksene dik olma şartı bu nivolarda aranmaz. Dürbün gözleme ekseninin yatay kılınma presizyonu doğrudan doğruya silindir düzeğin duyarlılığına bağlıdır. Presizyonlu nivo olarak yapılan düzeci-dürbünü sabit fenklajlı nivolarda silindir düzeç duyarlılığı $5''/2$ mm ile $10''/2$ mm arasında olmalıdır.

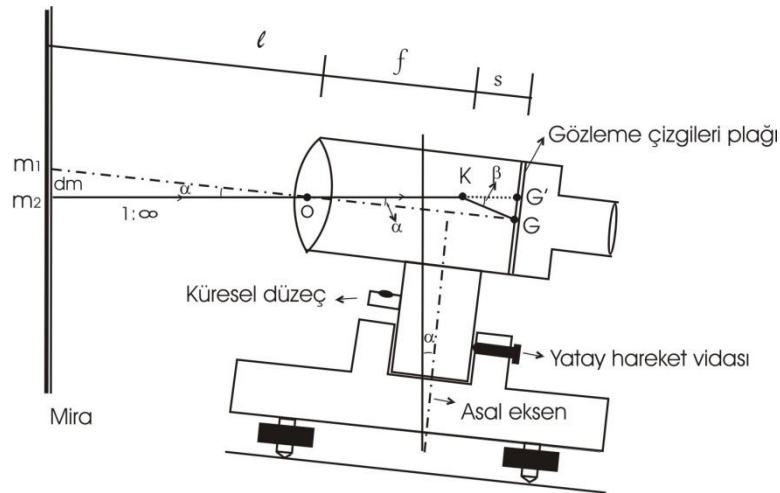


Şekil 2.4: Fenklajlı Nivo (Erkaya, 2012)

Silindir düzecin belirli bir konumunda kabarcık ortalandığı zaman ancak düzeç eksenine paralel doğrultular yatay kılınmış olur. O halde alet asıl eksen çevresinde azda olsa döndürülürse gözleme ekseninin yataylığı bozular. 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 okunmasında tekrarlanmalıdır.

2.2.4 Kompansatörlü (Otomatik) nivolar

Kompansatörlü nivolarla gözleme yataylanması dürbün içine yerleştirilen “Kompansatör” yardımıyla sağlanmaktadır. Kompansatör, gerekli optik elemanları üstünde taşıyan mekanik bir sarkaçtır. Kompansatörlü nivoların şematik kesiti şekil 2.5’ de görülmektedir.



Şekil 2.5 Kompansatörlü (otomatik) nivo

Kompansatörlü nivolarda, küresel düzeç kabarcığı sehpa bacakları ve üç ayak vidaları yardımıyla ortalandığında asal eksen yaklaşık olarak düşeylenmiş olur. α “Artık tesviye (eğik ufuk) hatası “ yüzünden, miranın m_1 bölümünden gelen α eğim açısına sahip eğik gözleme ışını gözleme çizgilerinin G kesim noktasında görüntü verir. Diğer bir ifade ile eğik gözlem karşılığı olan m_1 okuması yapılır. Yatay gözleme karşılığı olan m_2 noktasına ait mira görüntüsü G’ noktasında oluşur. Bu durumda m_1 mira okuması dm kadar hatalı olup, s gözleme uzaklığı ile α eğim açısına bağlı olarak değişir.

Dürbün içerisinde bulunan kompansatör, kendine gelen tüm ışınları kırarak doğrultularını değiştirir. Bu durumda m_2 ’den gelen ışını da β kadar kırılır ve G noktasında görüntü verir. α ve β açılarının küçük açı olduğu varsayımı ile şekil 2.5’den

$$(f + s). \alpha = s. \beta ; \quad \beta = \frac{f+s}{s}. \alpha \quad (2.9)$$

yazılabilir. f ve s , dürbünün yapısına bağlı sabit büyüklükler olduğundan,

$$\frac{f+s}{s} = n_o = \text{sabit} ; \quad \beta = n_o. \alpha \quad (2.10)$$

elde edilir. Bu eşitliğe göre; β açısı, α açısına bağlı olarak lineer değişir ve m_2 ’den gelen yatay gözleme ışını daima G noktasında görüntü verir. Kompansatörün çalışabilmesi için kompansatörün lineer çalışma aralığına ($-\alpha_s$; $+\alpha_s$) sokulması gerekir. Bu ise küresel düzeç yardımıyla sağlanır.

Sonuç olarak kompansatörün görevini yapabilmesi için

- Küresel düzeç eksen şartı sık sık kontrol edilmeli, gerekirse düzenlenmeli
- Küresel düzeç kabarcığı prizmadaki görüntüye bakılarak özenle ortalanmalıdır.

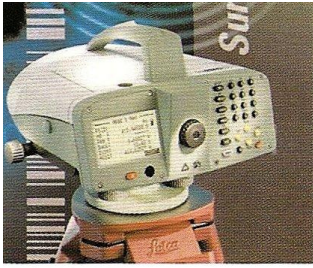
Presizyonlu nivo olarak yapılan kompansatörlü nivolarda gözleme ekseninin $\pm 0,2''$ doğrulukla yatay kılınması, yani kompansatör duyarlılığının $\pm 0,2''$ olması gerekir.

2.2.5 Sayısal nivolar ve miralar

Günümüzde kullanılan sayısal nivolarla ilgili ciddi çalışmalar 1980’li yılların başlarında Wild (Leica) firması ve Dresden Teknik Üniversitesi ile Carl Zeiss Jena (Almanya) firmasının iş birliği başlamıştır (Gürdal 2004).

CCD (Charge-Coupled Device) sensörlerinin ortaya çıktığı 1980’li yılların başına kadar uygun elektronik sistemlerin geliştirilememesi nedeniyle, sayısal nivolarla ilgili ciddi bir teknolojik gelişme olmamıştır. Ancak 1980’li yıllarda mikroişlemci

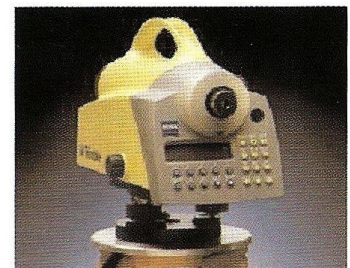
teknolojisinde meydana gelen gelişmeler, CCD sensörlerinin gelişimini etkileyerek etkin görüntü işleme (image processing) tekniğinde yeni gelişmeler yaşanmasına neden olmuştur. Bu gelişme, sayısal nivo mira okumasının elektronik görüntü işleme tekniği ile yapılmasını sağlamıştır (Gürdal 2004). Sayısal görüntü işleme ilgili ilk araştırma ve teknolojik gelişmeler daha çok uzunluk ve açı ölçmeleri konularında gerçekleştirilmiştir. Bu konuda yapılan araştırmalar sonucunda dünyanın ilk sayısal nivosu 1990 yılında WILD (Leica) firması tarafından " WILD NA2000" adı ile üretilmiştir. Bu nivo ile mira okuması ve veri kaydı otomatik hale gelmiştir. Bu aletin talep görmesi ile de bu konudaki araştırmalar artmıştır. 1991'in sonlarında WILD NA3000 üretilmiştir. Daha sonra NA2002, DINI 10 ve DINI 20 nivoları geliştirilmiştir. İleriki yıllarda, TOPCON, TRIMBLE (Zeiss), TRIBMLE ve SOKKIA firmaları tarafından sayısal nivolar üretilerek kullanıcıların hizmetine sunulmuştur (Şekil 2.6 ve Tablo 2.1).



Leica (Wild)



Topcon



Trimble(Zeiss)

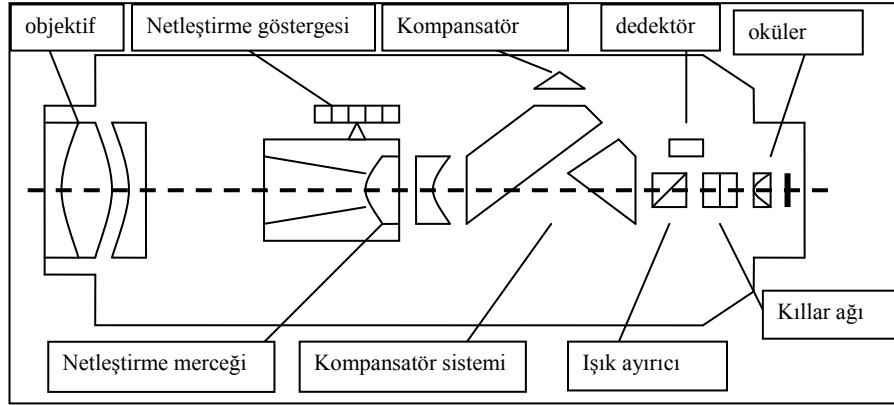
Şekil 2.6 Sayısal nivolar.

2.2.5.1 Sayısal nivoların yapısı

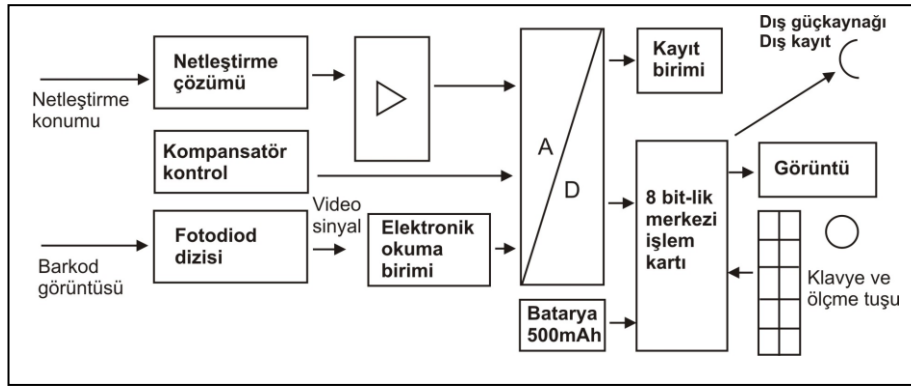
Sayısal nivolar yapı itibarıyla bir kompansatörlü nivodur. Sayısal nivoların normal otomatik nivolardan farkı göz yerini alan sıralı elektronik algılayıcıların bulunmasıdır. Elektronik algılayıcılar, barkod tekniği ile kodlanmış mira bölüm çizgilerini tanımakta ve bu görüntüden bir sinyal modeli oluşturarak korelasyon yöntemi ile değerlendirme yapan elektronik birime göndermektedir. Değerlendirme sonucunda gözleme ekseninin mirayı kestiği yerin okuması ve gözleme uzaklığı elde edilmektedir. Sayısal nivolar nivelman verilerini işleyen ve depolayan programlar ve kontrol üniteleriyle desteklenmiştir. Örnek olarak Wild NA2000 sayısal nivosunun optik-mekanik yapısı Şekil 2.7'de, elektronik yapısı ise Şekil 2.8'de gösterilmiştir (Gürdal 2004).

Tablo 2.1: Sayısal nivolar ve teknik özellikleri

	TOPCON		LEICA		TRIMBLE	SOKKIA
ÖZELLİKLER	DL-101C	DL-102C	DNA03	DNA10	DINI	SDL50
Dürbün						
Büyütme	32x	30x	24x		32x	28x
Görüş alanı	1°20'		1°06'		2.2m (100m de)	1°20'
Kompensatör						
Çalışma Aralığı	±12'	±15'	±10'		±15'	±15'
Ayarlama Hassasiyeti	0.3"	0.5"	0.3"	0.8"	0.2"	
Yükseklik Ölçme Doğruluğu (1km gidiş dönüş)						
Elektronik Okuma	Invar mira 0.4mm	Fiberglass mira 1.0mm	0.3mm Invar mira 1mm Stan. mira	0.9 mm Invar mira 1.5mm Standart mira	0.3mm Invar mira 1.0mm Standart mira	1.5mm
Optik Okuma	1.0mm	1.5mm	2.0mm	2.0mm	1.5mm	2.0mm
Mesafe Ölçme						
Min.Okuma	1cm	1cm	1cm		1cm	1cm
Hassasiyeti	1cm-5cm		0.01 mm	0.1mm	0.1mm	(±0.1-±0.2%x D) mm
Ölçme uzaklığı	2m to 100m :		1.8m-110m		1.5m-100m	1.6m-100m
Ölçme süresi	3 sn.		3 sn		2sn	1-3 sn
Küresel Düzec Hassasiyeti	8'/2mm	10'/2mm	8'/2mm		8'/2mm	10'/2mm
Diğer						
Data Kayıt Hafızası	PCMCIA Kart (max 2MB)		PCMCIA Kart		usb Flash Drive	
Data Kart	. 8,000 data		6000 ölçüm ve 1650 nokta		30000 ölçüm	2000 nokta
Data Aktarma	RS-232C		RS232 GSI Formatı		USB arayüzü	RS-232C
Klavye	Alfanumerik girişli		Alfanumerik girişli		Alfanumerik girişli	
Yatay Daire	360° veya 400grad		360° veya 400grad		360° veya 400grad	360° veya 400grad
Güç Kaynağı	Dahili şarj edilebilir batarya, NiCd 7.2V,kalem pille		Alkalin Batarya, 6x LR6/AA/AM3,1.5 V		Li-on 7.4V / 2.4 Ah	Li-on Batarya
Çalışma süresi	10 saat		12 saat		3 gün	8.5 saat
Ağırlık	2.8 kg		2.8 kg		3.5 kg	2.4 kg



Şekil 2.7 Wild NA2000 sayısal nivusunun optik-mekanik yapısı (Gürdal 2004).



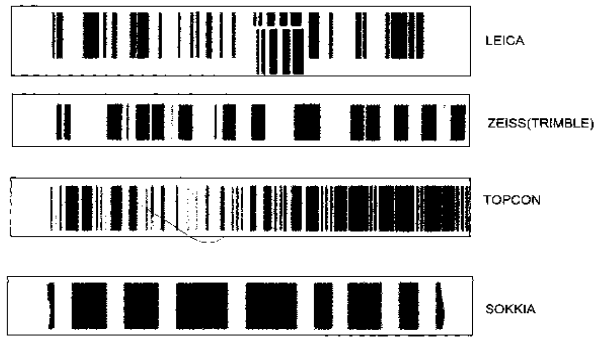
Şekil 2.8 Wild NA2000 sayısal nivusunun elektronik yapısı (Ingensand 1999).

2.2.5.2 Barkodlu miralar

Geometrik nivelman ölçmelerinde 3, 4 veya 5m uzunluğunda bir yüzü barkodlu, diğer yüzü metrik birimde bölümlendirilmiş ahşap, fiber glass (cam elyaf) veya invar metalden miralar kullanılır.

Barkod: harf ve sayıların bilinen alfabeden farklı olarak siyah ve beyaz çizgilerle ifade edilmesidir. Barkodlar da harf ve sayılar değişik çizgi kombinasyonları ile belirtilirler. Barkodlar, günümüzde yaygın olarak verilerin bilgisayar ortamına girilmesinde kullanılmaktadır. Barkodlar, 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. Wild (Leica) firması tarafından geliştiren kod, aperiodyk

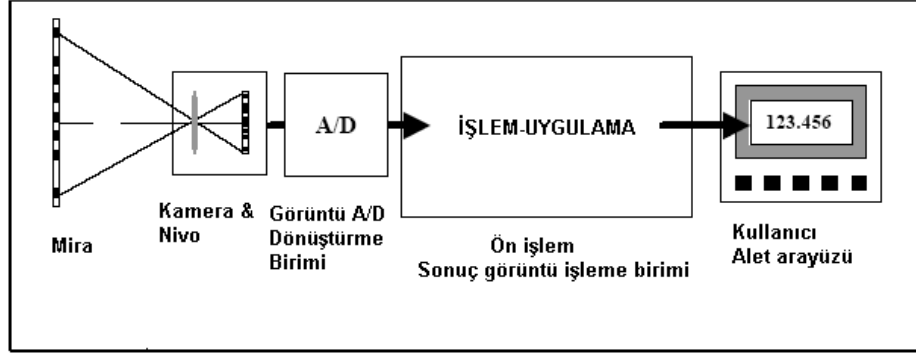
pseudo-stokastik binary (ikili) adı verilen bir kod ile temsil edilmektedir. Barkodlu miranın tam 4.050 metrelik boyu üzerindeki tüm barkodların sayısı 2000 dir. Yani her bir kod elemanının boyutu 2.025 mm' dir. Zeiss (Trimble) firması tarafından kullanılan kodun modülasyonu 2 cm genişlikli her bir bitteki 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 barkodlu miralar, birbiri üstüne binen üç adet tekli desen koduna sahiptir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Günümüz sayısal nivolarında kullanılan kodlar (Gürdal 2004).

2.2.5.3 Sayısal nivo ile nivelman Ölçmeleri

Sayısal nivolarla mira okuması işlemi, aletin düzeçlenmesi, miraya yöneltilmesi ve görüntünün netleştirilmesi ve sayısal ölçmenin başlatılması olmak üzere harici işlemlerle başlatılır. Mira değerinin elde edilmesi için ise yaklaşık 4 saniye süren dahili işlemler; kaba korelasyon ve ince korelasyon ile tamamlanır. Nivo üzerindeki ölçme düğmesine basıldığında, netlik durumu tespit edilir ve kompansatörün 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 mira değeri ve alet-mira arası uzunluk değeri hesaplanır. Sayısal nivolarda görüntü alma ve görüntü işleme adımları Şekil 2.10’da gösterilmiştir (Gürdal, 2004).



Şekil 2.10 Sayısal nivolarda görüntü alma ve işleme (Gürdal, 2004)

Sayısal nivoların gelişimi ile sayısal nivolar, sayısal görüntü ve okuma kolaylığı, yüksek doğrulukla hızlı ve ekonomik ölçü yapma imkânı, miraya duyarlı yöneltme, mira bölümlerinin okunması ve otomatik veri kaydı, veri indirgemedi ve hesap işlerinde otomasyon, gerektiğinde sayısal nivonun klasik nivo aleti gibi kullanımı, kişi hatalarının önemli ölçüde giderilmesi ve üretim hızında önemli ölçüde artış sağlanmıştır(Ceylan ve Çatal, 2007).

Sayısal nivolarla daha yüksek doğruluklu sonuçlar elde edebilmek için;

- Kullanılan sayısal nivonun küresel düzeç eksen şartının sürekli olarak kontrol edilmelidir.
- Aletin iç ve dış hatalarının giderilmesi için belirli sıklıkta kalibrasyonunun yapılmalıdır.
- Mira üzerindeki küresel düzeç sıklıkla kontrol edilmelidir.
- Miranın sık sık kalibrasyonu yapılmalıdır.
- Nivelman için ölçü zamanı olarak refraksiyonun az olduğu saatler tercih edilmelidir.
- Ölçü sırasında mira olabildiğince sağlam zemine tutulmalı ve mira altlığı kullanılmalıdır.
- Mira çifti sıfır hatasını gidermek için alet kurma sayısı çift olmalıdır.
- Ölçüm sırasında miranın kurulma yeri olarak sarsıntının az olacağı ve yeterli ışık alabileceği yerler seçilmelidir.
- Nivonun netleştirmesi yeterli doğrulukta yapılmalıdır.
- Nivelmanın istenilen doğruluğa göre göz ardı edilebilecek hatalar tespit edilmeli bunun dışındaki hata büyüklükleri hesaplanarak düzeltme olarak getirilmelidir.
- Nivocu, nivonun gözleme eksenine göre 40-50cm alttan veya üstten miranın örtülü olup olmadığını kontrol etmelidir.

- Mira üzerinde gölgelenme varsa gözleme uzaklığı 30m'yi geçmemelidir.
- Gözleme uzaklıkları 40-45m'yi geçmemeli, uygun olmayan hava koşullarında 30m'yi geçmemelidir.
- Şehir içi ölçmelerinde araçların üzerinden ölçme yapılmamalıdır. Zorunluluk hallerinde, gözleme ışını engelin 50cm üstünden geçmelidir.
- Aydınlatmanın yetersiz olduğu durumlarda aydınlatma amacıyla halojen lamba kullanılmalıdır (Ekici, 2008).

2.2.5.4 Sayısal Mira ve Nivoların Kalibrasyonu

Mira kalibrasyonu

Miraların kalibrasyonunda interferometreler kullanılmaya başlanmış ve kalibrasyon işlemi otomasyona bağlanmıştır. Bu yöntem interferometre kontrolündeki opti-elektronik mikroskoplu miranın üzerindeki derecelendirme çizgilerinin ölçümünü temel almaktadır. Kalibrasyon sonucunda ölçek değerine ve her bir derecelendirme çizgisi için düzeltmelere ulaşılabilir. Böylelikle okunan değerler bu şekilde düzeltilebilir.

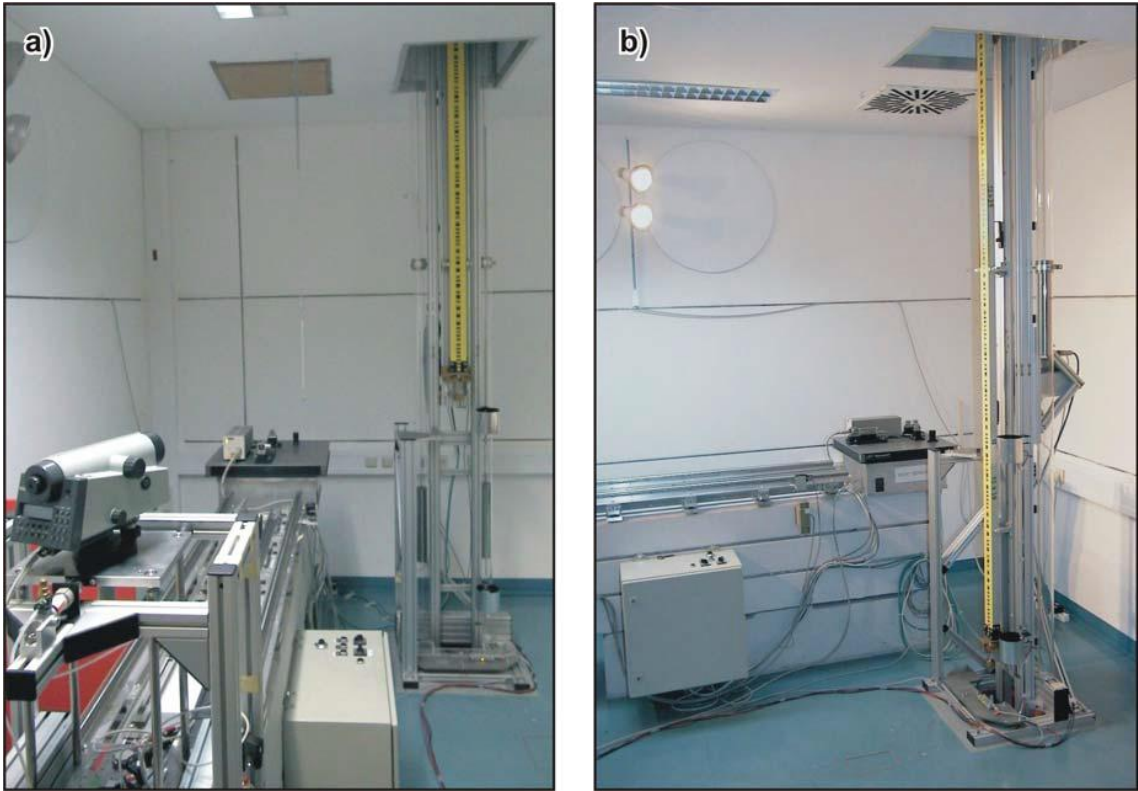
Sistem kalibrasyonu

Sayısal nivo ile ölçme işlemlerinde 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 türetilebilir. Bunun için doğru değerlerin elde edilebilmesi ve hareketlerin yapılabilmesi için uygun alet gerekmektedir (Takalo and Rouhiainen, 2004).

Kalibrasyon araçlarının tanımlanması

Mira ölçeği tespiti için yatay komparatör Finnish Geodetic Institute üniversite laboratuvarlarında bulunmaktadır. Laboratuar derecesi ve nemi sırasıyla 0.2°C ve %5 düzeyde 2-3 saat aryla kontrol altında tutulmalıdır. Laboratuar da lazer interferometre

tarafından kontrol edilen iki hareketli taşıyıcı ile 30 m uzunluğundaki komparatör tezgâhından oluşmaktadır. Mira iki taşıyıcıya monte edilmiş ve en iyi noktada desteklenerek invar bandın yüksekliğinde minimum değişikliğe yol açacak şekilde sonuçlanmıştır. Mira interferometrenin lazer ışığına paralel olacak pozisyonda ayarlanır. Tezgahın bir ucuna elektro-optik mikroskop monte edilmiştir. Taşıyıcılar mikroskobun altına monte edilerek mira üzerindeki bütün kodların ölçümünü yapacak şekilde hareket ederler.

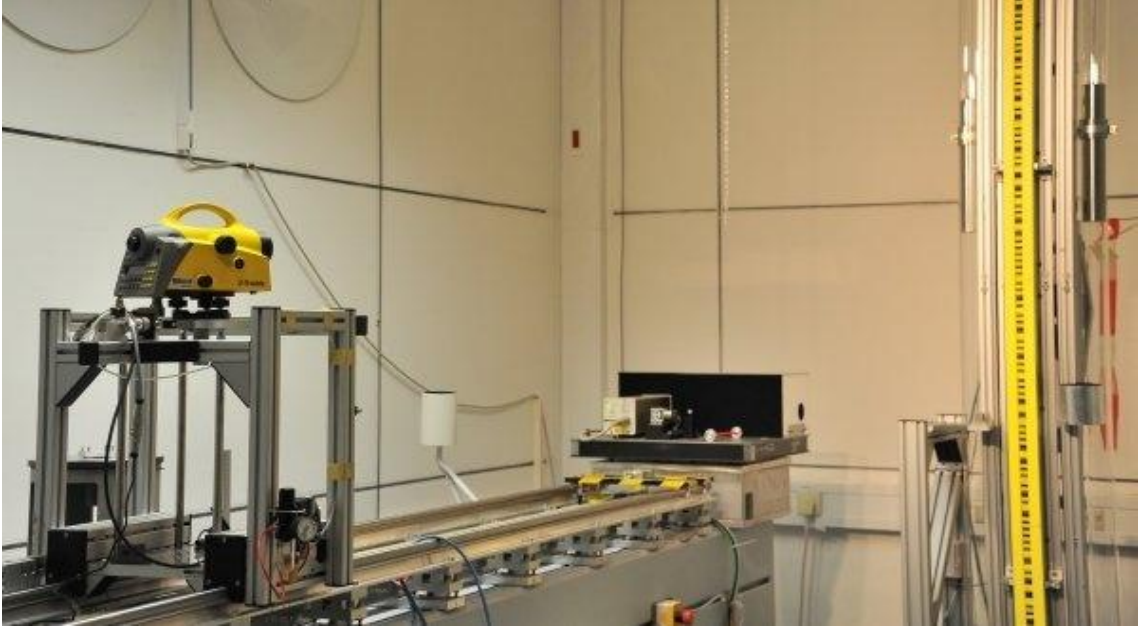


Şekil 2.11 Aydınlatılmış Düşey Komparator (a) ve Mira Konumu(b)

Sistem kalibrasyonu için düşey komparator

Laboratuar şartları iklimle ilgili olarak $22^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\% 50 \pm \%10$ nemle kontrol altında tutulmalıdır.

Düşey komparatorün temel içeriği düşey konumda kullanılması için nivelman mirasına monte edilmesidir. 3 m uzunluğundaki İnvar miranın kalibrasyonu, 6.5 m uzunluğundaki çerçeve ve üzerindeki taşıyıcıya yeterli alanı sağlamak ve laboratuvarı genişletmek gerekir. Monte edilmiş mira ile taşıyıcı, lazer interferometrenin kontrolünde hareket eder. Nivo beton zemine konuşturılabilirdiği için görme mesafesi, 1.5 m'den 30 m'ye kadar seçilebilir (Takalo,M. , Rouhiainen,P.,2004)



Şekil 2.12 Düşey komparatörlü lazer interferometreden bir görünüm

2.3 Presizyonlu Nivelmanda Hata Kaynakları

Presizyonlu nivelman ölçülerini etkileyen model hataları, hem yükseklik farklarını, dolayısıyla nokta yüksekliklerini, hem de doğruluk kriterlerini etkilemektedir. Bu nedenle hataların niteliği ve niceliğinin yeterli doğrulukta bilinmesi gerekir. Aksi takdirde güvenilir sonuçlar elde edilemez. Şüpheli sonuçlarla bilimsel yargılara varılamaz. Bu nedenle modellerden kaynaklanan hataların ayrıntılarıyla incelenmesi gerekir. Presizyonlu nivelmanı etkileyen hata kaynaklarını üç ana başlıkta toplayabiliriz (Ceylan, 1993).

- Nivelardan kaynaklanan hatalar
- Miralardan kaynaklanan hatalar
- Dış ortamdan kaynaklanan hatalar

2.3.1 Nivelardan kaynaklanan hatalar

Presizyonlu nivelman ölçmeleri için kabul edilen varsayımlardan birisi de nivo gözleme ekseninin yatay bir düzlem oluşturması ve bunun ölçümler süresince sabit kalmasıdır. Bu şartı sağlamaması durumunda ,

- Nivo gözleme eksen şartının düzensizliği
 - Kompansatörlü nivelarda artık kompanzasyon hatası
 - Küresel düzeç eksen şartının düzensizliği
- hataları oluşur.

2.3.1.1 Nivo gözleme eksenini şartının düzensizliği

Nivoda silindirik düzeç veya kompensatör ile gözleme eksenini arasında belirli bir şartın bulunması gerekir. Söz konusu şart nivo gözleme eksenini şartıdır ve yataylığı sağlayan donanımlara bağlı olarak değişik şekilde ifade edilir.

Silindir düzeçli nivolarda silindir düzeç eksenini nivo gözleme eksenine paralel olmalıdır.

Kompensatörlü nivolarda ‘küresel düzeç ortaladığında kompensatör alet yatayına karşılık olan gözlemeyi sağlamalıdır.’

Bu şartları taşımayan aletlerle yapılan ölçmelerdeki mira okumaları eğik gözleme doğrultusunda yapılmış olur ve düzenli bir hata etkisi taşırlar.

Bir mira okumasındaki hata;

$$P = S \frac{\gamma}{\rho} \quad (2.11)$$

bağıntısıyla ifade edilir (Baykal, 1989). Burada, γ =gözleme ekseninin yataydan sapma açısı, S; gözleme uzaklığıdır. Bu hatanın etkisini en aza indirebilmek için geri ve ileri gözleme uzaklıkları eşit alınmalıdır.

2.3.1.2 Kompensatörlü nivolarda artık kompanzasyon hatası

Kompensatörlü nivolarda yatay gözleme şartı kompensatör yardımıyla sağlanmaktadır. Ancak kompensatörün dürbün içindeki konumunun zamanla değişmesi, optik elemanları taşıyan tellerin esnemesi, değişik gözleme uzaklıklarının netleştirilmesi nedeniyle alet yatayının değişmesi, trafik, rüzgar v.b. dış etkenlerden titreşmesi ile kompensatör tam olarak çalışmaz ve gözleme eksenini düzensizliğine neden olur (Baykal, 1989). Gözleme eksenini düzensizliği uygun yöntemlerle giderilir. Fakat geriye tek bir mira okumasıyla fark edilemeyen, eksen kontrolleriyle giderilemeyen bir hata kalır. Bu hataya ‘Artık Kompanzasyon’ veya ‘Eğik Ufuk Hatası’ denir.

Presizyonlu nivelmanda Kompensatörlü nivo kullanılması durumunda eğik ufuk hatasını giderecek yöntemler uygulanmalıdır. Bunlar ‘Kırmızı Pantolon’ ve ‘Schwarz’ yöntemidir.

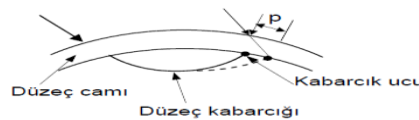
Kırmızı pantolon yöntemi tek nolu istasyon noktalarında $(G)_{sol}$ $(i)_{sol}$ $(i)_{sağ}$ $(G)_{sağ}$ çift nolu istasyon noktalarında $(i)_{sol}$ $(i)_{sağ}$ $(G)_{sol}$ $(G)_{sağ}$ gözleme sırasıyla uygulanır.

Schwarz yönteminde ise, her bir istasyon noktasında küresel düzeç önce geri mira doğrultusunda ortalılır ($G_{sol} \quad I_{sol}$) okunur. Daha sonra ileri mira doğrultusunda ortalılır ve ($G_{sağ} \quad I_{sağ}$) okumaları yapılır. Tüm istasyonlarda bu işlem tekrarlanır.

2.3.1.3 Küresel düzeç eksen şartının düzensizliği

Bu hata, küresel düzeç ortaladığı halde eksenin düşey duruma gelmemesinden kaynaklanır. Bu hatanın sonuçlara etkisi silindirik düzeç ve Kompansatörlü nivolarda farklı olmaktadır.

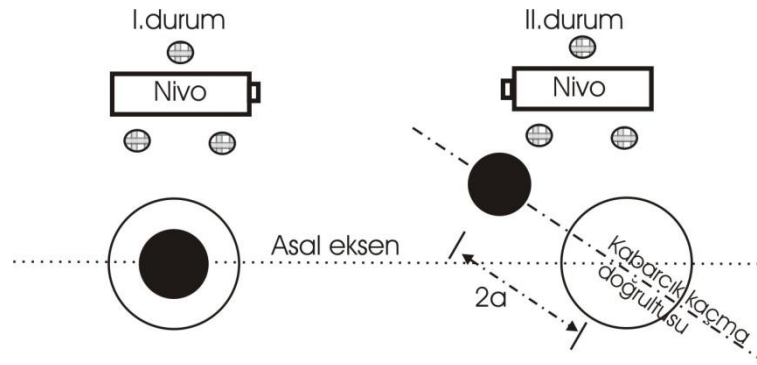
Silindirik düzeçli nivolarda yatay gözleme fenklaj yardımıyla sağlandığı için pek fazla etkili olmayabilir. Bu hatanın etkisini en aza indirmek için nivelmanda kullanılan nivonun küresel düzeç duyarlılığı yüksek olmalı ve her istasyonda hassasiyetle ortalımalıdır (Ceylan, 1993). Silindirik düzeçli-(fenklajlı) nivoların şematik kesiti şekil 2.1’de görülmektedir. Bu tür nivolarda yatay gözleme diğer bir deyişle dürbün gözleme ekseninin yatay kılınması, dürbüne tespit edilmiş bir silindir düzeç yardımı ile yapılır. Dürbün ve 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 “Fenklaj vidası”nın döndürülmesi ile sağlanmaktadır. Fenklaj vidası döndürülerek silindir düzeç kabarcığı ortaladığı zaman silindir düzeç eksenini yatay kılınmış olur. Eğer dürbün gözleme eksenini silindir düzeç eksenine paralelse düzeç kabarcığı ortaladığında dürbün gözleme eksenini de yatay kılınmış olur; böylece yatay gözleme karşılığı mira okuması elde edilir. Silindir düzeçlerde kabarcığın ortalınmasını sağlayan bölüm çizgileri düzeç şişesinin üstüne çizilmiştir. Bu yüzden kabarcıkla çizgiler arasında şişe camının kalınlığı kadar bir fark vardır. Kabarcığın çıplak gözle düzece bakılarak ortalınması durumunda, bakış doğrultusuna göre değişen bir “Paralaks hatası” ortaya çıkar (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: Paralaks hatası

Kompansatörlü nivolarda ise asal eksen eğikliğinin belli bir kriterin altında olması gerekir aksi takdirde bu şartı sağlamaz ve gözleme düzlemi eğikliği ortaya çıkar. Sonuç olarak bu şartın sağlanması Kompansatörlü nivolarda çok daha önemlidir.

Bu nedenle ölçülere başlanılmadan önce nivolarda mutlaka küresel düzeç kontrolü yapılmalıdır. Küresel düzeç kontrolü için nivo sağlam zeminli bir yerde sehpa üzerine kurulur ve küresel düzeç kabarcığı uçayak vidası ile ortalılır. Daha sonra nivo asal eksen etrafında yaklaşık 200^g döndürülerek kabarcığın durumuna bakılır. Eğer kabarcık ortada ise küresel düzeç ekseninin düşey eksene paralel olduğu anlaşılır. Kabarcık kaymışsa, kayma miktarı hatanın iki katıdır. Hatanın yarısı uçayak vidaları yardımıyla, diğer yarısı da küresel düzeğin ayar vidaları yardımıyla giderilir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Küresel düzeç ayarı

2.3.2 Miralardan kaynaklanan hatalar

Presizyonlu nivelmanda ölçeklendirme elemanı mira olduğu için miralardan kaynaklanan hatalar nivelman sonucuna etkisi önemlidir. Bu hataların bazıları şunlardır;

- Miraların eğik tutulması hatası
- Mira çifti sıfır konum hatası
- Mira tabanının düzlem olmaması hatası
- Mira bölümlendirme hatası

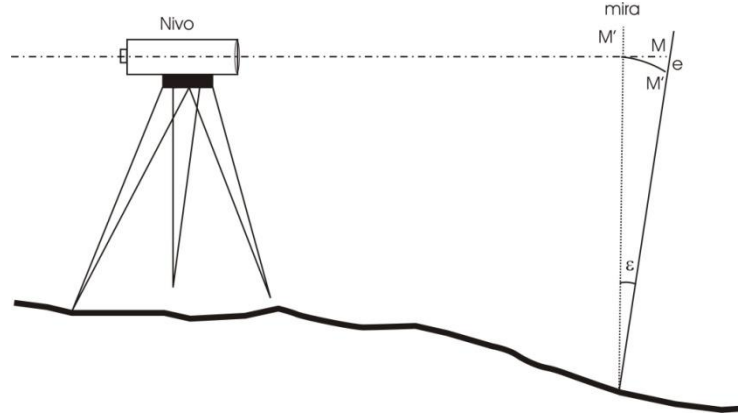
2.3.2.1 Miraların eğik tutulması hatası

Presizyonlu nivelman ölçmelerinde miraların daima düşey doğrultuda tutulması gerekir. Ancak gerek mira üzerindeki düzeçten gerek rüzgarın şiddeti ve gerekse mirayı tutan elemanın yorgunluğu ve dikkatsizliği nedeniyle mira düşey doğrultudan sapabilir.

Mira gözleme ekseninden ϵ kadar eğik olması her mira okumasında işareti daima pozitif olan bir hataya yol açar (Şekil 2.15). Bu hata;

$$dh = \frac{1}{2} \epsilon^2 M \quad (2.12)$$

bağıntısıyla ifade edilir. Burada, M: mira okuması, ϵ : miranın gözleme doğrultusundaki düşeyden sapma açısıdır. Bu hatanın mümkün olduğunca en aza indirilmesi için düzecen sık sık kontrol edilmesidir (Ceylan,1993).

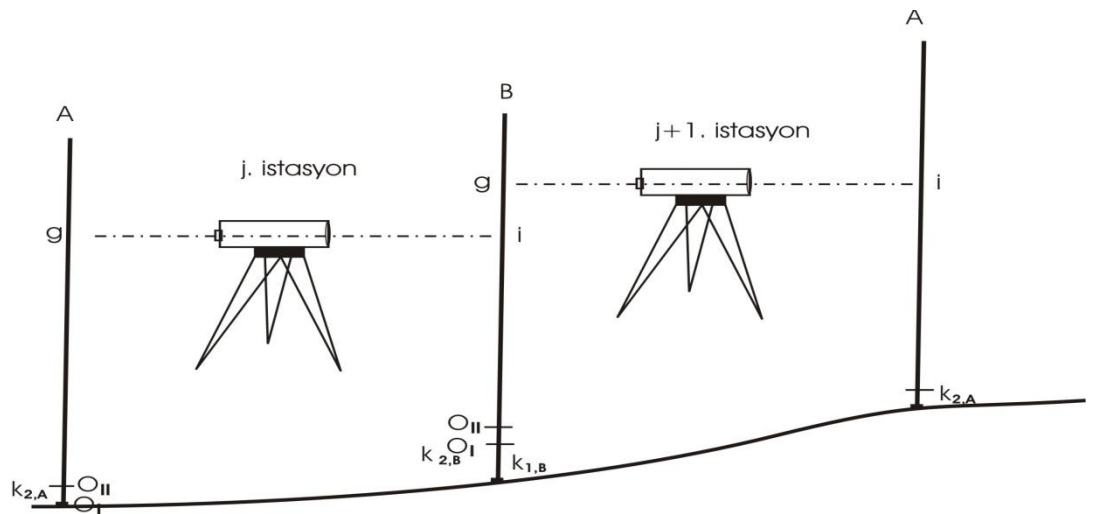


Şekil 2.15 Mira eğikliği hatası

2.3.2.2 Mira çifti sıfır konum hatası

Presizyonlu nivelman ölçmelerinde kullanılan bir çift invar miralara ait ana ve yardımcı bölümlendirmelerinin sıfır çizgilerinin gerek invar şeridin mira kasasına yerleştirilmesinde gerekse mira tabanlarının farklı aşınması nedeniyle mira tabanlarından değişik uzaklıkta olmasıyla oluşur.

Mira çifti sıfır konum hatasının sabit olması durumunda nivelman kenarı ölçmelerinde istasyon nokta sayısı çift alınarak hatanın etkisi ortadan kaldırılır (Ceylan, 1993)



Şekil 2.16 Mira çifti sıfır konum hatası

Bu hatalar, ölçmelerde kullanılan A ve B miralarına ait ana ve yardımcı bölümlendirmelerin sıfır çizgilerinin, mira tabanlarından farklı uzaklıkta olmasından kaynaklanır. Burada önemli olan sıfır çizgilerinin mira tabanlarından mutlak uzaklıkları değil, herhangi bir bölümlendirmeye göre diğer bölümlendirmelerin sıfır çizgilerinin bağıl durumlarıdır.

Örneğin; (şekil 2.16)'da,

A mirasının ana bölümlendirmesi esas alınırsa ($k_{1,A} = 0$)

$k_{2,A}$ = A mirası yardımcı bölümlendirmesinin sıfır konum hatası

$k_{1,B}$ = B mirası ana bölümlendirmesinin sıfır konum hatası

$k_{2,B}$ = B mirası yardımcı bölümlendirmesinin sıfır konum hatası

Presizyonlu nivelman ölçmelerinde ardışık istasyon noktalarında miraların konumu değiştiğinden, sıfır konum hatasının etkisini incelemek için ardışık iki istasyon noktasının bir arada düşünülmesi gerekir.

Nivelman kenarına ait değerler hesaplanırken istasyon yükseklik farklarının toplamı alınacağından ardışık iki istasyon noktasında hesaplanan büyüklüklerin toplamına bakmak akla yakın olur.

$$h_{1,j} + h_{1,j+1} = h'_j + h'_{j+1} \text{ (hatasız)}$$

$$h_{2,j} + h_{2,j+1} = h'_j + h'_{j+1} \text{ (hatasız)}$$

$$h_j + h_{j+1} = h'_j + h'_{j+1} \text{ (hatasız)}$$

$$\delta_j + \delta_{j+1} = 0$$

Bağıntıdan görüldüğü gibi ölçme modeli nivelman kenarı ölçmelerinde korunursa kenar yükseklik farkları ve kenar kapanmaları sıfır konum hatasından tümüyle arınmış olur. Bu modele göre ;

- Nivelman kenarı ölçmeleri çift sayıda istasyon noktasından oluşmalı
- Mira tutma sırası korunmalıdır (tek nolu istasyon noktalarında geri noktada A, ileri noktada B mirası bulunuyorsa çift nolu istasyon noktalarında bunun tersi olmalıdır).

Yukarıda söylenenler sıfır konum hatalarının sabit kalması durumunda geçerlidir. Ölçmenin herhangi bir anında sıfır konum hatasının değişmesi halinde, hatadan tümüyle arınmış kenar büyüklükleri elde edilemez. En sakıncalı durum mira tabanına ya da mira altlığı çıkıntısına taş, çamur ve benzeri maddelerin yapışmasıdır. Bu

durumda büyük ve değişken bir sıfır konum hatası söz konusu olur. O halde mira tabanları ile mira altlığı çıkıntılarının daima temiz tutulmasına son derece dikkat etmek gerekir.

Değişken sıfır konum hatasının ortaya çıkmasının bir başka nedeni mira tabanlarının gereken şartı taşımamasıdır. Bunu önlemek için sabit noktalar ya da mira altlığı çıkıntıları üstünde mira tabanı aynı noktalara tutulmalıdır.

Sıfır konum hataları istasyon kapanmalarında etkili olur. İstasyon kapanmalarının istatistiksel analizi bakımından bu hatanın istasyon kapanmalarından uzaklaştırılması gerekir. O halde ilk önce istasyon kapanmaları belirlenmelidir.

Sıfır konum hatalarını belirlemek için, kullanılacak iki İnvar mirayı sırayla sabit bir nokta üstünde tutulup nivonun sabit konumunda her bir bölümlendirmede n sayıda okuma yapılır. Buna bir grup ölçme denilirse nivonun konumu değiştirilerek N grup ölçme yapılır. Daha sonra ölçmeler değerlendirilip sıfır konum hataları ve standart sapmaları hesaplanır. Güvenilir bir hesap için $(n;N) \geq 4$ olmalıdır. Hesaplanan sıfır konum hatalarının significant olup olmadıkları “Student Testi” ile kontrol edilir.

2.3.2.3 Mira tabanının düzlem olmaması hatası

Presizyonlu nivelmanda ölçmede kullanılan mira tabanının düz ve invar şeride dik olması gerekir. Aksi takdirde farklı noktalara tutulması durumunda değişken sıfır konum hatası ortaya çıkar. Mira altlığı üzerine mira tabanının hep aynı noktası tutulmalıdır.

2.3.2.4 Mira bölümlendirme hatası

Mira bölüm çizgilerinin standart uzunluk birimlerinden sapmalarıdır. Presizyonlu nivelmanda kullanılan İnvar miraların bölümlendirmesi ‘püskürtme boyama tekniği’ ‘kazıma tekniği’ ve ‘lazer – interferans komparatörü’ kullanılmaktadır.

Püskürtme boyama tekniğinde kullanılan şablonların uç uca çakıştırılması ve her bir bölümlendirme sonucunda şablon üzerindeki boyaların temizlenmesi sırasında şablonun yıpranması nedeniyle, kazıma yönteminde ise bölümlendirmede kullanılan frezenin adım genişliğinin 1 m olması ve kazıyıcı uçtaki düzensizlikler nedeniyle mira bölümlendirme hataları ortaya çıkmaktadır (Ceylan, 1993).

Mira üzerindeki her bir bölüm için,

$$t_i = \bar{t}_i + e_i \quad (2.13)$$

yazılabilir. Burada

t_i =bölüm çizgisinin kesin değeri

$\bar{t}_i$ =bölüm çizgisinin okunan değeri

e_i =bölümlendirme hatası(düzeltilme)

dır.

Mira bölümlendirme hatası e_i için

$$e_i = a_0 + a_1 \cdot t_i + \text{diğer hata terimleri} + r_i \quad (2.14)$$

Yazılabilir (Pelzer, 1983). Burada

a_0 =sıfır hatası

a_1 =ölçek hatası

r_i =rastlantısal bölümlendirme hatası

dır.

Mira bölümlendirme hatalarının ölçülere etkisini önemsiz kılmanın en güvenilir yolu, her bir mira bölüm çizgisine ait e_i bölümlendirme hataları Laser- interferans komparatörü ile ve $\pm(4-5)\mu\text{m}$ doğrulukta belirlenmektedir (Ceylan,1993).

2.3.3 Dış ortamdan kaynaklanan hatalar

Ölçmeler atmosfer ve fiziksel yeryüzünde yapıldığından, fiziksel değişiklikler ölçmelerde hataya neden olmaktadır. Bu hatalar;

- Nivo ve miralarda çökme hatası
- Sıcaklığın nivoya etkisi
- Sıcaklığın miraya etkisi
- Geomağnetik alanın kompensatörlü nivoya etkisi
- Gel-git etkisi
- Düşey refraksiyon etkisi
- Gravite alanın etkisi

2.3.3.1 Nivo ve miralarda çökme hatası

Presizyonlu nivelman ölçmeleri sırasında ölçme yapılan fiziksel zemin üzerinde mira ve nivolar düşey yönde hareket edebilir. Bu düşey yöndeki hareketler çökme hatasını oluşturur.

Çökme hatasının ölçmelere etkisi kesin olarak belirlenemez. Bu hatayı en aza indirebilmek için hatayı oluşturan parametreleri iyi belirleyerek bu hatalara karşı etkin ölçme planı oluşturmaktır (Ceylan, 1988).

2.3.3.2 Sıcaklığın nivoya etkisi

Cisimlerin sıcaklık değişiklikleriyle boyut değiştirmeleri bilinen bir fizik kanunudur. Bu yüzden silindirik düzeçli ve kompansatörlü nivoların optik sistemleri sıcaklık değişiklikleri ile etkilenir. Bu etkilenme iki şekilde olur.

- Ortam sıcaklığının ani değişmesi etkisi
- Güneş ışınlarının tek taraflı ve dik olarak nivoya vurması etkisi

Ortam sıcaklığının ani değişimi (nivonun kutusundan ilk çıkarıldığı durum gibi) nivonun gözleme ekseninde eğikliğe neden olur. Geri ve ileri gözleme uzaklıklarının eşit alınması durumunda sapma açısı her iki yönde aynı olacağı için etkisi kendiliğinden ortadan kalkar.

Güneş ışığının tek taraflı ve dik olarak nivoya vurması sonucunda nivonun gözlem doğrultusu etkilenir. Sıcaklığın nivoya etkisi ölçme süresince nivo şemsiye yardımıyla güneşten korunur ve $G_1 \dot{I}_1 \dot{I}_n G_n$ gözleme sırasıyla hızlıca yapılırsa hata minimuma indirilebilir (Ceylan, 1993).

2.3.3.3 Sıcaklığın miraya etkisi

Miralarda nivolarda olduğu gibi iki şekilde etkilenir. Birincisi miranın kalibrasyon sıcaklığı ile (genellikle 20°C) ile nivelman sırasındaki miranın sıcaklığı arasındaki farktan dolayı oluşan hatadır (Pelzer, 1983). İkinci hata ise nivelman ölçmeleri sırasında güneş ışığı miranın birinin önyüzüne (invar şeride), diğer miranın da arka yüzeyine vurursa, birinci miranın invar şeridi doğrudan güneşe maruz kalırken diğerinde arka yüzü güneşe maruz kalmaktadır invar şerit gölgede kalmaktadır. Bu şekilde iki mira arasında sıcaklık farkı 6°C' yi bulmaktadır. Bu ise hataya neden olmaktadır (Ceylan, 1993).

Sıcaklığın miraya etkisini azaltabilmek için nivelman ölçmeleri sırasında invar şeritlerin iç sıcaklıkları 0.5°C doğrulukla ölçülmelidir (Baykal, 1989).

2.3.3.4 Geomagnetik alanın kompensatörlü nivoya etkisi

Kompensatörlü nivolarda sarkaç salınımı gravite etkisiyle düşey doğrultuda denge konumuna gelir. Nivo gözleme eksenini sarkaç ile dik açı yapacak şekilde bağlanmıştır. Bunun anlamı ise diğer hatalar ihmal edilerek gözleme eksenini tam olarak yataylanır. Fakat sarkaç gravite etkisiyle birlikte geomagnetik alandan da etkilenir. Bu ise kompensatörün hata yapmasına neden olur. Hatanın büyüklüğü ve yönü kompensatörün yapısına ve yapısını oluşturan materyalin özelliklerine bağlıdır. Geomagnetik alanın yatay bileşeni ile nivonun gözleme doğrultusu paralel olduğunda sapma maksimum olur. Bu hatanın giderilmesi kolay olmamaktadır. Çünkü gözleme doğrultusunun magnetik kuzeyle yapmış olduğu açıya bağlı olarak değişmektedir.

Geomagnetik alanın etkisini ölçülere sonradan düzeltme olarak getirmek pek kolay değildir. Çünkü; hata gözleme doğrultusunun magnetik kuzeyle yapmış olduğu açıya bağlı olarak değişmektedir. Bu hatadan uzaklaşmanın en etkili yolu magnetik alandan etkilenmeyen kompensatörlü nivoların kullanılmasıdır (Ceylan, 1993).

2.3.3.5 Gel-git etkisi

Nivelman ölçmeleri sırasında yatay gözleme, silindirik düzeç veya kompensatör yardımıyla gözleme eksenini çekül doğrultusuna dik konuma getirilir. Çekül doğrultusu ay ve güneş kütlelerinde dolayı zamanla değişim gösteren gel-git kuvveti etkisi altındadır.

Bu etki nedeniyle çekül doğrultusu küçük bir açısal sapma gösterir. Dolayısıyla ölçmeler o istasyon noktası için gerçek gravite vektörüyle yürütülemez (Banger, 1982).

2.3.3.6 Düşey refraksiyon hatası

Nivelmanda gözleme ısıyı farklı kırılma indislerine sahip atmosfer tabakalarından geçerken bilinen kırılma kanunlarına bağlı olarak ısıyın yolu eğrilerek nivoya ulaşır. Fiziksel yapı farklılığı gösteren düz bir nivelman kenarında refraksiyonun etkisi tüm mira okumalarında yaklaşık aynı büyüklüktedir. Dolayısıyla yükseklik farkının bu hatalardan etkilenmesi rastgele özelliği taşır. Sabit eğimli arazilerde ise nivelman kenarında yapılan ölçmelerde yere yakın mira okumaları yerden uzakta olanlara göre refraksiyon hatasından çok daha fazla etkilenir. Bu nedenle büyük ölçüde hata birikimi oluşur. Ölçüler genellikle sıcaklığın düşey değişiminin ($dt / dh < 0$) negatif olduğu zamanlarda yapıldığından, pozitif yükseklik farkları olması gerekenden daha

küçük, negatif yükseklik farklarında ise daha büyük olarak bulunur. Bu nedenle bu hata benzer atmosfer koşullarında yapılan gidiş – dönüş ölçüleriyle ortadan kaldırılamaz. Bu hata etkisi ölçülere sonradan düzeltme getirilerek giderilebilir. Ancak pratik uygulamalarda ölçülere sonradan hesapla düzeltme getirme yerine dönüş ölçüleri sıcaklığın düşey dağılımının ters işaretli olduğu farklı atmosfer koşullarında yapılarak bu hata giderilmektedir.

2.3.4 Barkod hataları

Sayısal nivolarda kullanılan barkodlu miralara özgü hatalardır. Bu hatalar aşağıda özet olarak verilmiştir.

a)Barkod çizgisinin bölümlendirme hatası: Şu anki üretim sürecinde barkodlu miralara ait kod çizgilerindeki küçük sapmalar bölümlendirme hatalarını oluşturur. Miralar üzerindeki barkod çizgilerine ait mira okuma değerleri lazer interferans komparatörleri yardımıyla karşılaştırılarak ortalama mira ölçeği hesaplanarak, bölümlendirme hatasının ölçülere etkisi en aza indirilebilir.

b) Zarar görmüş çizgi hatası: Arazide kullanılan miraların barkod çizgileri kötü kullanımdan ve dış etkenlerden dolayı kısmen veya tamamen zarar görerek silinebilmektedir. Gözleme çizgileri arasında zarar gören barkod çizgilerinin bulunması, dedektör diyotlarınca algılanan görüntünün sayısal nivo tarafından video sinyallerine dönüştürülememekte ve nivelman esnasında zaman kaybına neden olmaktadır. Sayısal miralar daha dış etkenlerden mümkün olduğunca korunarak barkodların zarar görmesi engellenmelidir.

c) Birleşme hatası: Bazı miralar birbirine geçmeli veya katlanabilir şekilde üretilmişlerdir. Miralar tam olarak açıldıklarında bölümlerin birbirleri ile birleşmesi sırasında miralar da ~1mm bulan hatalar oluşabilir (Rüeger ve Brunner 2000). Yüksek doğruluk gerektiren işlerde mutlaka yekpare (tek parça) miralar kullanılmalıdır.

2.3.5 Elektro-optik hata kaynakları

a) En küçük okuma ve yuvarlatma hatası: Sayısal nivolarda mira okuma inceliği 0,1 mm ve 0,01mm arasında değişmektedir. Maksimum yuvarlatma hatası, yuvarlatıldıkları basamakta ± 0.5 birim olduğuna göre, mira okumalarında $\pm 0,05$ - 0.005 mm kadar olabilir (Rüeger ve Brunner 2000).

b) Ölçme alanındaki engeller: Nivelman ölçmeleri doğal bir çevrede yapılmaktadır. Bazı durumlarda, bu doğal çevre içerisinde nivelman yapılırken trafik, çit, yaprak vb. engellerden dolayı mira okumalarında $\pm 0,2\text{mm} - 0,4\text{ mm}$ arası değişen hata oluşabilir (Rüeger ve Brunner 2000). Ölçmeler sırasında gözleme alanının %30'dan fazlası kapalı olduğu durumlarda ölçme doğruluğunun önemli ölçüde düştüğü söylenebilir.

c) Cyclic hatası ve gözlem uzunluğuna bağlı diğer hatalar: Cyclic hatası gerçek faz fark ölçümünün bir fonksiyonudur. Kabul edilmiş sinyal üzerinden üretilen sinyaldeki istenilmeyen karışımlardan kaynaklanır. Hatanın esas formu birim uzunluğa karşılık gelen dalga boyu ile sinüsoidaldir. Birim uzunluk ölçüm frekansından türetilir ve modülasyon dalga boyunun 1,5 katıdır. Bu konu ile ilgili olarak Rüeger ve Lok (2005) tarafından Avustralya New South Wales Üniversitesinde yapılan bir araştırmada cyclic hatasının uzunluğun karesiyle orantılı olarak arttığı ve 0.02m ile 0,039 mm arasında değiştiği belirtilmiştir (Rüeger and Lok, 2005).

d) Titreşimin etkileri: Yoğun trafiğin bulunduğu caddelerde yapılan ölçmelerde nivonun mira okuma duyarlılığı kötüleşebilir. Bu sebepten yüksek doğruluk isteyen işlerde, nivo genellikle sürekli ölçme moduna ayarlanır. Dış etkilere göre bir ölçü 3 veya 6 ayrı ölçünün ortalaması olarak bulunur. Sarsıntının etkisi, sarsıntı kaynağının uzaklığına, sarsıntı süresine, sarsıntı şiddetine bağlıdır. Yapılan araştırmalarda aletten 1.5m uzaklıkta bir sarsıntı kaynağı olması durumunda yapılan ölçmeler kabul edilebilir doğrulukta elde edilmiştir. Ancak bu durum ölçme süresini uzatmıştır. Tren yolu veya ağır yük kamyonları yakınında yapılan ölçmelerde ise kompensatörün sapması nedeniyle kaba sonuçlar alınmıştır. Bu gibi durumlarda sarsıntı geçene kadar beklemek gerekir. Tekrarlı ölçü modu kullanıldığında kabul edilemeyen ölçü ve alete girilmiş olan standart sapma ekranda belirir.

e) Işık yoğunluğu: Aydınlatma şiddetinin bulunması için, aydınlıktan karanlığa kadar (*mirada 4.5 lux*) yapılan ölçmelerde herhangi bir doğruluk kaybı olmamaktadır. Ancak, ölçme zamanı önemli ölçüde uzamaktadır. Aletin iç aydınlığı, miranın aydınlığına ayarlanır ve böylece aydınlatma 2.5 lux'e kadar düşürülürse, ölçme zamanında ve doğrulukta bir kayıp olmamaktadır. Burada önemli olan mira aydınlığının, arka fon ile belli bir uyum sağlamasıdır. Karanlıkta yapılan ölçme esnasında mira halojen lamba ile aydınlatılırsa ölçü zamanı kısalmaz ve ölçme sonuçları değişmez. Alet karanlıkta, mira aydınlıkta ve aydınlık arka fonda ise ölçme mümkün olmaz. Bu şartlarda genellikle hata mesajı görüntülenir ve sonuç alınamaz. Bu durumda mira bölümlerini halojen lamba ile

aydınlatma denenebilir. Ayrıca mira arka fonu çok aydınlık veya gölgede olduğu durumlarda, mira aydınlatılabilir. Karmaşık aydınlanma koşullarında kurallara uygun olarak hedef uzaklığı azaltılır ve gerekiyorsa mira bölümleri aydınlatılmalıdır (Banger ve Şen, 1994).

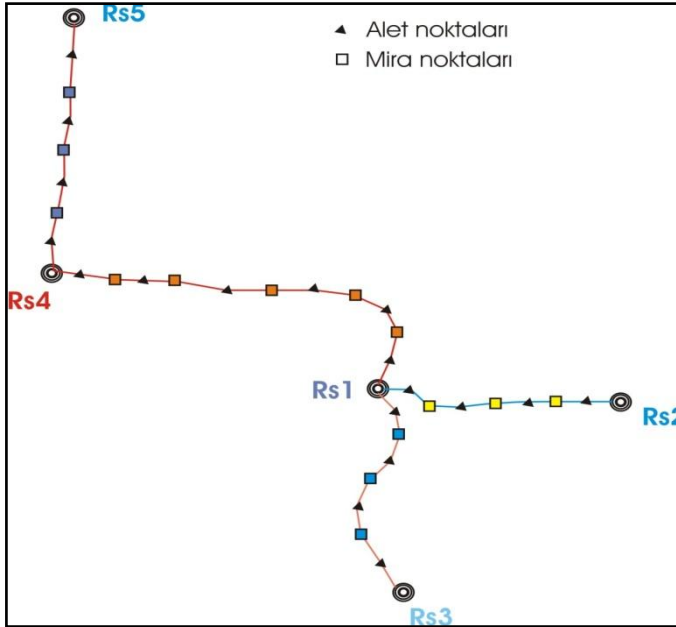
f) Miranın uç kısmına yakınlık: Nivelman sırasında hesaplama için miranın görünen parçasının yöneltme eksenin belli bir bölümü değerlendirme kullanılır. Nivo dürbünün görüş alanını belirleyen çizgiler mira yüzeyinin dışına çıktığında veya altına düştüğünde, okuma doğruluğu azalır ve mira okuma hatası oluşur. (Rüeger ve Brunner, 2000).

g) Netleştirme hatası: Yapılan araştırmalarda, görüntü netliğinin, nivelman ölçme doğruluğuna önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiş olmasına rağmen netleştirme merceğinden konumundan korelasyonun kapsayacağı alan belirlendiğinden, iyi bir netleştirme ölçü süresini kısılmasına katkı sağlayacağı vurgulanmıştır (Banger ve Şen, 1994).

3.UYGULAMA

3.1 Nivelman Test Ağı

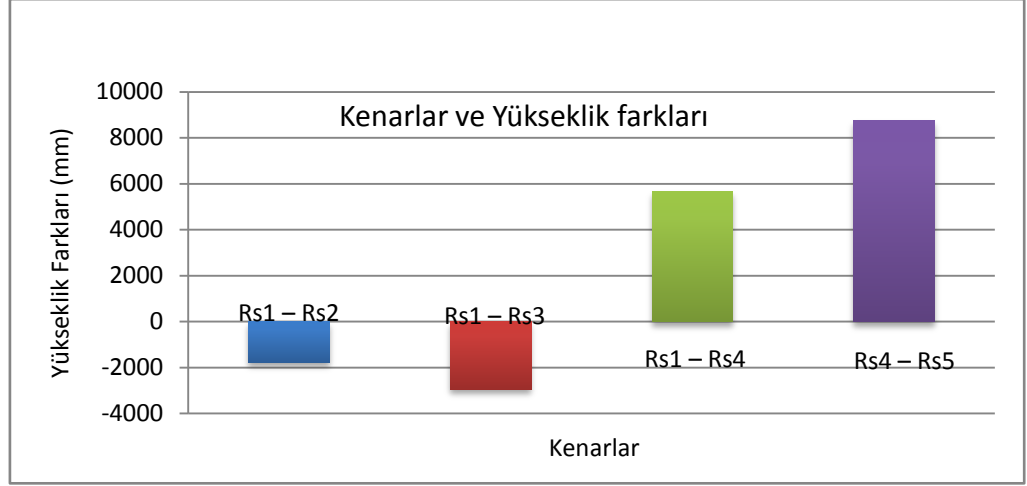
Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüs alanı içerisinde Mühendislik Mimarlık Fakültesi A blok, Veteriner Fakültesi, Park ve Bahçeler Fidanlığı, Bilmer ve Yadam Binalarının bulunduğu bölgede 5 adet Nivelman Röper noktasından (Rs) oluşan bir test ağı kurulmuştur. Test ağı, ortalama kenar uzunlukları 340m ve toplam geçki uzunluğu 1360m dir. Ağ, dört (4) kenardan oluşmaktadır. Çalışma arazi, genel olarak düz veya az engebeli bir topografik yapıya sahiptir (Şekil 3.1). Nivelman röper noktalarına Rs demiri (duvar tesisi) tesis edilmiştir (Şekil 3.2). Nivelman kenarlarına ait yükseklik farkları şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.1 Test ağı



Şekil 3.2 Rs tesisi



Şekil 3.3 Kenarlar ve yükseklik farkları

3.2.Uygulamada Kullanılan Donanımlar ve Teknik özellikleri

Nivoların ölçme hassasiyetlerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada Carl Zeiss Nİ2 (Kompansatörlü) ve Wild N3 (Fenklajlı) nivoları ile iki adet 3 m'lik çift bölümlü invar mira kullanılmıştır. Sayısal nivo olarak ise Topcon DL 101-C nivosu ve 3 m lik invar barkodlu mirası kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan donanımlara ait teknik özellikler tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Uygulamada kullanılan nivolar ve Teknik Özellikleri

TEKNİK ÖZELLİKLER	Topcon DL101C	Wild N3	Zeiss Ni 2
Dübbün büyütmesi	32 X	42 X	32 X
1 km gidiş-dönüş nivelmandaki doğruluk	±0.4mm	±0.2mm	±0.5mm
Küresel düzeç hassasiyeti	8'/2mm	10'/2mm	10'/2mm
Yataylama doğruluğu	±0.3"	±0.25"	±0.3"
Nivo ağırlığı	2.8 kg	2.5 kg	2.4 kg
			

3.3. Arazi Çalışmaları

3.3.1 Nivelman ölçmeleri

Nivelman ölçmelerine başlanılmadan önce nivelman test ağındaki her bir kenar üzerinde gözleme uzaklıkları 50 m'yi geçmeyecek ve eşit olacak şekilde alet ve mira noktalarının yerleri belirlenmiştir. Alet noktaları kırmızı yağlı boya, mira noktalarına ise 50 cm boyunda nivelman demirleri çakılarak belirlenmiştir..

Presizyonlu geometrik ölçmelerinde G_1 I_1 I_n G_n ölçme yöntemi uygulanmıştır. Klasik nivolar ile bir istasyon (alet) noktasında yapılan ölçmelerde geri ve ileri doğrultulardaki miraların sağ ve sol bölümlerinde yapılan mira okumaları birbirinden bağımsız olarak 3 er kez yapılmıştır. Topcon DL 101-C nivosu ile yapılan presizyonlu nivelman ölçmelerinde ise barkodlu mira tek bölümlü olduğu için sağ ve bölüm okumaları aynı invar şerit üzerinde yapılmıştır. Bir istasyon (alet) noktasında yapılan ölçmelerde sayısal nivo, ölçmelere başlanılmadan önce mira okumalarını 3 kez yaptıktan sonra ortalamasını kaydedecek şekilde ayarlanmıştır.

Nivelman kenarlarındaki ölçmeler 5 gidiş ve 5 dönüş olmak üzere 10 defa yapılmıştır. Her bir nivo ve donanımı için bu işlemler tekrar edilmiştir. Ölçmeler 4 kişilik ölçü ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir. Ölçme işlemlerine ait görüntüler şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4 Arazi çalışmalarına ait görüntüler

Topcon DL101 C nivosu ve barkodlu mirası ile yapılan ölçmeler sonucu elde edilen yükseklik farkları tablo 3.2, tablo 3.3, tablo 3.4 ve tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.2 RS1-RS2 kenarındaki yükseklik farkları

No	Rs ₁ -1	1-2	2-3	3-Rs ₂	$\sum \Delta h$ (mm)
1	-428.12	-967.22	-237.55	-134.01	-1766.90
2	-428.08	-967.17	-237.40	-134.10	-1766.74
3	-428.10	-966.34	-237.76	-134.43	-1766.62
4	-427.96	-966.48	-238.02	-134.17	-1766.62
5	-427.99	-966.82	-237.93	-134.79	-1767.52
6	-427.93	-966.30	-238.15	-134.54	-1766.92
7	-427.91	-966.34	-237.95	-134.86	-1767.05
8	-428.04	-966.59	-237.64	-134.50	-1766.76
9	-428.26	-966.34	-238.23	-133.82	-1766.63
10	-428.02	-966.32	-238.20	-133.85	-1766.38

Tablo 3.3 RS1-RS3 kenarındaki yükseklik farkları

	Rs ₁ -1	1-2	2-3	3-Rs ₃	$\sum \Delta h$ (mm)
1	-428.11	-1571.92	-854.96	-86.04	-2941.03
2	-428.00	-1571.77	-854.73	-86.03	-2940.53
3	-428.03	-1571.92	-854.76	-86.25	-2940.96
4	-427.91	-1571.92	-854.87	-85.76	-2940.45
5	-427.76	-1572.12	-855.09	-85.52	-2940.48
6	-427.67	-1572.09	-854.52	-85.89	-2940.16
7	-427.92	-1572.14	-854.70	-85.72	-2940.47
8	-428.26	-1572.42	-854.78	-85.72	-2941.18
9	-427.77	-1572.25	-854.66	-85.98	-2940.65
10	-427.95	-1572.29	-854.73	-86.11	-2941.07

Tablo 3.4 RS1-RS4 kenarındaki yükseklik farkları

	Rs1-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-Rs4	$\sum \Delta h$ (mm)
1	272.36	2668.67	841.28	454.09	514.94	913.55	5664.88
2	272.38	2668.54	841.21	454.32	514.83	913.57	5664.83
3	272.21	2668.64	841.26	454.28	514.86	913.66	5664.89
4	272.31	2668.52	841.21	454.40	514.82	913.55	5664.80
5	272.18	2668.55	841.39	454.18	514.82	913.63	5664.74
6	272.22	2668.70	841.33	454.28	514.62	913.75	5664.89
7	272.24	2668.48	841.48	454.1	514.58	913.84	5664.71
8	272.19	2668.68	841.49	454.16	514.86	913.61	5664.97
9	272.1	2668.46	841.27	454.37	514.96	913.64	5664.79
10	272.21	2668.36	841.49	454.27	514.86	913.80	5664.97

Tablo 3.5 RS4-RS5 kenarındaki yükseklik farkları

	Rs4-1	1-2	2-3	3-Rs5	$\sum \Delta h$ (mm)
1	1339.99	2276.37	2772.47	2362.32	8751.15
2	1340.07	2276.39	2772.29	2362.52	8751.25
3	1340.03	2276.31	2772.32	2362.56	8751.21
4	1339.97	2276.34	2772.33	2362.53	8751.15
5	1339.93	2276.32	2772.32	2362.59	8751.15
6	1339.92	2276.45	2772.32	2362.59	8751.27
7	1340.05	2276.38	2772.30	2362.52	8751.23
8	1340.08	2276.29	2772.32	2362.59	8751.26
9	1340.02	2276.21	2772.42	2362.43	8751.08
10	1339.99	2276.33	2772.33	2362.47	8751.12

Wild N3 nivosu ve mirası ile yapılan ölçmeler sonucu elde edilen yükseklik farkları tablo 3.6, tablo 3.7, tablo 3.8 ve tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.6 RS1-RS2 kenarındaki yükseklik farkları

	Rs1-1	1-2	2-3	3-Rs2	$\sum \Delta h$ (mm)
1	-428.10	-966.91	-237.56	-134.16	-1766.73
2	-427.99	-966.90	-237.54	-134.28	-1766.70
3	-428.08	-966.30	-237.70	-134.36	-1766.43
4	-428.13	-966.72	-237.91	-134.04	-1766.79
5	-427.96	-966.80	-238.03	-134.35	-1767.12
6	-427.94	-966.37	-237.98	-134.35	-1766.64
7	-428.13	-966.61	-238.01	-134.37	-1767.11
8	-428.06	-966.54	-237.95	-134.42	-1766.96
9	-428.18	-966.54	-238.09	-134.10	-1766.91
10	-427.89	-966.45	-238.14	-134.12	-1766.60

Tablo 3.7 RS1-RS3 kenarındaki yükseklik farkları

	Rs1-1	1-2	2-3	3-Rs3	$\sum \Delta h$ (mm)
1	-427.99	-1572.12	-854.51	-85.96	-2940.57
2	-427.54	-1572.07	-854.71	-85.94	-2940.26
3	-427.71	-1571.82	-854.62	-85.88	-2940.03
4	-427.68	-1571.96	-854.68	-85.94	-2940.26
5	-427.67	-1572.17	-854.41	-85.99	-2940.24
6	-428.13	-1571.99	-854.36	-85.94	-2940.43
7	-427.68	-1572.18	-854.44	-85.93	-2940.23
8	-428.14	-1571.97	-854.54	-85.66	-2940.30
9	-427.90	-1571.84	-854.61	-85.84	-2940.18
10	-427.88	-1572.18	-854.83	-85.85	-2940.75

Tablo 3.8 RS1-RS4 kenarındaki yükseklik farkları

	Rs1-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-Rs4	$\sum \Delta h$ (mm)
1	272.40	2668.47	841.32	454.22	514.76	913.68	5664.86
2	272.30	2668.63	841.42	454.27	514.66	913.65	5664.92
3	272.53	2668.52	841.37	454.29	514.73	913.70	5665.14
4	272.34	2668.52	841.42	454.28	514.77	913.66	5664.99
5	272.26	2668.55	841.41	454.12	514.79	913.62	5664.74
6	272.28	2668.44	841.35	454.30	514.80	913.61	5664.77
7	272.41	2668.59	841.44	454.21	514.72	913.61	5664.98
8	272.32	2668.49	841.35	454.16	514.78	913.69	5664.79
9	272.42	2668.49	841.41	454.26	514.80	913.62	5664.99
10	272.23	2668.46	841.37	454.33	514.83	913.52	5664.74

Tablo 3.9 RS4-RS5 kenarındaki yükseklik farkları

	Rs4-1	1-2	2-3	3-Rs5	$\sum \Delta h$ (mm)
1	1340.06	2276.32	2772.39	2362.55	8751.32
2	1340.02	2276.43	2772.33	2362.55	8751.34
3	1339.92	2276.37	2772.38	2362.52	8751.20
4	1339.99	2276.42	2772.35	2362.52	8751.30
5	1340.03	2276.34	2772.40	2362.52	8751.29
6	1340.02	2276.38	2772.38	2362.45	8751.23
7	1340.02	2276.39	2772.39	2362.52	8751.32
8	1340.00	2276.43	2772.38	2362.45	8751.27
9	1339.91	2276.39	2772.37	2362.45	8751.12
10	1340.05	2276.46	2772.36	2362.54	8751.40

ZEISS Nİ2 nivosu ve mirası ile yapılan ölçmeler sonucu elde edilen yükseklik farkları tablo 3.10, tablo 3.11, tablo 3.12 ve tablo 3.13’da verilmiştir.

Tablo 3.10 RS1-RS2 kenarındaki yükseklik farkları

	Rs1-1	1-2	2-3	3-Rs2	$\sum \Delta h$ (mm)
1	-428.09	-966.59	-238.04	-134.46	-1767.17
2	-428.10	-967.03	-237.94	-134.00	-1767.06
3	-428.08	-967.05	-237.92	-134.35	-1767.39
4	-428.36	-966.97	-237.87	-134.22	-1767.42
5	-428.10	-966.33	-237.79	-134.13	-1766.35
6	-428.36	-966.90	-237.89	-133.98	-1767.13
7	-428.06	-966.65	-238.14	-134.34	-1767.19
8	-427.99	-966.41	-238.04	-134.49	-1766.93
9	-427.95	-966.58	-237.86	-134.32	-1766.71
10	-428.11	-966.97	-237.88	-133.99	-1766.94

Tablo 3.11 RS1-RS3 kenarındaki yükseklik farkları

	Rs1-1	1-2	2-3	3-Rs3	$\sum \Delta h$ (mm)
1	-427.99	-1572.30	-854.72	-86.10	-2941.10
2	-427.87	-1572.27	-854.88	-85.85	-2940.87
3	-427.89	-1572.07	-854.72	-85.87	-2940.54
4	-427.90	-1572.19	-854.66	-85.99	-2940.73
5	-428.03	-1572.23	-854.79	-85.87	-2940.92
6	-427.79	-1572.24	-854.79	-85.80	-2940.61
7	-427.89	-1572.22	-854.76	-86.14	-2941.01
8	-428.89	-1572.09	-854.73	-85.79	-2940.51
9	-428.04	-1572.27	-854.70	-85.89	-2940.90
10	-427.99	-1572.22	-854.46	-85.98	-2940.64

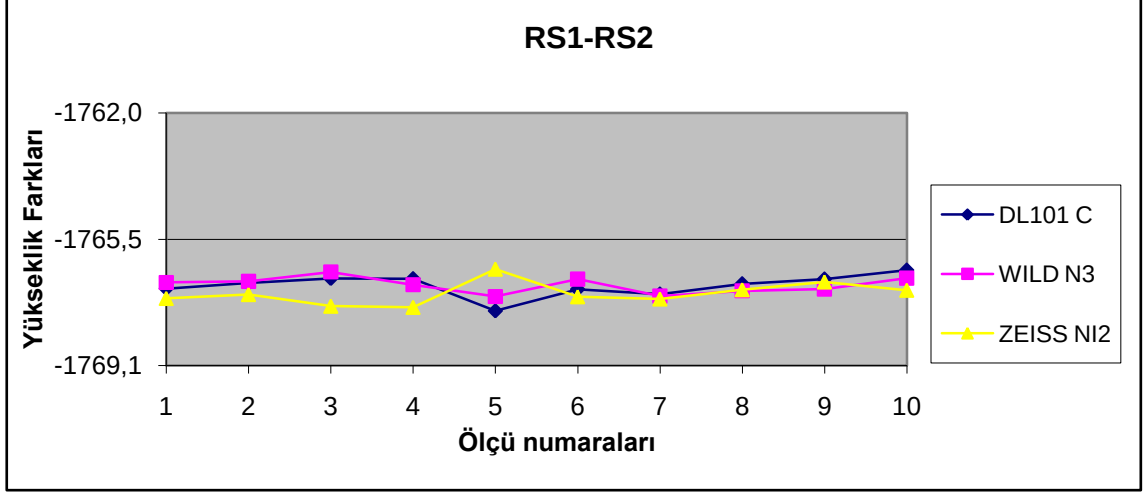
Tablo 3.12 RS1-RS4 kenarındaki yükseklik farkları

	Rs1-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-Rs4	$\sum \Delta h$ (mm)
1	272.292	2668.437	841.325	454.278	514.708	913.708	5664.748
2	272.318	2668.272	841.476	454.317	514.895	913.600	5664.878
3	272.372	2668.436	841.308	454.358	514.717	913.694	5665.885
4	272.325	2668.443	841.372	454.242	514.764	913.624	5664.769
5	272.358	2668.494	841.323	454.212	514.818	913.757	5664.963
6	272.478	2668.445	841.280	454.308	514.533	913.560	5664.605
7	272.297	2668.593	841.338	454.235	514.735	913.687	5664.884
8	272.482	2668.452	841.347	454.297	514.727	913.682	5664.985
9	272.342	2668.451	841.273	454.258	514.767	913.711	5664.801
10	272.318	2668.509	841.283	454.147	514.775	913.617	5664.649

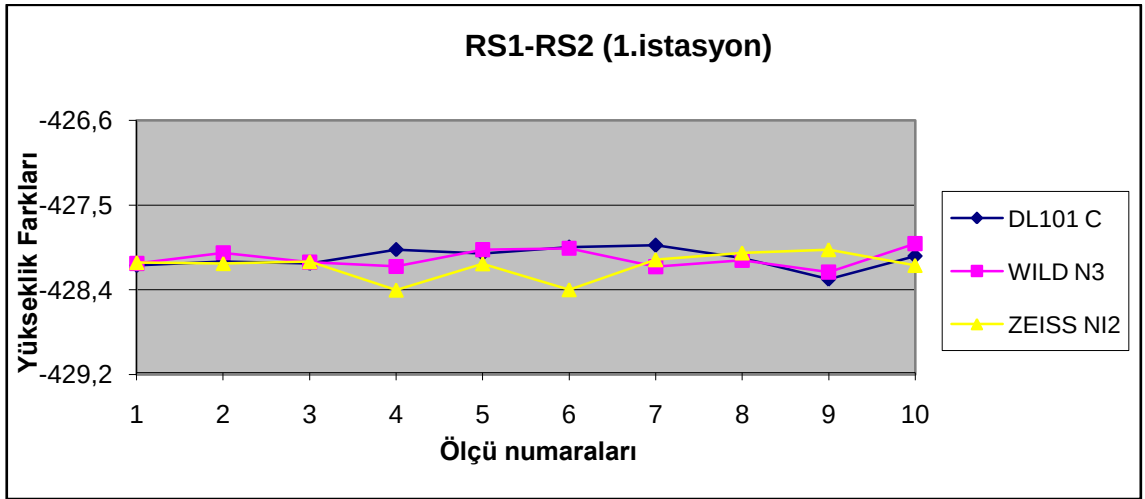
Tablo 3.13 RS4-RS5 kenarındaki yükseklik farkları

	Rs4-1	1-2	2-3	3-Rs5	$\sum \Delta h$ (mm)
1	1339.97	2276.38	2772.37	2362.55	8751.27
2	1339.98	2276.34	2772.38	2362.54	8751.25
3	1340.03	2276.33	2772.48	2362.57	8751.41
4	1340.04	2276.39	2772.44	2362.57	8751.43
5	1339.99	2276.34	2772.38	2362.57	8751.27
6	1339.98	2276.39	2772.38	2362.57	8751.32
7	1339.94	2276.38	2772.39	2362.54	8751.25
8	1339.99	2276.33	2772.38	2362.52	8751.23
9	1339.99	2276.39	2772.43	2362.59	8751.40
10	1340.07	2276.32	2772.39	2362.59	8751.36

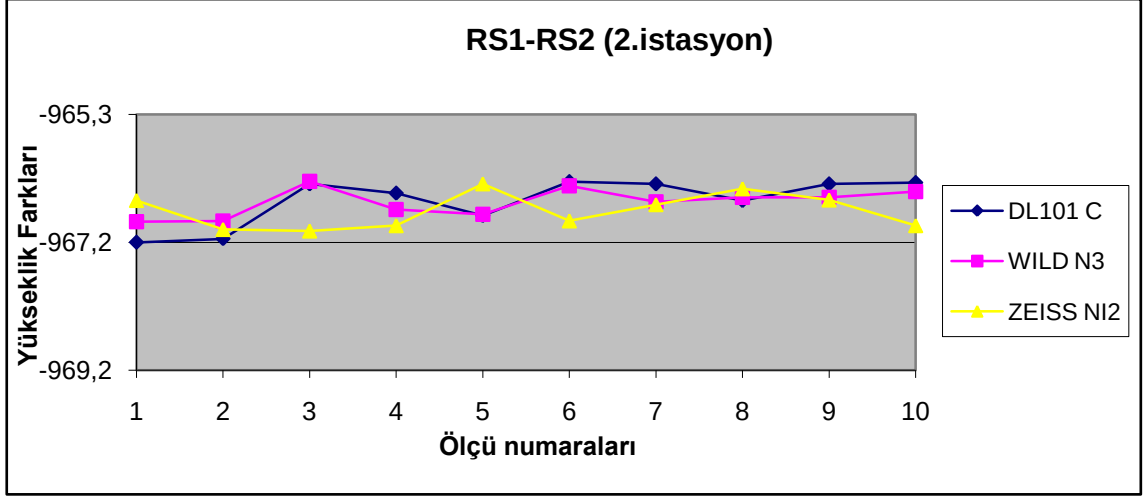
İstasyon noktalarında ve kenarlarda Topcon DL101 C , Wild N3 ve ZEISS NI2 nivoları ile yapılan nivelman ölçmeleri ile elde edilen yükseklik farkların birbirlerine göre değişimleri aşağıdaki şekillerden görülebilir (Şekil 3.5 ile şekil 3.26 arası).



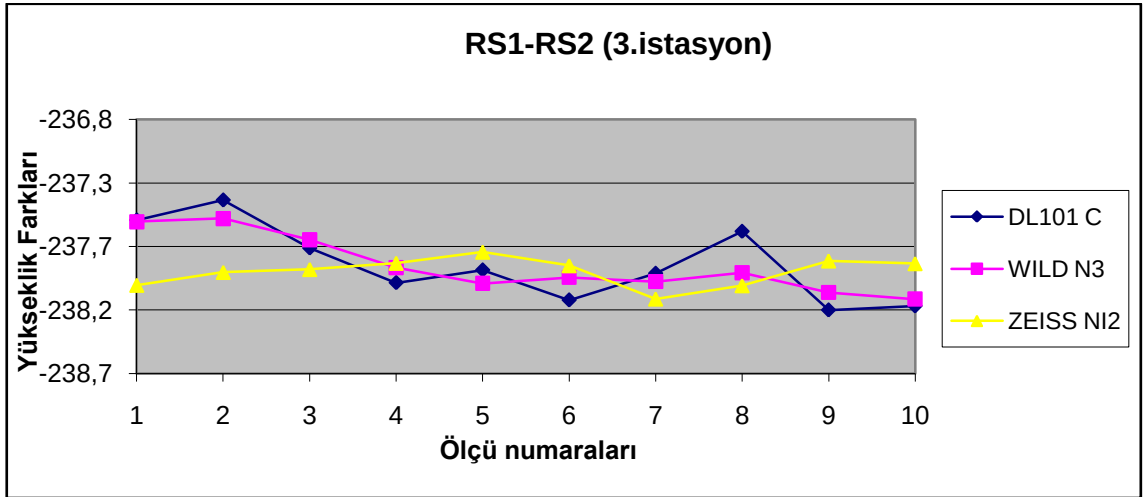
Şekil 3.5 RS1-RS2 kenarındaki yükseklik farklarının değişimi



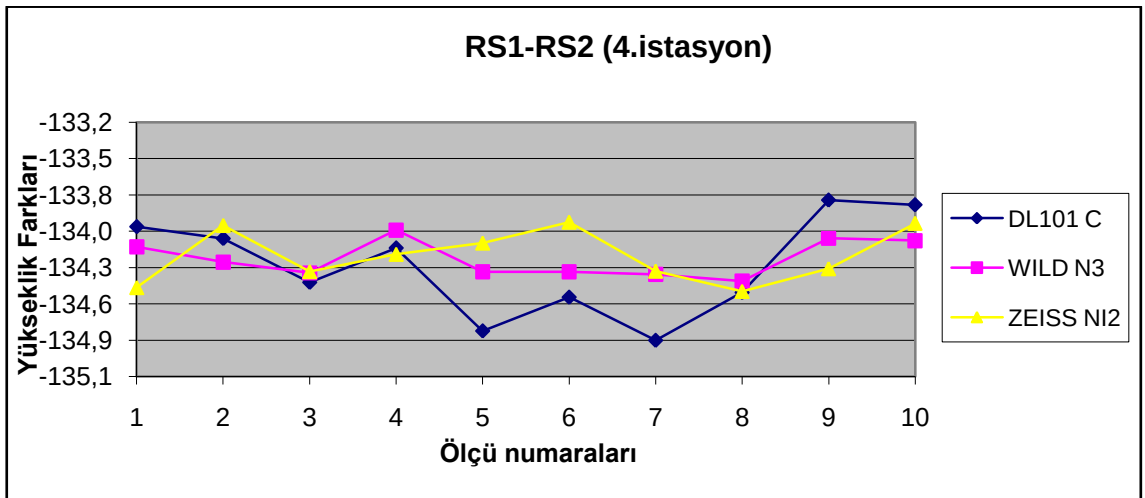
Şekil 3.6 RS1-RS2 kenarındaki 1. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının



Şekil 3.7 RS1-RS2 kenarındaki 2. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının

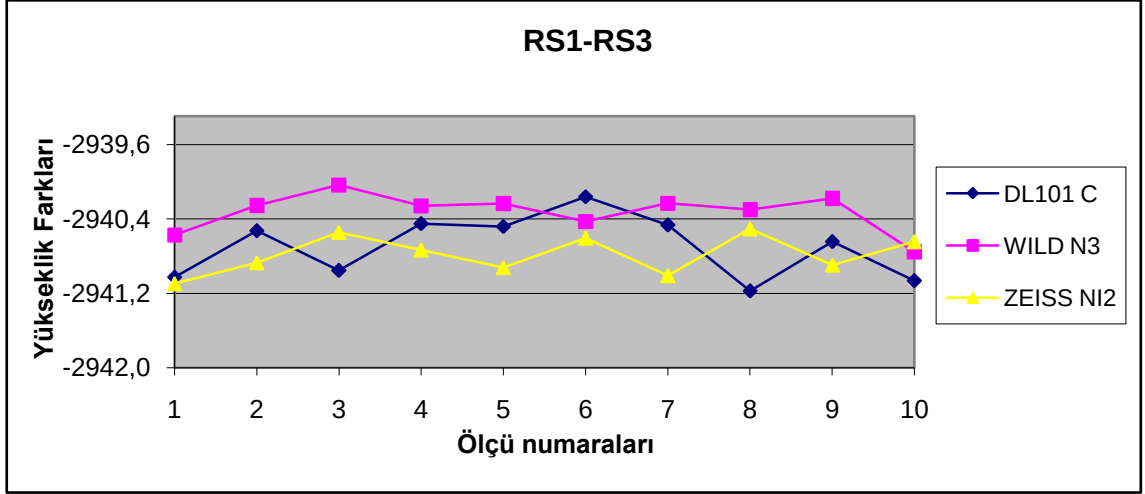


Şekil 3.8 RS1-RS2 kenarındaki 3. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının

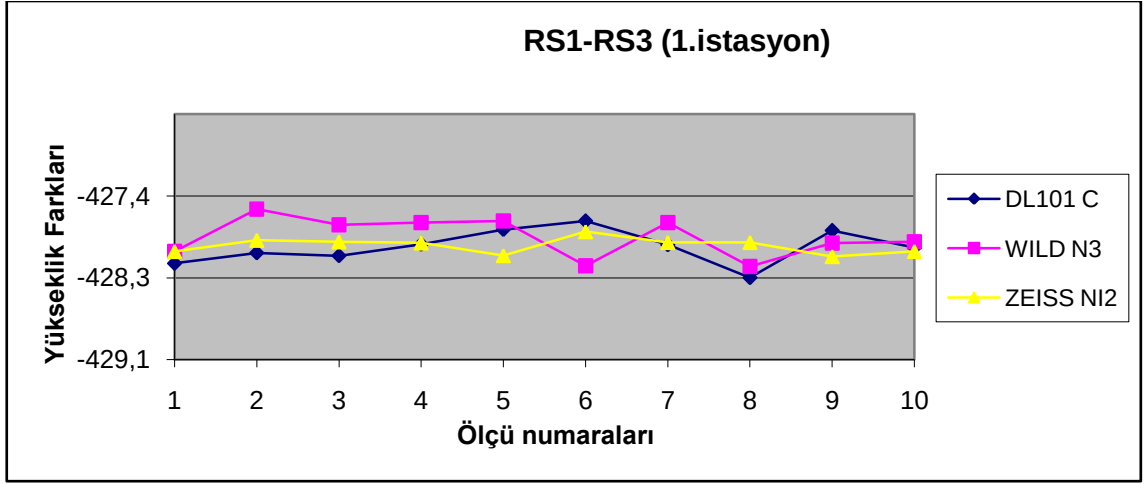


Şekil 3.9 RS1-RS2 kenarındaki 4. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının

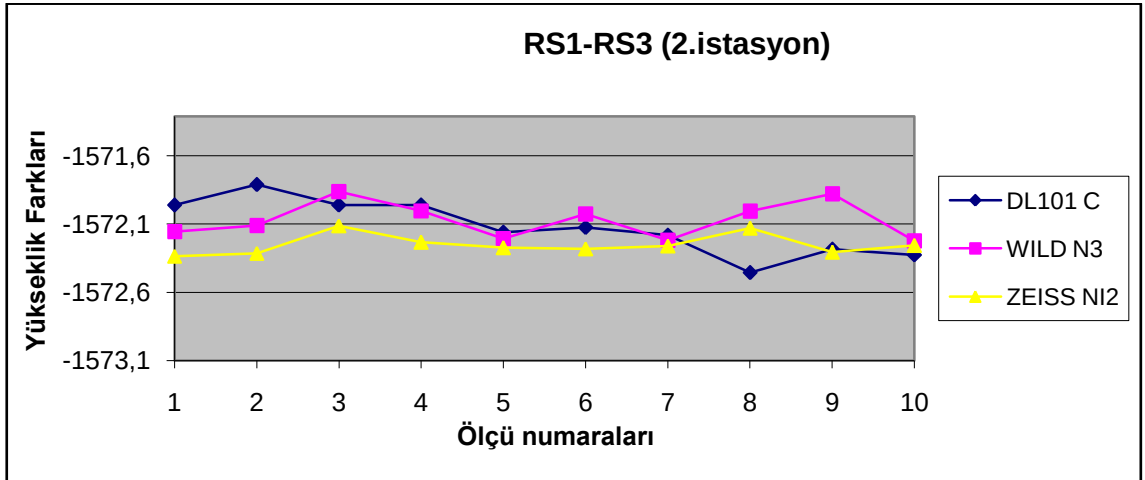
RS1-RS3 kenarı için değişim grafikleri;



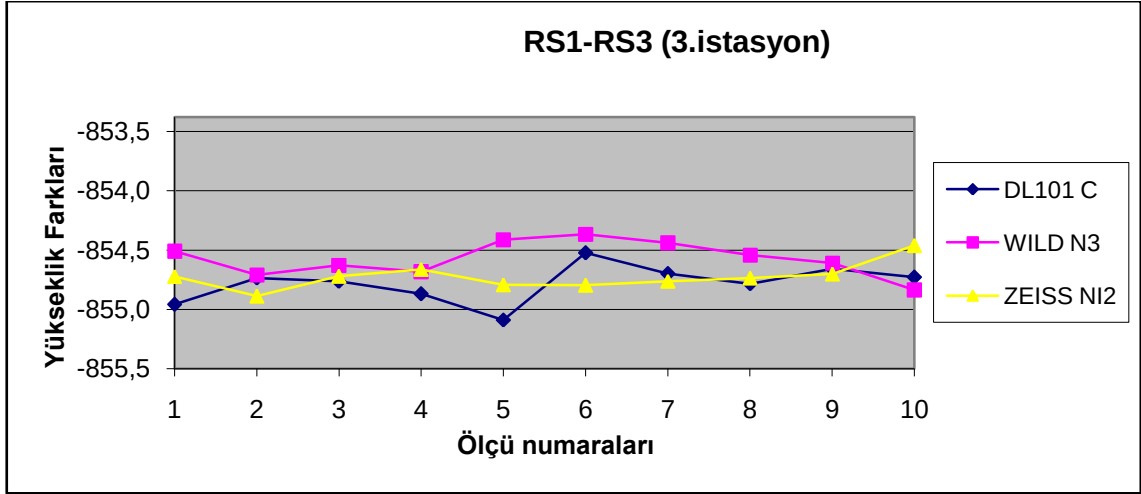
Şekil 3.10 RS1-RS3 kenarındaki yükseklik farklarının değişimi



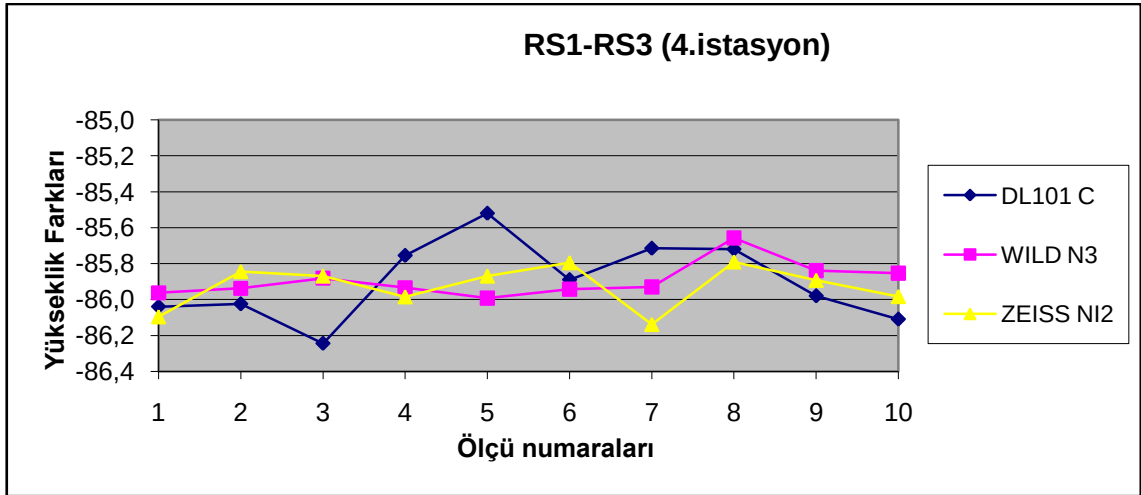
Şekil 3.11 RS1-RS3 kenarındaki 1. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının



Şekil 3.12 RS1-RS3 kenarındaki 2. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının

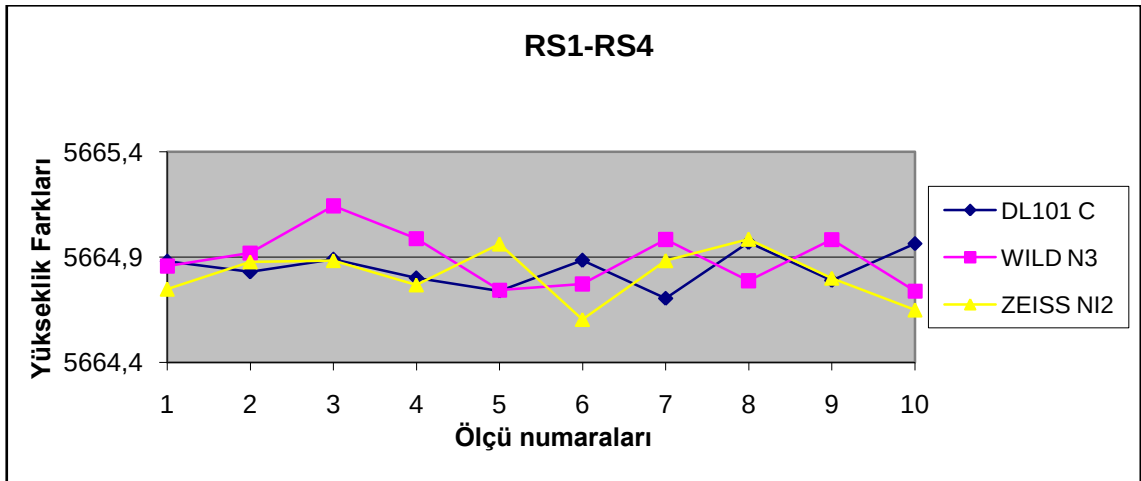


Şekil 3.13 RS1-RS3 kenarındaki 3. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının

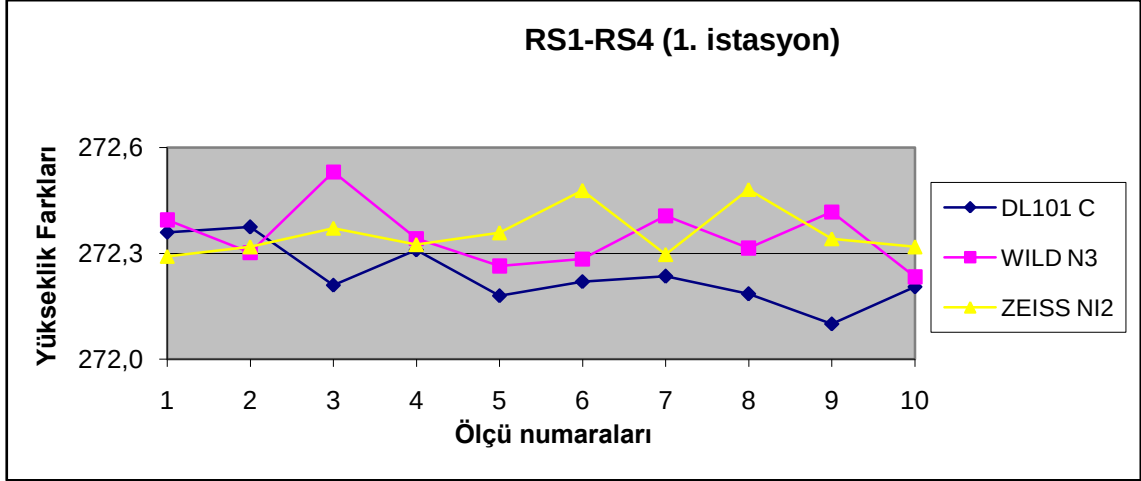


Şekil 3.14 RS1-RS3 kenarındaki 4. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının

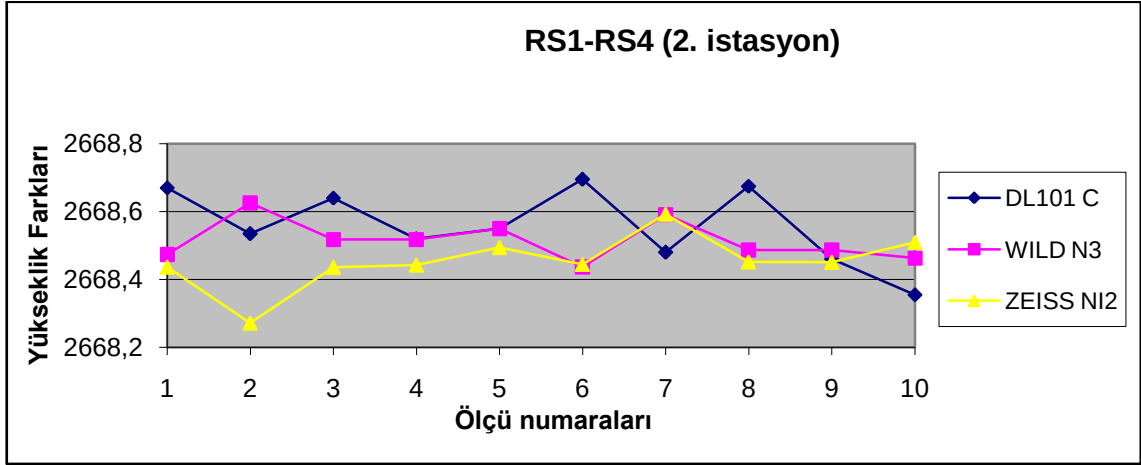
RS1-RS4 kenarı için değişim grafikleri;



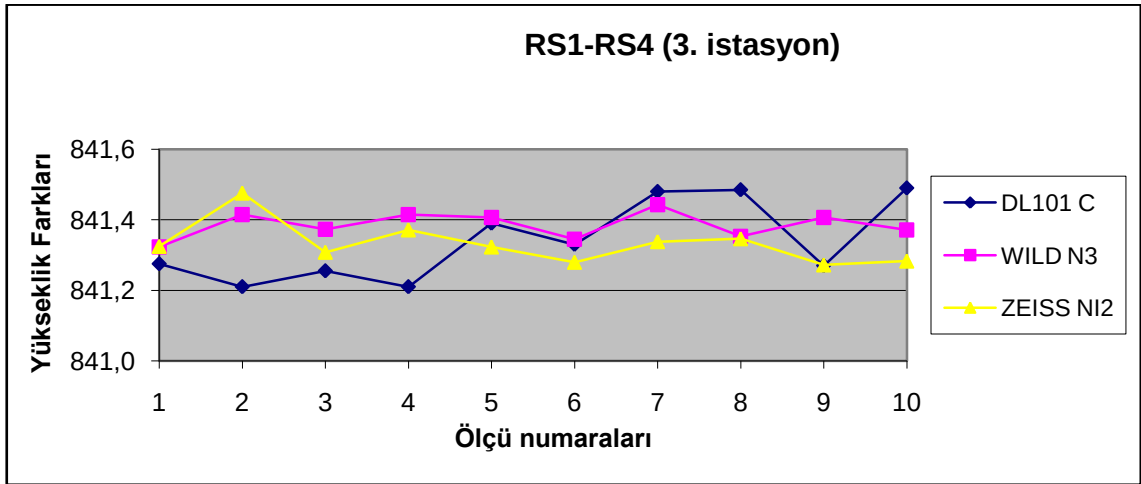
Şekil 3.15 RS1-RS4 kenarındaki yükseklik farklarının değişimi



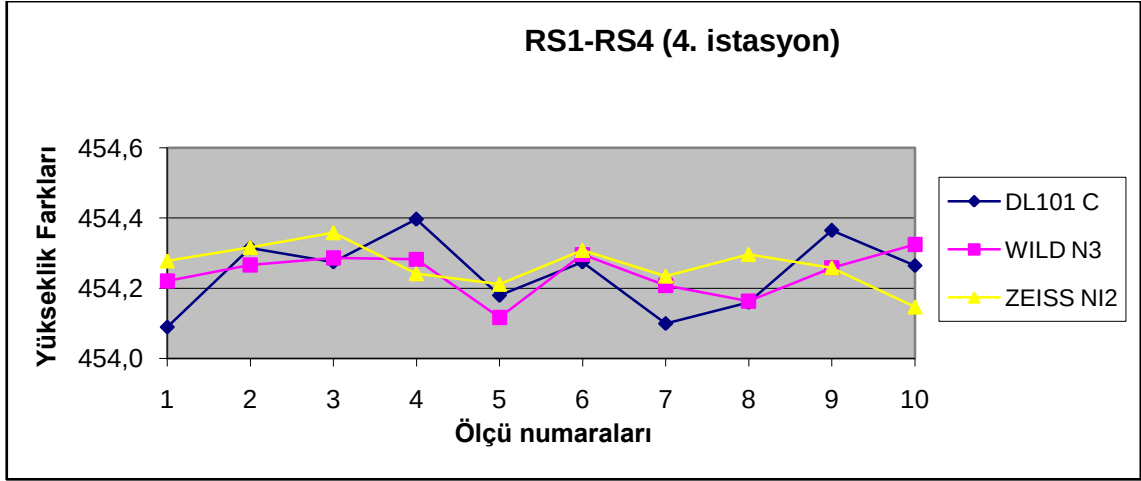
Şekil 3.16 RS1-RS4 kenarındaki 1. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının



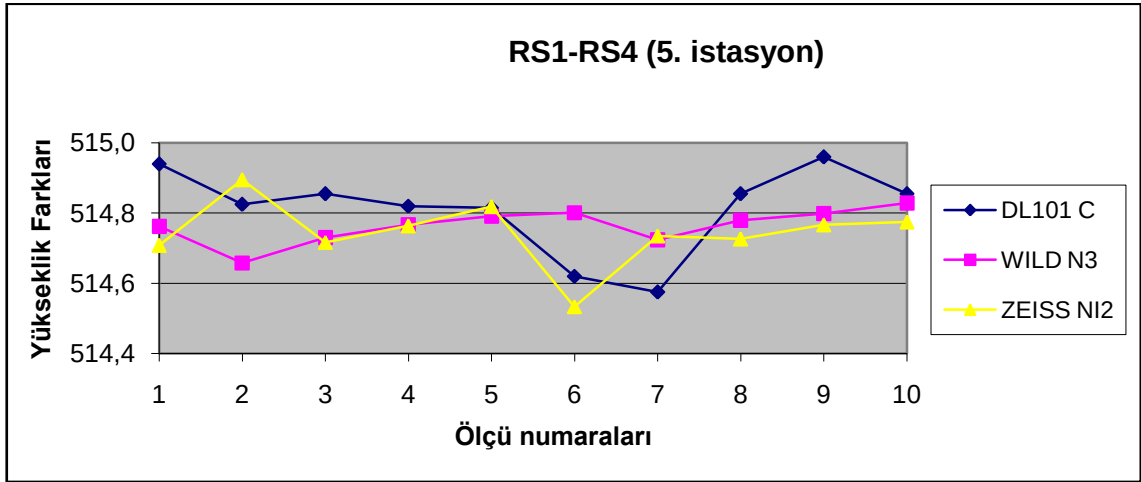
Şekil 3.17 RS1-RS4 kenarındaki 2. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının



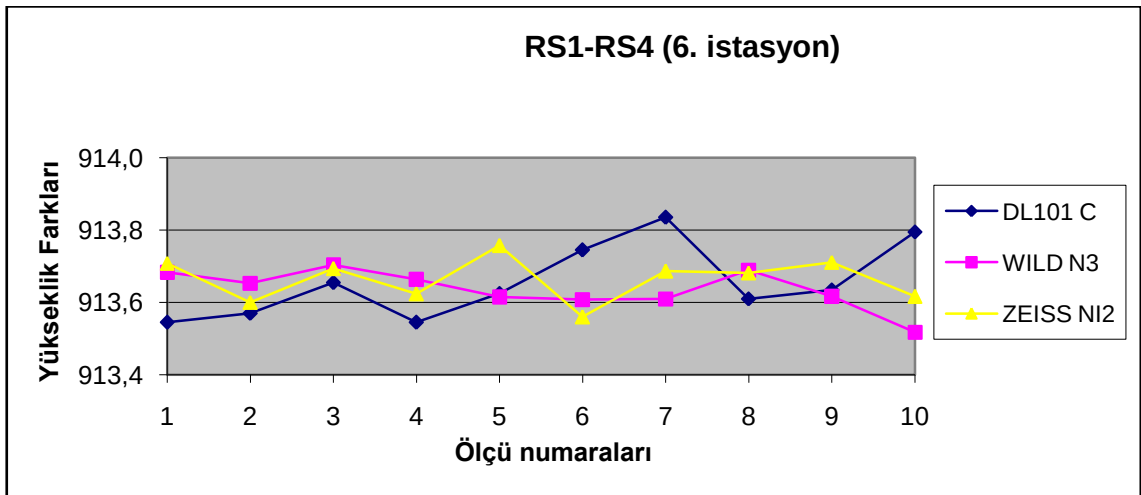
Şekil 3.18 RS1-RS4 kenarındaki 3. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının



Şekil 3.19 RS1-RS4 kenarındaki 4. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının

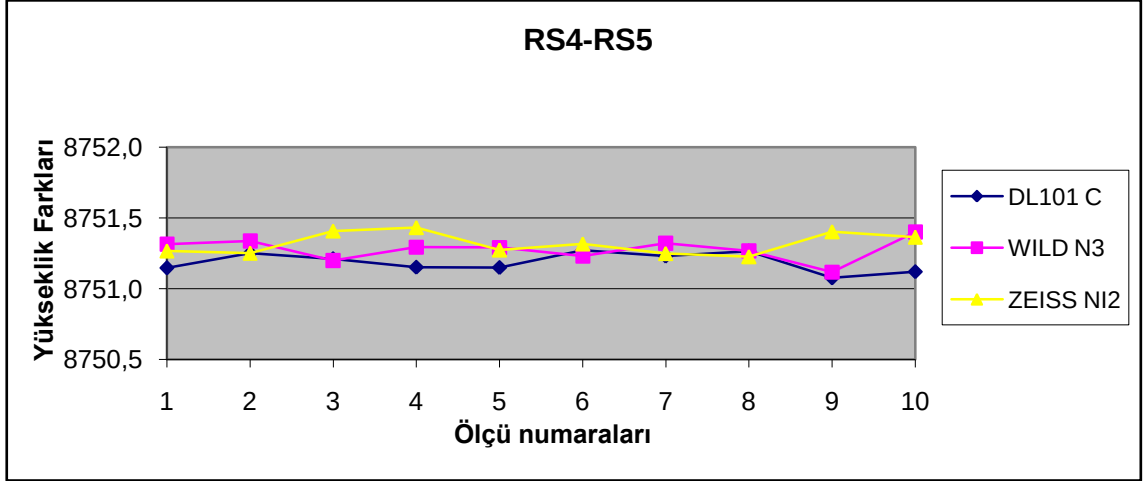


Şekil 3.20 RS1-RS4 kenarındaki 5. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının

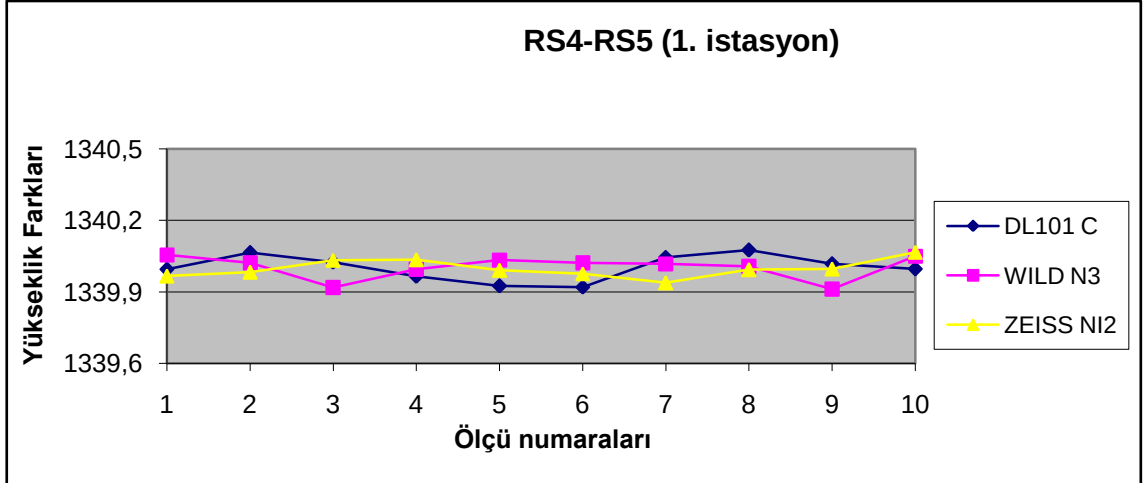


Şekil 3.21 RS1-RS4 kenarındaki 6. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının

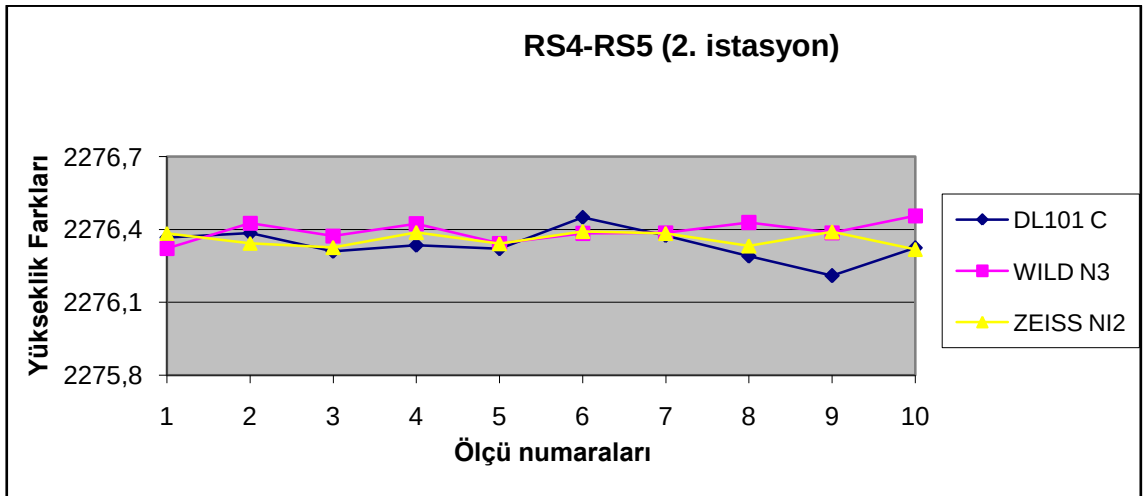
RS4-RS5 kenarı için değişim grafikleri;



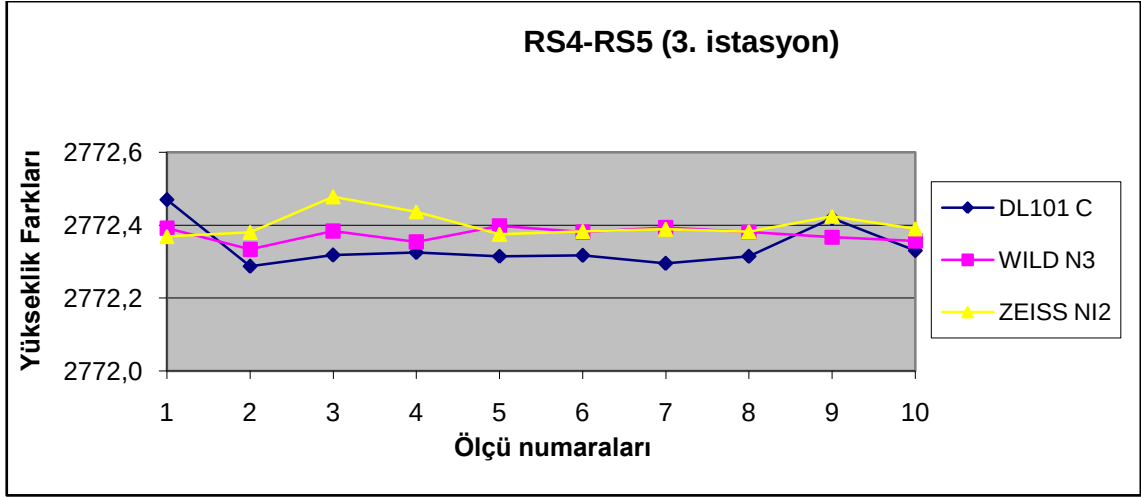
Şekil 3.22 RS4-RS5 kenarındaki yükseklik farklarının değişimi



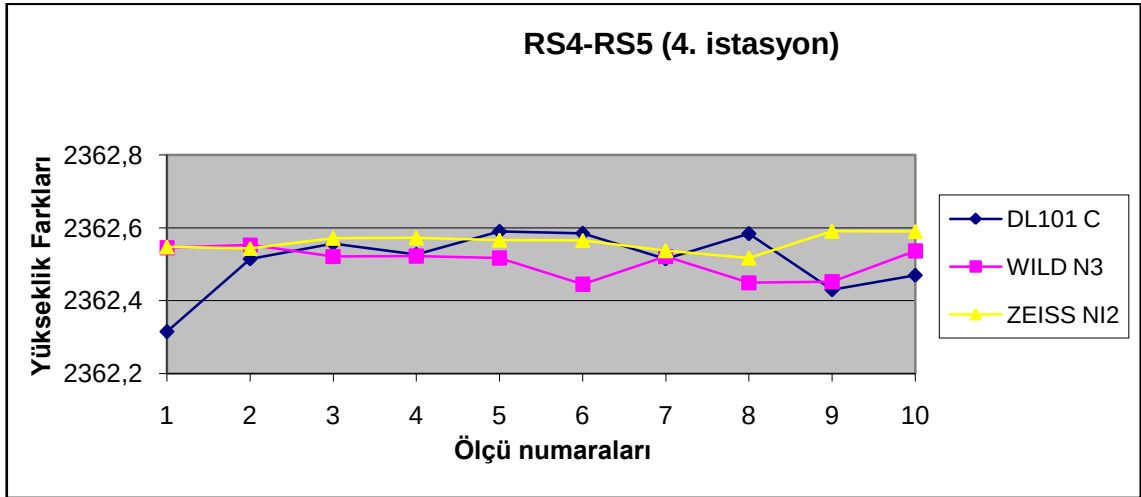
Şekil 3.23 RS4-RS5 kenarındaki 1. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının



Şekil 3.24 RS4-RS5 kenarındaki 2. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının



Şekil 3.25 RS4-RS5 kenarındaki 3. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının



Şekil 3.26 RS4-RS5 kenarındaki 4. İstasyon noktasındaki yükseklik farklarının

Topcon DL101 C, Wild N3 ve ZEISS NI2 nivoları ve donanımlarına ait nivelman ölçme hassasiyetlerinin belirlenebilmesi için, ölçümler sonucu elde edilen yükseklik farklarından her bir nivelman hattına ait karesel ortalama hatalar (K.O.H.)

$$\bar{X} = \frac{[\Delta h]}{10} \text{ (Kesin değer)}$$

$$V_i = \Delta h_i - \bar{X} \text{ (Hatalar)}$$

$$m_o = \mp \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \text{ (Karesel ortalama hata)}$$

bağıntıları ile hesaplandıktan sonra, dört nivelman hattına ait karesel ortalama hatalardan ağırlı ortalama hata;

$$\overline{m_o} = \frac{\sum p_i \cdot m_i}{\sum p_i}$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Her bir nivo için hesaplanan ağırlıklı karesel ortalama hatalar ve bunların karşılaştırılma sonuçları Tablo 3.14, Tablo 3.15 ve Tablo 3.16’da gösterilmiştir.

Tablo 3.14. Topcon DL 101C ve Wild N3 için Karesel ortalama hatalar ve karşılaştırılması

	DL 101 C				WILD N3		KARŞILAŞTIRMA	
HATLAR	UZUNLUK (m)	AĞIRLIK $P = 1/S_{km}$	ORT. YÜK. FARKI (mm)	K.O.H (mm)	ORT. YÜK. FARKI (mm)	K.O.H. (mm)	YÜK. FARKI (mm)	K.O.H. (mm)
1= RS1-RS2	338,13	2,957	-1766,81	0,312	-1766,80	0,225	-0,013	0,385
2= RS1-RS3	379,07	2,638	-2940,69	0,337	-2940,32	0,208	-0,371	0,396
3= RS1-RS4	445,88	2,243	5664,85	0,089	5664,89	0,104	-0,047	0,137
4= RS4-RS5	197,59	5,061	8751,19	0,067	8751,26	0,079	-0,076	0,104
TOPLAM	1360,67	12,899						
AĞIRLIKLI ORT.				0,182		0,143		

Tablo 3.15. Topcon DL 101C ve Zeiss NI2 için Karesel ortalama hatalar ve karşılaştırılması

	DL 101 C				ZEISS NI 2		KARŞILAŞTIRMA	
HATLAR	UZUNLUK (m)	AĞIRLIK $P = 1/S_{km}$	ORT. YÜK. FARKI (mm)	K.O.H (mm)	ORT. YÜK. FARK I (mm)	K.O.H (mm)	YÜK. FARK I (mm)	K.O.H (mm)
1= RS1-RS2	338,13	2,957	-1766,81	0,312	-1767,03	0,319	0,217	0,446
2= RS1-RS3	379,07	2,638	-2940,69	0,337	-2940,78	0,204	0,088	0,394
3= RS1-RS4	445,88	2,243	5664,85	0,089	5664,82	0,126	0,029	0,154
4= RS4-RS5	197,59	5,061	8751,19	0,067	8751,31	0,077	-0,126	0,102
TOPLAM	1360,67	12,899						
AĞIRLIKLI ORT.	340,17			0,182		0,167		

Tablo 3.15. Zeiss NI2 ve WILD N3 için Karesel ortalama hatalar ve karşılaştırılması

	ZEISS NI 2				WILD N3		KARŞILAŞTIRMA	
HATLAR	UZUNLUK (m)	AĞIRLIK $P = 1/S_{km}$	ORT. YÜK. FARKI (mm)	K.O.H (mm)	ORT. YÜK. FARK I (mm)	K.O.H (mm)	YÜK. FARKI (mm)	K.O.H (mm)
1= RS1-RS2	338,13	2,957	-1767,03	0,319	-1766,80	0,225	-0,230	0,390
2= RS1-RS3	379,07	2,638	-2940,78	0,204	-2940,32	0,208	-0,459	0,291
3= RS1-RS4	445,88	2,243	5664,82	0,126	5664,89	0,104	-0,076	0,163
4= RS4-RS5	197,59	5,061	8751,31	0,077	8751,26	0,079	0,050	0,110
TOPLAM	1360,67	12,899						
AĞIRLIKLI ORT.	340,17			0,167		0,143		

1 km'lik presizyonlu geometrik nivelman için karesel ortalama hatalar;

- Wild N3 ve donanımı ile ± 0.143 mm,
- Zeiss Ni2 ve donanımı ile ± 0.167 mm,
- Topcon DL101C ile ± 0.82 mm

Olarak hesaplanmıştır.

Her bir nivo ve donanımı için elde edilen karesel ortalama hatalar istatistiksel olarak F_{test} ile karşılaştırılmıştır. Test büyüklükleri, tablo değerleri ve test sonuçları Tablo 3.16'da verilmiştir. aşağıda verilmiştir.

$H_0 : E(m_1)=E(m_2)$ sıfır hipotezi

$F_{\text{test}} < F_{\text{tablo}}$ ise H_0 hipotezi kabul edilir.

$F_{\text{test}} > F_{\text{tablo}}$ ise H_0 hipotezi red edilir.

$$F_{\text{test}} = \frac{m_1^2}{m_2^2} \text{ (Test büyüklüğü)}$$

$$F_{\text{Tablo}} = F_{f_1, f_2, 1-\alpha} = F_{36, 36, 0.95} = 1,932$$

$$f_1 = f_2 = 36$$

Tablo 3.16 Test sonuçları

	DL101 C –WILD N3		DL101 C –ZESS NI 2		WILD N3 –ZESS NI 2	
K.O.H.'lar	± 0.182 mm	± 0.143 mm	± 0.182 mm	± 0.167 mm	± 0.143 mm	± 0.167 mm
F_{test}	1.62		1.188		1.364	
F_{tablo}	1.932		1.932		1.932	
Sonuç	$F_{\text{test}} \leq F_{\text{tablo}}$ <i>kabul</i>		$F_{\text{test}} \leq F_{\text{tablo}}$ <i>kabul</i>		$F_{\text{test}} \leq F_{\text{tablo}}$ <i>kabul</i>	

Üç farklı alet donanımı ile elde edilen ölçme hassasiyetlerinin aynı kabul edilip edilemeyeceği *Barlett testi* ile araştırılmıştır.

Ölçü gruplarına ait ortalama hatalar ve fazla ölçü sayısı ;

Aletler	S_i	f_i
DL 101 C	0,182	36
Wild N3	0,143	36
Zeiss Ni2	0,167	36

$H_0 : E(m_1)=E(m_2) = E(m_3)$ (Sıfır hipotezi)

$H_A : E(m_1) \neq E(m_2) \neq E(m_3)$ (Alternatif hipotez)

Barlett Testinde;

$$f = \sum_{i=1}^3 f_i = 108$$

Ağırlıklı ortalama hata;

$$S^2 = \frac{1}{f} \sum f_i m_i^2 = \frac{1}{108} [2.933] = 0.027154$$

Test büyüklüğü ;

$$C = 1 + \frac{1}{3(3-1)} [3(\frac{1}{36} - \frac{1}{108})] = 1.00926$$

$$B = \frac{1}{C} \{ f \ln(S^2) - \sum f_i \ln(m_i^2) \}$$

$$B = \frac{1}{C} \{ 108 * \ln(0.027154) - [36 * \ln(0.181^2) + 36 * \ln(0.143^2) + 36 * \ln(0.167^2)] \}$$

$$B = 2.074$$

$$\chi_{2,0.95}^2 = 5.991$$

$$B < \chi_{2,0.95}^2$$

olduğundan her üç alet ve donanımı ile elde edilen ortalama hataların aynı kabul edilebileceği söylenebilir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yükseklik belirleme yöntemlerinden presizyonlu geometrik nivelman tekniği, klasik nivolar ve teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak geliştirilen sayısal nivolar ve donanımları hakkında genel bir bilgiler verilmiştir. Ayrıca, söz konusu nivolar ve donanımların ölçme hassasiyetlerinin araştırılması amacıyla bir uygulama ait sonuçlar verilmiştir.

Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampus alanı içerisinde 5 tanesi duvar tesisi (RS) olmak üzere 14 tanesi de yer tesisi olmak üzere toplam 19 adet jeodezik noktadan oluşan bir nivelman test ağı oluşturulmuştur. Nivelman test ağındaki noktalar arasındaki yükseklik farkları, Wild N3 (Fenklaçlı) ve 2 adet 3 m'lik İnvar mirası, Zeiss Ni2 (otomatik) ve 2 adet 3 m'lik İnvar mirası ve Topcon DL 101C (sayısal) ve 2 adet 3 m'lik barkodlu İnvar mirası kullanılarak presizyonlu nivelman ölçmeleri yapılmıştır. Ölçmeler sırasında, geometrik nivelmanda ortaya çıkan model hatalarına karşın gerekli tüm önlemler alınmıştır. Ayrıca, mira okuma doğruluğunun artırılabilmesi için her bir mira okuması 3 kez yapılmış ve hesaplamalarda bunların ortalamaları kullanılmıştır. Nivelman ölçmelerinde kullanılan nivo ve donanımlarına ilişkin ölçme hassasiyetlerinin araştırılması amacıyla ölçüler ile ölçüler 5 gidiş, 5 dönüş olmak üzere toplam 10 kez tekrarlanmıştır. Ölçmeler sonucu elde edilen yükseklik farklarından her bir nivo ve donanımı için standart sapma hesaplanmıştır. 1 km'lik presizyonlu geometrik nivelman için; Wild N3 ve donanımı ile ± 0.143 mm, Zeiss Ni2 ve donanımı ile ± 0.167 mm, Topcon DL101C ile ± 0.182 mm'lik karesel ortalama hatalar elde edilmiştir. Elde edilen bu ölçme hassasiyetleri dikkate alındığında, en iyi sonuçlar Wild N3 nivosu ve donanımı elde edilmiştir. Ancak, elde edilen hassasiyetler istatistiksel olarak karşılaştırıldığında her üç nivo ve donanımı için elde edilen hassasiyetlerin eşit kabul edilebileceği sonucuna varılmıştır. Diğer yandan, gerek uygulama kolaylığı gerekse de üretim hızı karşılaştırıldığında sayısal nivoların diğer nivolarla göre bir çok avantajlara sahip olduğu söylenebilir. Bunlar; sayısal görüntü ve okuma kolaylığı, yüksek doğrulukla hızlı ve ekonomik ölçü yapma imkânı, miraya duyarlı yöneltme, mira bölümlerinin okunması ve otomatik veri kaydı, veri indirgemedi ve hesap işlerinde otomasyon, gerektiğinde sayısal nivonun klasik nivo aleti gibi kullanımı, kişi hatalarının önemli ölçüde giderilmesi ve üretim hızında önemli ölçüde artış sağlaması olarak sıralanabilir.

Sayısal nivolarla daha yüksek doğruluklu sonuçların elde edebilmek aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerekir. Bunlar;

- Kullanılan sayısal nivonun küresel düzeç eksen şartı, diğer nivolarda da olduğu gibi düzenli olarak kontrol edilmelidir.
- Aletin iç ve dış hatalarının giderilmesi için belirli sıklıkta kalibrasyonunun yapılmalıdır.
- Mira üzerindeki küresel düzeç sıklıkla kontrol edilmelidir.
- Miranın sık sık kalibrasyonu yapılmalıdır.
- Ölçüm sırasında miranın kurulma yeri olarak sarsıntının az olacağı ve yeterli ışık alabileceği yerler seçilmelidir.
- Nivonun netleştirmesi yeterli doğrulukta yapılmalıdır.
- Nivocu, nivonun gözleme eksenine göre 40-50cm alttan veya üstten miranın örtülü olup olmadığını kontrol etmelidir.
- Mira üzerinde gölgelenme varsa gözleme uzaklığı 30m'yi geçmemelidir.
- Gözleme uzaklıkları 40-45m'yi geçmemeli, uygun olmayan hava koşullarında 30m'yi geçmemelidir.
- Şehir içi ölçmelerinde araçların üzerinden ölçme yapılmamalıdır. Zorunluluk hallerinde, gözleme ışını engelin 50cm üstünden geçmelidir.
- Aydınlatmanın yetersiz olduğu durumlarda aydınlatma amacıyla halojen lamba kullanılmalıdır.

Sonuç olarak, günümüzde, günümüzde yer kabuğunun düşey hareketlerinin belirlenmesi $\pm(0.1-0.5)$ mm/yıl, atom santrallerinin yerlerinin belirlenmesi ve önemli makine ve parçalarının düşey aplikasyonu (0.1 – 0.2) mm, büyük köprü, baraj ve modern yüksek yapıların bakım ve kontrol ölçmeleri $\pm(0.2 - 0.5)$ mm, I. ve II. derece ülke nivelman ağlarının ölçülmesi gibi bir çok mühendislik projelerinde nokta yüksekliklerinin veya noktalar arası yükseklik farklarının çok yüksek bir doğrulukta belirlenebilmesi için 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

- Banger,G., 1981, Hassas Nivelmanda Hata Kaynakları, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi* Cilt:31 No:2, S:194-208, İstanbul
- Banger,G., Şen,K., 1994, Sayısal Nivolar, *K.T.Ü. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Araştırma raporları*, yayın no:1994/8, İstanbul
- Baykal, O. , 1988, Presizyonlu Nivelman Tekniği, *İ.T.Ü. Fen Bil. Enst. Ders notları*, İSTANBUL
- Ceylan, A., Çatal, H.İ.; 2007, Sayısal Nivolar ve Hata Kaynakları, 3. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 24-26 Ekim 2007, Konya
- Ceylan, A., 1993, Presizyonlu Nivelman Yerine Trigonometrik Nivelman Yönteminin Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma, Dr. Tezi, *S.Ü. Fen Bil.Enst.*, Konya
- Ceylan, A., 1988, Presizyonlu Nivelmanda Önemli Hata Kaynakları Üzerine Bir Çalışma, Y.lisans Tezi, *S.Ü.Fen Bil.Enst.*, Konya
- Ekici, S.K., 2008, Sayısal Presizyonlu Nivolar ve Sayısal Presizyonlu Nivelman Tekniğinin Doğruluğu, *İ.T.Ü. Fen Bil.Enst.*
- Erkaya, H. , 2006, *Y.T.Ü İnşaat Fakültesi*, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Yükseklik Ölçmeleri, İstanbul
- Gürdal, M.A., 2004, Sayısal Nivoların Teknolojisi ve Tarihsel Gelişimi, *Harita Dergisi*, 131, S:20-33, Ankara
- Samsun, N., 2000, Presizyonlu Nivelman ile Yükseklik Belirleme, Tasarım Projesi, *İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi*, İstanbul
- Uzel, T. ve Gülal, E., 1997. Sayısal Nivolar, *Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi*, 83, S:121-126, Ankara
- Yanar, R. , 1997, Sayısal Nivolar , *Harita Dergisi* , 117 , S:29-41, Ankara
- Ingensand, H.,2003, Performances and Experiences in Terrestrial Laserscanning In: Proceedings of the 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Nisan 2003, Zurich
- Ingensand, H., 1999, The Evolution of Digital Levelling Techniques-Limitations and New Solutions, Mart 1999, Sweden
- Rüeger, J.M., Brunner,F.K., 2000, On System Calibration and Type Testing of Digital Levels, 125/4, 120-129
- Rüeger, J.M., Lok,H.C.,2005, Evaluation of the Cyclic Error in Topcon DL 101C Precision Digital Levels

Takalo, M., 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.

Takalo M., Rouhiainen P., Lehmuskoski, P., Saaranen, V., 2001, On System Calibration of ZEISS DINI 12 and WILD N3 , *Finnish Geodetic Institute , Korea*

www.leica.com,. Leica Firması Web Adresi (18.05.2012)

www.sokkia.com, Sokkia Firması Web Adresi, (18.05.2012).

www.topcon.com, Topcon Firması Web Adresi, (18.05.2012).

www.trimble.com, Trimble Firması Web Adresi, (18.05.2012)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Süleyman Erden ŞİRECİ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA-09.11.1981
Telefon : 0 536 740 45 55
Faks :
e-mail : erdensireci@hotmail.com

EĞİTİM

Derece

Lise	: Gazi Lisesi, Meram, KONYA	1998
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2003
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2012

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2003	TAŞELİ Harita	Mühendis
2004	OSTEM Harita	Mühendis
2005	EKİNOKS Harita	Mühendis
2012	KOS BÖL. MÜD.	Mühendis