



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



VADİ GEÇİŞ NİVELMANIN DOĞRULUK
ARAŞTIRMASI

Mehmet Can ÖĞER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Can ÖĞER tarafından hazırlanan “Vadi Geçiş Nivelmanın Doğruluk Araştırması” adlı tez çalışması 31/05/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof.Dr. Ayhan CEYLAN

.....

Danışman

Prof.Dr. Ayhan CEYLAN

.....

Üye

Doç.Dr. Fuat BAŞÇİFTÇİ

.....

Üye

Doç.Dr. Sercan BÜLBÜL

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü 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.

Mehmet Can ÖĞER

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VADİ GEÇİŞ NİVELMANIN DOĞRULUK ARAŞTIRMASI

Mehmet Can ÖĞER

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ayhan CEYLAN

2024, 72 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Ayhan CEYLAN
Doç. Dr. Fuat BAŞÇİFTÇİ
Doç. Dr. Sercan BÜLBÜL**

Günümüz uygulamalarında nokta yükseklikleri veya yükseklik farkları Geometrik, Trigonometrik ve GNSS nivelman teknikleri ile belirlenebilmektedir. Farklı arazi şartlarında nivelman tekniklerinin birbirlerine göre bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Bu tez çalışmasında geometrik nivelman tekniğinin özel bir uygulaması olan vadi geçiş nivelmanı ele alındı. Bilindiği üzere geometrik nivelman tekniği özellikle geniş yataklı vadilerde kısa gözleme uzunlukları nedeniyle uygulaması zaman alıcı, pahalı, zor ve birçok model hatalarına açık bir yöntemdir. Bu nedenle vadi geçişlerindeki yükseklik farklarının belirlenmesinde geometrik nivelmanın dezavantajlarını minimuma indirebilmek amacıyla 1960 yılında Carl Zeiss Oberkochen firması tarafından vadi geçiş nivelmanı donanımı geliştirilmiştir. Bu donanım, iki adet Ni2 nivo ve bu nivoların objektifleri önüne takılan ve bu sayede kolimasyon değerleri ile alt ve üst levhalardaki eğim açılarını ölçmeye yarayan bir paralel cam ve mikrometreden oluşmaktadır. Vadi geçiş nivelmanında yükseklik farkları özel ölçme modeli uygulanarak eş zamanlı ve karşılıklı olarak belirlenmektedir. Bu çalışmada seçilen iki uygulama alanında vadi geçiş nivelmanı, geometrik nivelman, dış merkezli trigonometrik nivelman ve GNSS nivelman tekniği ile ölçüler yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Uygulama alanı-1’de vadi geçiş nivelmanı, geometrik nivelman ve karşılıklı, eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelman ve GNSS nivelman tekniği elde edilen yükseklik farkları sırasıyla $\Delta H_{VG}=0.04285m$, $\Delta H_{GN}=0.04535m$, $\Delta H_{TN}=0.04366m$, $\Delta H_{GNS}=0.04428m$ olarak belirlenmiştir. Uygulama alanı-2’de benzer şekilde yükseklik farkları sırasıyla $\Delta H_{VG}=0.23540m$, $\Delta H_{GN}=0.24193m$, $\Delta H_{TN}=0.24629m$, $\Delta H_{GNS}=0.24171m$ olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre özellikle vadi geçişleri ve su geçişleri gibi zorlu arazi şartlarında vadi geçiş nivelmanı tekniğinin uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geometrik nivelman, GNSS nivelmanı, Trigonometrik Nivelman, Vadi Geçiş Nivelmanı,

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION of ACCURACY VALLEY CROSSING LEVELING

Mehmet Can ÖĞER

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatic Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Ayhan CEYLAN

2024, 72 Pages

Jury

**Prof. Dr. Ayhan CEYLAN
Doç. Dr. Fuat BAŞÇİFTÇİ
Doç. Dr. Sercan BÜLBÜL**

In contemporary practices, point elevations or height differences can be determined using Geometric, Trigonometric, and GNSS leveling techniques. Different terrain conditions present various advantages and disadvantages of leveling techniques relative to each other. This thesis study focused on valley pass leveling, which is a specific application of geometric leveling technique. As it is known, the geometric leveling technique, particularly in wide-bedded valleys, is time-consuming, expensive, challenging, and susceptible to many modeling errors due to short observation lengths. Therefore, to minimize the disadvantages of geometric leveling in determining height differences in valley crossings, valley pass leveling equipment was developed by the Carl Zeiss Oberkochen company in 1960. This equipment consists of two Ni2 levels and a parallel glass and micrometer attached to the objectives of these levels, enabling the measurement of slope angles on lower and upper plates based on collimation values. In valley pass leveling, height differences are determined simultaneously and reciprocally using a special measurement model. In this study, measurements were taken in two selected application areas using valley traverse leveling, geometric leveling, eccentric trigonometric leveling, and GNSS leveling techniques, and the results obtained were compared. As a result, in application area-1, the height differences obtained using valley traverse leveling, geometric leveling, reciprocal simultaneous eccentric trigonometric leveling, and GNSS leveling techniques were determined as $\Delta H_{VG}=0.04285\text{m}$, $\Delta H_{GN}=0.04535\text{m}$, $\Delta H_{TN}=0.04366\text{m}$, and $\Delta H_{GNS}=0.04428\text{m}$, respectively. Similarly, in application area-2, the height differences were determined as $\Delta H_{VG}=0.23540\text{m}$, $\Delta H_{GN}=0.24193\text{m}$, $\Delta H_{TN}=0.24629\text{m}$, and $\Delta H_{GNS}=0.24171\text{m}$, respectively. Based on these data, it was concluded that the valley traverse leveling technique is particularly applicable under challenging terrain conditions such as valley crossings and water crossings.

Keywords: Geometric leveling, GNSS leveling, Trigonometric leveling, Valley pass leveling

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması ile yükseklik ölçümü konusunda Çift Aletle Vadi Geçiş Nivelmanı Tekniğini öğrenmiş olmanın memnuniyetimi bildirmek isterim. Lisans ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca engin bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen ve bu tezin hazırlanması aşamasında rehberlik yaparak ufkumu açan Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ayhan CEYLAN'a teşekkür eder, saygı ve şükranlarımı sunarım. Çalışmamın uygulama safhasında eş zamanlı karşılıklı ölçmelerin yapımında destek sağlayarak yanımda olan arkadaşlarım Ahmet KIRDIM'a yapmış olduğu yardımlardan dolayı çok teşekkür ederim. Çalışmamın GNSS nivelman tekniği ile ölçüm esnasında ve çözümleme aşamasında destek sağlayan Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç. Dr. Sercan BÜLBÜL'e yapmış olduğu yardımlardan dolayı çok teşekkür ederim. Bu tezin ortaya çıkış sürecinde, beni daima motive eden ve desteğini hiç esirgemeyen arkadaşım Öğr. Gör. Dr. Ahmet AKKOCA 'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Hayat boyu olduğu gibi eğitim ve öğretim hayatımda her zaman desteklerini esirgemeyerek yanımda olan aileme, eşime ve çocuklarıma sonsuz teşekkür ederim.

Mehmet Can ÖĞER
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	1
ABSTRACT.....	2
ÖNSÖZ	3
İÇİNDEKİLER	4
SİMGELER VE KISALTMALAR	6
1. GİRİŞ	8
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	10
3.YÜKSEKLİK BELİRLEMELERİ	13
3.1. Yükseklik Sistemleri.....	13
3.1.1. Ortometrik yükseklik sistemi.....	13
3.1.2. Elipsoidal yükseklik sistemi	14
3.1.3. Ortometrik yükseklik ile elipsoidal yükseklik arasındaki bağlantı.....	14
3.2. Yükseklik Belirleme Yöntemleri	15
3.2.1. Geometrik nivelman	16
3.2.2. Vadi geçiş nivelmanı	19
3.2.2.1. Vadi geçiş nivelmanında ölçme ve hesap	21
3.2.2.2 Vadi geçiş nivelmanında doğruluk araştırması.....	29
3.2.3. Trigonometrik nivelman	31
3.2.3.1 Karşılıklı ve eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelman	31
3.2.3.2. Karşılıklı, Dış Merkezli, Eş Zamanlı Trigonometrik Nivelmanda Doğruluk Analizi.....	33
3.2.4. GNSS Nivelman	33
3.2.5. Barometrik nivelman	35
3.2.6. Hidrostatik nivelman.....	35
4. UYGULAMA	37
4.1. Uygulama Alanları.....	37
4.2. Nokta yerlerinin Seçimi	38
4.3. Vadi Geçiş Nivelmanı.....	40
4.3.1. Vadi geçiş nivelmanında kullanılan alet donanımı	41
4.3.2. Vadi geçiş nivelmanı ölçmelerinde hesap çizelgesinin doldurulması	43
4.4. Geometrik Nivelman Tekniği ile Yükseklik Farkı Belirlenmesi	44
4.4.1. Geometrik nivelman donanımı	45
4.4.2. Geometrik nivelman ölçme ve hesapların yapılması	45
4.5. Karşılıklı ve Eş Zamanlı Dış Merkezli Trigonometrik Nivelman Tekniği ile Yükseklik Farklarının Belirlenmesi.....	46
4.5.1. Karşılıklı ve eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelmanda alet donanımı	47

4.5.2. Karşılıklı ve eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelman tekniğinde ölçü ve hesapların yapılması.....	47
4.6. GNSS Nivelman ile Yükseklik Farkının Belirlenmesi	48
4.6.1. GNSS ile ölçüde alet donanımı.....	48
4.6.2. Statik ölçü yöntemi	49
4.6.3. Klasik RTK ölçü yöntemi	49
4.6.4. Ağ-RTK (CORS-TR) Ölçü Yöntemi.....	50
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	52
5.1. Uygulama Alanı-1 Sonuçları	52
5.1.1. Uygulama Alanı 1’de Geometrik Nivelman Sonuçları.....	52
5.1.2. Uygulama Alanı 1’de Vadi Geçiş Nivelman Sonuçları.....	52
5.1.3. Uygulama Alanı 1’de karşılıklı ve eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelman sonuçları	55
5.1.4. Uygulama alanı 1’de GNSS nivelman sonuçları	58
5.2. Uygulama Alanı-2 Sonuçları	59
5.2.1. Uygulama Alanı-2’de Geometrik Nivelman Sonuçları	59
5.2.2. Uygulama Alanı 2’de Vadi Geçiş Nivelman Sonuçları.....	59
5.2.3. Uygulama Alanı 2’de karşılıklı eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelman sonuçları	62
5.2.4. Uygulama Alanı 2’de GNSS nivelman sonuçları	65
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	:	Yüzde
[]	:	Toplam
<	:	Küçüktür
>	:	Büyüktür
∂	:	Düzeltilme Değeri
$\int$	:	İntegral
a	:	Yatay Aç
A1	:	Uygulama Alanı 1’de 1.Sabit Nokta
A2	:	Uygulama Alanı 1’de 2.Sabit Nokta
b	:	Alt ve Üst Hedef Levhaları Arasındaki Uzunluk
B	:	Basınç
C	:	Deniz Yüzeyinden Olan Yükseklik
d _a	:	Alt Hedef Levhası İle Sabit Nokta Arası Yükseklik
d _b	:	Alt Hedef Levhası İle Sabit Nokta Arası Yükseklik
dh'	:	Düşey Açların Merkeze Dönüştürülmüş Değeri
dh	:	Düzeltilme
dn	:	Diferansiyel Geometrik Yükseklik Farkıdır
ds	:	Hedef Uzunlukları Farkı
E1	:	Uygulama Alanı 2’de 1.Sabit Nokta
E2	:	Uygulama Alanı 2’de 2.Sabit Nokta
g	:	Geri Okuma
g _s	:	Grad
g	:	Yeryüzünde Ölçülen Gerçek Gravite
h	:	Elipsoid Yüksekliği
H	:	Ortometrik Yükseklik
h ₁	:	Kamasız Aletin Gözlem Ekseni İle Alt Levha Arasındaki Yükseklik
h ₂	:	Kamalı Aletin Gözlem Ekseni İle Alt Levha Arasındaki Yükseklik
H _r	:	Gözlem Ekseni İle Sabit Nokta Arası Yükseklik
H _v	:	Gözlem Ekseni İle Alt Hedef Levhası Arası Yükseklik
i	:	İleri Okuma
M	:	İki Eğim Farkının Ortalama Hatası
N	:	Jeoid Yüksekliği
n	:	Kolimasyon Değeri
o	:	Üst Levha Ortalama Eğim Değeri
S	:	Hedef Uzunluğu
S'	:	Eğik Mesafe
t	:	Sıcaklık
u	:	Alt Levha Ortalama Eğim Değeri
Z	:	Düşey Açlar
ΔH	:	Yükseklik Farkı
σ	:	Karşılıklı Trigonometrik Nivelmanın Varyansı

Kısaltmalar

BEIDOU	:	BeiDou Navigation Satellite System
C/A Code	:	Coarse/Acquisition Code
CORS	:	Continuously Operating Reference Stations
Cos	:	Kosinüs
DGNSS	:	Diferansiyel Global Navigation Satellite Systems
EGNOS	:	European Geostationary Navigation Overlay Service
GALILEO	:	European Global Navigation Satellite
GAMIT	:	GNSS at MIT
GBAS	:	Ground-Based Augmentation Systems
GIIG	:	Geri-I, İleri-I, İleri-II, Geri-II Okuma Şekli
GLONASS	:	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	:	Global Navigation Satellite Systems
GPS	:	Global Positioning System
km	:	Kilometre
m	:	Metre
Mb	:	Milibar
mm	:	Milimetre
P-Code	:	Precision Code
PPM	:	Parts Per Million
RTK	:	Real-Time Kinematic
SBAS	:	Satellite-Based Augmentation System
sin	:	Sinüs
sn	:	Saniye
tan	:	Tanjant
TR	:	Türkiye
TRANSIT	:	Navy Navigation Satellite System
TUSAGA	:	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı
WAAS	:	Wide-Area Augmentation Systems
WGS84	:	World Geodetic System 84

1. GİRİŞ

Yükseklik ölçmeleri (Nivelman) fiziksel jeodezinin bir dalıdır ve yeryüzünde belirlenen noktaların yükseklik ve yükseklik farklarının ölçülmesi tekniğidir. Yükseklik ölçmeleri ülke nivelman ağlarının kurulmasında, baraj, köprü, viyadük vb. büyük mühendislik yapılarında deformasyon izlemelerinde, karayolu, demiryolu, kanal vb. mühendislik uygulamalarında, yerkabuğu düşey hareketlerinin izlenmesinde, düşey aplikasyon uygulamalarında, plankote ve topografik ölçmelerde ve bilimsel merakı gidermeye yönelik projelerde nokta yüksekliklerinin veya noktalar arası yükseklik farklarının belirlenmesi işlemi harita mühendisliğinin önemli misyonlarından birisidir (Ceylan, 2009). Sayılan bu tür ihtiyaçlar dolayısıyla yükseklik farklarının belirlenmesi için tarih boyu birçok yükseklik ölçüm metodu geliştirilmiştir. Öyle ki; yükseklik farkları uygulamada kullanılan donanım ve ölçme modellerine göre geometrik nivelman, trigonometrik nivelman, barometrik nivelman, küresel konum belirleme sistemi (GNSS; Global Navigation Satellite Systems) nivelmanı ve hidro-statik nivelman gibi çeşitli teknikler ile belirlenmektedir (Erkaya, 2006; Herbert ve Olatunji, 2021). Günümüzde birçok nivelman ölçüm tekniği bulunsa da tarihsel olarak ilk nivelman tekniği hassas nivelman tekniği olup bu yöntem bedenen yoğun çaba gerektiren prosedürleri içeriyordu. İskandinav ülkelerinde bu yöntemi teknolojiyle bütünleşik şekilde gerçekleştirecek çareler arandı ve ilk olarak Doğu Almanya'da bulunan Teknik Üniversite'den Prof. Peschel ve ark. motorize tabir ettikleri nivelman ölçüm tekniğini geliştirdiler. İsveç'te haritacılık faaliyetlerini yürüten Jean-Marie Becker İsveç'te bu tekniği 1973'te uygulamaya başladı ve 1979 yılı itibariyle ölçüm tekniği tamamen işlevsel hale getirildi. Daha sonra bu teknik diğer ülkelerde de uygulanmaya başladı. Bu sayede nivelman ölçümleri daha ekonomik, farklı hava koşullarında daha uygulanabilir hale geldi ve sonuçlar daha kaliteli oldu (Erikson, 2014). Bu gelişmeleri takiben çeşitli nivelman ölçüm tekniklerinin farklı arazi ve doğa şartları ile farklı uzaklıklardaki yükseklik farkı ölçümlerinin doğrulukları tartışma konusu haline gelmiştir. Bu bağlamda yükseklik farklarının doğruluğu üzerine yapılan ilk çalışmalar 1980'lerin sonlarına dayanmaktadır. Buna göre Gurtner ve ark. (1989) konum belirleme sistemi (GPS; Global Positioning System) ile gerçekleştirilen yükseklik farklarının tespitinde yalnızca standart bir troposfer modeli kullanıldığında dağlık alanlarda ölçüm doğruluğunun azaldığını tespit etmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmanın ardından yükseklik farklarının doğruluğu konusundaki

alışmalar günümüze kadar araştırmacıların dikkatlerini yönelttiği konulardan bir tanesidir.

Nivelman ölçümlerinde değişen arazi şartlarına göre doğruluk, uygulanabilirlik, zaman ve maliyet gibi bazı faktörler göz önüne alınarak farklı yöntemler kullanılabilir. Bu noktada mühendislik uygulamalarında talep edilen doğruluğu karşılayan doğru nivelman tekniğinin seçimi çok önemlidir. Bu çalışmada vadi ve akarsu geçişlerinde geometrik nivelman tekniğinin özel bir uygulaması olan vadi geçiş nivelmanı ile tespit edilen yükseklik farklarının diğer nivelman teknikleri kullanılarak elde edilen veriler ile karşılaştırılarak uygun nivelman tekniğinin seçimi hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada kısa ve uzun mesafelerde belirlenen iki nokta arasındaki yükseklik farkları geometrik nivelman, vadi geçiş nivelmanı, trigonometrik nivelman ve GNSS nivelman yöntemleriyle belirlenmiştir. Bahsedilen yöntemlerle gerçekleştirilen uygulamalar Konya İli, Taşkent İlçesi, Afşar Mahallesiindeki Göksu Nehri'nin kollarından biri olan Ilıcapınar Deresi üzerinde kurulu Afşar Hadimi Barajı (Uygulama alanı-1) ve Konya İli, Hadim İlçesi, Eğiste Mahallesiindeki Eğiste Hadimi Viyadüğü bölgelerinde (Uygulama alanı-2) tesis edilen noktalar arasında gerçekleştirilmiştir. Afşar Hadimi Barajı bölgesinde tesis edilen noktalar arası uzaklık yeryüzü küreselliği ve refraksiyon kaynaklı hatanın minimize edilmesi amalıya yaklaşık 221,64 m (<250 m, kısa mesafe) (Pırtı ve Hoşbaş, 2019), Eğiste Hadimi Viyadüğü bölgesinde tesis edilen noktalar arası uzaklık ise 1444,65 m (>250 m, uzun mesafe) olarak belirlenmiştir. Böylelikle kısa ve uzun mesafeler için elde edilen yükseklik farkları tespit edilmiş ve sonuç olarak vadi geçiş nivelman tekniğinin geometrik nivelman ve diğer nivelman tekniklerine göre avantaj ve dezavantajları hakkında zgn verilere ulaşılmıştır.

Yukarıda anlatılan uygulamalara ait benzer çalışmaların sonuçları tezin kaynak araştırmaları, gerçekleştirilen ölçümlere ait teknik detaylar ve hesaplama metotları materyal ve yöntem, geometrik nivelman sonuçları ile diğer nivelman tekniklerinden elde edilen verilerin doğruluk değerlendirmeleri ve literatür çalışmaları ile karşılaştırılması araştırma bulguları ve tartışma, kısa/uzun mesafeler için doğru nivelman tekniği seçimine ait görüşlerimiz sonuçlar ve öneriler kısmında sunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yükseklik ölçümleri ve belirlenen noktalar arasındaki yükseklik farkları uygulama sahasının özelliklerine göre tercih edilen çeşitli yöntem ve teknikler ile gerçekleştirilmektedir. Tercih edilecek olan yöntemin belirlenen alanda en doğru ölçümü sağlayabilmesi bu konudaki önemli detayların başında gelmektedir. Bu sebepten literatürde farklı uygulama alanlarına ait tekniklerin ölçüm sonuçlarının doğruluk bakımından kıyaslandığı çalışmalar bulunmaktadır.

Banger ve Aslan'ın çift başlıklı Ni2 aleti kullanılarak su yüzeyinden geçişli yükseklik belirlemelerindeki ölçüm hassasiyetini etkileyen faktörlerin tespit edilmesi üzerine farklı hava koşullarını da kapsayacak şekilde yapılan bir çalışmada gözlemlerin refraksiyon etkisinin en az olduğu zamanlarda, uygun görüşün sağlanması durumunda kapalı havaların tercih edileceği ve su üzerinden geçiş durumunda ise her iki kıyıda da refraksiyon alanlarının benzer olduğu rüzgarın geçiş doğrultusuna dik estiği zamanların tercih edilmesi gerektiğine vurgu yapılmıştır. Ayrıca sıcaklık değişimlerinden etkilenmeyecek şartların sağlanabildiği durumlarda ölçüm yapılmasının daha doğru sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Ceylan ve İnal (1996)'ın eş zamanlı trigonometrik nivelman ile geometrik nivelman hassasiyetinin karşılaştırıldığı 5 noktalı bir test ağı üzerinde gerçekleştirilen araştırmada birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatası geometrik nivelmanda $\pm 0,706\text{mm}$, trigonometrik nivelmanda ise $\pm 1,677\text{mm}$ olarak bulunmuştur. Sonuç olarak trigonometrik nivelmanın geometrik nivelmana yakın doğruluk verebileceği değerlendirilmiştir.

Ceylan ve ark. (2005)'nin modern yükseklik belirleme teknikleri ve bu tekniklerin ölçme doğruluklarının karşılaştırıldığı bir çalışmada farklı yükseklik belirleme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır. Bu çalışmada, Hassas nivelman ölçümü sonuçlarının doğru olduğu kabul edilmiş ve diğer tekniklerle yapılan ölçümler bu değerlerle kıyaslanmıştır. Netice itibarıyla hassas geometrik nivelman tekniği ile gerçekleştirilen ölçümlere en yakın sonucu sayısal nivolar ile yapılan geometrik nivelman tekniğinin verdiği tespit edilmiştir.

Soycan (2006)'ın jeoid yüksekliklerinin belirlenmesi için GPS ve nivelman ölçümlerinin birlikte değerlendirilmesinin önemine vurgu yapan bir diğer çalışmada ise geometrik nivelman tekniğinin zor arazi şartlarında ekonomik olmayışı ve uygulanabilirliğinin daha düşük olduğuna vurgu yapılmıştır. Bahsedilen bu arazi

şartlarında GPS nivelmanına ilk alternatifin hassas trigonometrik nivelman tekniği olduğunu belirtmiş olmasına rağmen geometrik nivelman hassasiyetinde yapılabilecek bir ölçümün ancak 500 metreden daha kısa mesafeler için mümkün olabileceğini belirtmiştir.

Ceylan ve Baykal (2006)'ın yapmış oldukları çalışmada yükseklik belirleme teknikleri içerisinde hassas nivelman tekniği uzun yıllardır kullanılıyor olsa da bu tekniğin özellikle engebeli arazilerde zor, zaman alıcı ve pahalı olduğu belirtilmektedir. Bu zorluklar araştırmacıları alternatif metotları araştırmaya yöneltmiştir. Ortadan trigonometrik nivelman ile hassas nivelman sonuçlarının örnek bir uygulama sahasında karşılaştırıldığı bir çalışmada Ortadan trigonometrik nivelmanın hassasiyeti, ekonomik oluşu ve uygulanabilirliğinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Buna göre Ortadan trigonometrik nivelman ölçüm sonuçlarının standart sapma değeri $\pm 1,87$ mm / (km) olarak hesaplanmıştır.

Erenoglu ve ark. (2012)'nin yapmış oldukları çalışmada dik arazi şartlarında karasal nivelman ölçüm tekniklerinin temel alınması gerekliliği vurgulanmışsa da bu tekniklere bir alternatif olarak GNSS nivelman ölçüm tekniğinin uygulanabileceği belirtilmiştir. Ancak GNSS nivelman ölçüm tekniğinde istenilen hassasiyetin ancak kısa mesafelerde (uygulama örneği 100 metre) mümkün olabileceği gösterilmiştir.

Ceylan ve Baykal (2013)'ün Selçuk Üniversitesi Kampüsünde örnek bir test alanında eşzamanlı ve karşılıklı trigonometrik nivelman tekniği ile hassas geometrik nivelman tekniği 200 metrelik bir görüş mesafesi üzerinden elde edilen verilerin karşılaştırıldığı çalışmada standart sapma değeri $\pm 1,86$ mm/(km) olarak hesaplanmıştır. Maliyet analizleri açısından değerlendirildiğinde de eşzamanlı ve karşılıklı trigonometrik nivelman uygulamasının diğer tekniğe göre %7 daha ucuz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak hassas geometrik nivelmana göre zorlu arazi şartlarında daha uygulanabilir olması da eşzamanlı ve karşılıklı trigonometrik nivelman tekniğinin avantajları arasında belirtilmiştir.

Zrinjski ve ark. (2018)'nin Hırvatistan, Rijeka'da belirledikleri 12 noktalı bir test alanında trigonometrik ve GNSS nivelman teknikleri ile ölçülen yükseklik farklarının doğruluk araştırmasını geometrik nivelman verilerine kıyaslayarak gerçekleştirmişlerdir. Buna göre belirledikleri sahada gerçekleştirdikleri ölçüm sonuçlarında geometrik nivelman sonucuna kıyasla trigonometrik nivelman sonucunun 2,2 mm, GNSS nivelman sonucunun ise 21 mm sapma gösterdiği tespit edilmiştir.

Pırtı ve Hosbas (2019)'ın geometrik nivelman, trigonometrik nivelman ve GPS nivelman teknikleri aracılığı ile elde edilen yükseklik farklarının hassasiyetinin kıyaslandığı bir çalışmada her üç nivelman tekniğinin birkaç milimetre farkla kabul edilebilir sonuç verdiğini ancak dijital nivelman sonuçlarının daha keskin olduğu gösterilmiştir. Kısa mesafeli (<250 m) nivelman ölçümlerinde geometrik nivelman ile trigonometrik nivelman ölçümleri arasındaki fark 8 milimetre olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra 5 km mesafede GPS nivelman tekniği ile elde edilen elipsoidal yükseklik farkı ile geometrik nivelman tekniği ile ölçülen ortometrik yükseklik farkı değerleri arasında 4 milimetre farklılık bulunmuştur.

Dingliang ve ark. (2021)'nın yapmış oldukları çalışmada zorlu arazi şartlarında hassas jedodezik nivelman uygulamalarının verimliliğini artırmak amaçlanmış ve tek yönlü trigonometrik nivelman tekniğine kıyasla karşılıklı eş zamanlı iki total station ile yapılan ölçümlerin atmosferik kırınım etkisini azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca eş zamanlı ve karşılıklı yapılan hassas trigonometrik nivelman sonuçları ile geometrik nivelman sonuçları karşılaştırılmış ve standart sapma değeri $\pm 0,9 \text{ mm} / (\text{km})^{1/2}$ olarak hesaplanmıştır.

Yang ve Zou (2021)'nin total station ve GNSS kullanılarak yapılan uzun mesafeli nehir geçişlerindeki hassas nivelman ölçümlerini konu alan çalışmada total station kullanılarak yapılan nivelman ölçümlerinde hassas sonuçlar alınabildiği ancak 3,5 km'yi aşan uzaklıklar için bu tekniğin hedef tanımanın zorluğu nedeniyle yetersiz kaldığı belirtilmiştir. Buna karşılık bahsedilen tekniğin modifiye edilmiş ledli 5 adet prizma donanımı (Leica GPR1 reflektörü) kullanılarak aydınlatılmış bir hedef üzerinden uzun mesafelerde daha hassas ölçüm yapılabildiği vurgulanmış olup, Çin'de bulunan 6,3 km uzunluğundaki Fuzhou köprüsünde GNSS ve modifiye edilmiş hedef üzerinden total station kullanılarak yapılan uygulama neticesinde standart sapma $\pm 0,76 \text{ mm/km}$ olarak hesaplanmıştır. Böylelikle farklı tekniklerle yapılan ölçümlerin birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Yukarıda belirtilen çalışmalar özetle farklı arazi koşulları ve yükseklik farkları belirlenecek noktalar arasındaki farklı mesafelere göre uygun nivelman ölçüm tekniği tercihinin önemini vurgulamaktadır. Bu bilgiler ışığında materyal ve yöntem kısmında detayları anlatılan teknikler ve arazi koşulları için uygun nivelman ölçüm tekniğini tespit etmeyi amaçlanmıştır.

3.YÜKSEKLİK BELİRLEMELERİ

3.1. Yükseklik Sistemleri

Bir niceliğin büyüklüğünden bahsedilirken referans alınan bir değere göre tanımlama yapılmaktadır. Yükseklik tarif edilirken de yine belirli bir noktaya olan düşey uzunluğun büyüklüğünden söz edilmektedir. Ancak jeodezik uygulamalarda sunulan yükseklikler evrensel kabul görmüş bazı referans yüzeylere veya yükseklik sistemlerine göre verilmektedir. Bunlar içerisinde en önemlisi ise her türlü meteorolojik, oşinografik vb. etkiden arındırılmış, durgun okyanus yüzeyinin tüm kara parçalarının dahi altından devam ettiği düşüncesiyle eşpotansiyelli bir yüzey olarak tanımlanmış olan jeoid dir. Buna göre bir nokta için jeoid yüksekliği kullanılan elipsoid ile jeoid arasındaki çekül eğrisinin yüksekliğidir. Bunun dışında farklı ilkesel temellere dayanan normal, elipsoid, ortometrik, dinamik ve jeopotansiyel yükseklik sistemleri tanımlanmıştır (Ocak, 2021; Erkaya, 2006). Burada çalışmayla ilgisi sebebiyle ortometrik yükseklik sistemi ve elipsoidal yükseklik sistemleri tanımlanacaktır.

3.1.1. Ortometrik yükseklik sistemi

Yükseklik ölçmelerinde kullanılan referans yüzeylerine göre yükseklik tipleri belirlenebilir. Referans yüzeyi olarak ortalama deniz seviyesi alınırsa, bu yüksekliğe ortometrik yükseklik denilmektedir (Greenfeld ve Sens, 2003). Noktaların ya da noktalardan geçen nivo yüzeylerinin jeoide göre durumları, jeoit ile bu yüzeyler arasındaki potansiyel farklar yardımıyla belirtilebilir. Bu farklar jeopotansiyel sayılar (C) olarak adlandırılır.

$$C = W_0 - W = \int_{\text{jeoit}}^{\text{Nokta}} gdn \quad (3.1)$$

eşitliği ile elde edilir. Burada; W_0 jeoidin potansiyeli, W nivo yüzeyinin potansiyelini, g yeryüzünde ölçülen gerçek gravite ve dn diferansiyel geometrik yükseklik farkıdır. C 'nin birimi (g.p.u.) jeopotansiyel birim yaklaşık olarak metre cinsinden deniz yüzeyinden olan yüksekliğe eşittir. Çekül eğrilerinin yeryüzü noktaları ile jeoit arasında kalan parçalarının yay uzunlukları, yüksekliklerin geometrik anlamda bir tanımıdır. Bu tür yüksekliklere ortometrik yükseklik (H) adı verilir. C -g.p.u., g -kgal ve H -km cinsinden olmak üzere,

$$H = \frac{C}{g+0.0424H} \quad (3.2)$$

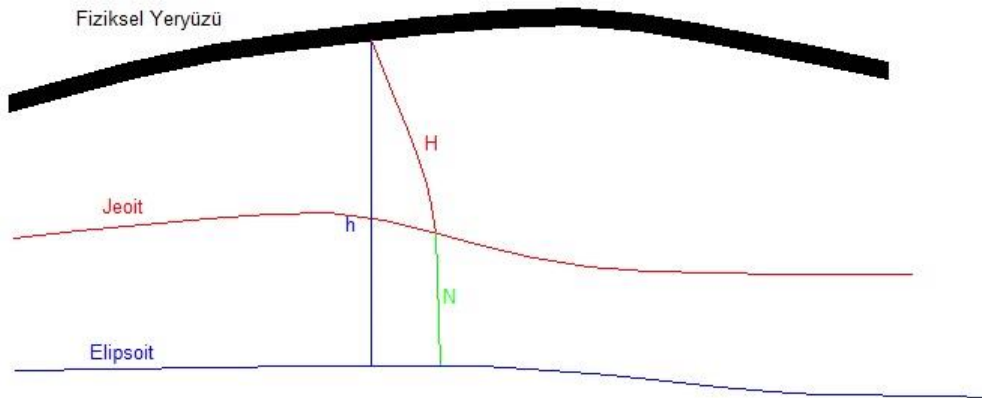
eşitliği ile elde edilir (Heiskanen ve Moritz 1967).

3.1.2. Elipsoidal yükseklik sistemi

Yükseklikleri ölçmelerinde kullanılan referans yüzeyini elipsoid yüzeyi kullanırsa, elde edeceğimiz yüksekliğe elipsoidal yükseklik denir. Elipsoidal yükseklik, GNSS gözlemlerinden ortaya çıkan yüksekliklerin bir sonucudur. Elipsoidal yükseklik tamamen bir geometrik değer olduğundan yani yerin gerçek gravite alanı ile ilgili olmadığından fiziksek bir özellik taşımaz (Kahveci, 1993).

3.1.3. Ortometrik yükseklik ile elipsoidal yükseklik arasındaki bağlantı

Ortometrik yükseklik, yüksekliği bilinen bir noktadan başlayarak geometrik nivelman ölçmeleri yapmak ve bu ölçülere gravite düzeltmelerini getirerek belirlenmektedir. GNSS uygulamalarıyla yükseklik belirleme ise uydulara dayalı olarak yapılmaktadır. GNSS ile ölçülen yükseklik değerleri WGS84 elipsoidine bağlı olarak elde edilen elipsoidal yüksekliklerdir. GNSS ölçüleri ile elde edilen elipsoidal yükseklikten ortometrik yüksekliğe geçiş için gravimetrik jeoid modelinin belirlenmesi ve bu modelden GNSS ölçüleri ile birlikte doğrudan kullanılabilecek “Geçiş Yüzeyi” elde edilmesi gerekmektedir (Yıldız, 2012; Akçın, 1998). Bu geçiş yüzeyi olarak ifade edilen değer jeoid yüksekliği olarak da ifade edilmektedir. Burada bahsedilen elipsoid yüksekliği (h), ortometrik yükseklik (H) ve jeoid ondülasyonu ya da jeoid yüksekliği (N) arasında ise; $N=h-H$ şeklinde bir ilişki kurulur (Şekil 3.1).

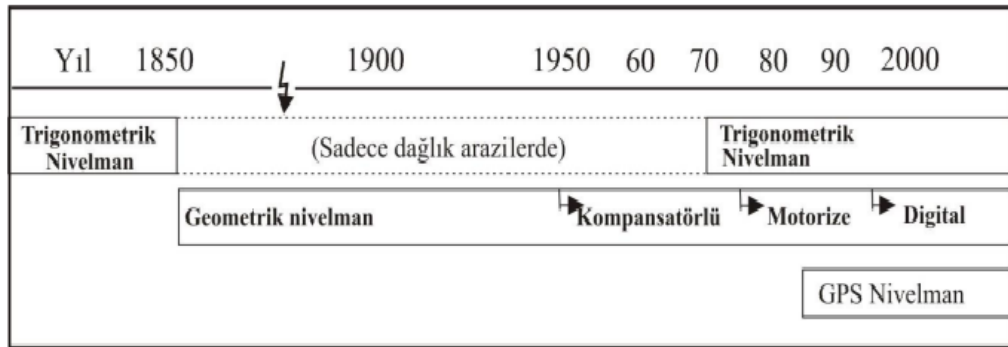


Şekil 3.1. Elipsoid ve ortometrik yükseklik arasındaki ilişki

Çekül eğrisi ve elipsoit normalı arasında çekül eğrisinin eğrilighinden kaynaklı bir sapma açısı oluşmaktadır. Bu açı çekül sapması adını alır. Çekül sapması sonucu oluşan yükseklik farkı milimetrenin altında çok düşük bir değer olduğundan dolayı göz ardı edilebilmektedir (Jekeli, 2000; Heiskanen ve Moritz, 1967).

3.2. Yükseklik Belirleme Yöntemleri

Yükseklik farklarının veya yüksekliklerin belirlemesi 1850’li yıllara kadar trigonometrik nivelman tekniğı kullanılmaktayken, 1850’li yıllardan sonra refraksiyon hatası bakımından geometrik nivelman tekniğı kullanılmaya başlanmıştır. 19. Yüzyılın başlarında geometrik nivelman tekniğinde silindirik düzeçli nivolar kullanılırken 1950’lerde kompansatörlü nivoların gelişmesiyle geometrik nivelman tekniğı kompansatörlü nivolar ile de gerçekleştirilmiştir. Sonraki yıllarda lazerli nivolar ve sayısal nivolar geliştirilmeye başlanmış ve yükseklik ölçmeleri daha az zamanda daha fazla doğrulukla ölçülmüştür (Şekil 3.2).

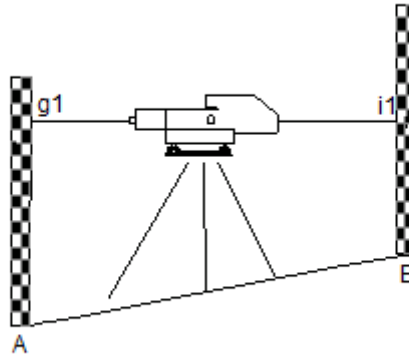


Şekil 3.2. Yükseklik belirleme tekniklerinin tarihsel gelişimi (Niemeier, 1986).

Günümüzde gerek mühendislik projelerinde gerekse bilimsel çalışmalarda noktalar arası yükseklik farklarının ve nokta yüksekliklerinin belirlemesinde geometrik, trigonometrik ve GNSS nivelman tekniğı uygulanmaktadır. Söz konusu nivelman tekniklerinin her birinin ölçme modellerinden kaynaklı avantaj ve dezavantajları vardır (Ceylan, 2009).

3.2.1. Geometrik nivelman

Geometrik nivelman tekniğinin temel prensibi ölçü yüzeyi üzerinde nivo ile oluşturulan yatay bir düzlem boyunca yeryüzü noktalarına tutulan miralar yardımıyla düşey uzaklıkların (mira okumaları) ölçülmesidir. Geometrik nivelmanda ölçme esnasında düşey doğrultuda herhangi bir hareket söz konusu olmadığından herhangi iki nokta arasındaki yükseklik farkı bulunmaktadır ya da noktalardan herhangi birinin yüksekliği bilindiği takdirde diğer noktanın yüksekliği bulunabilmektedir (Şekil 3.3).



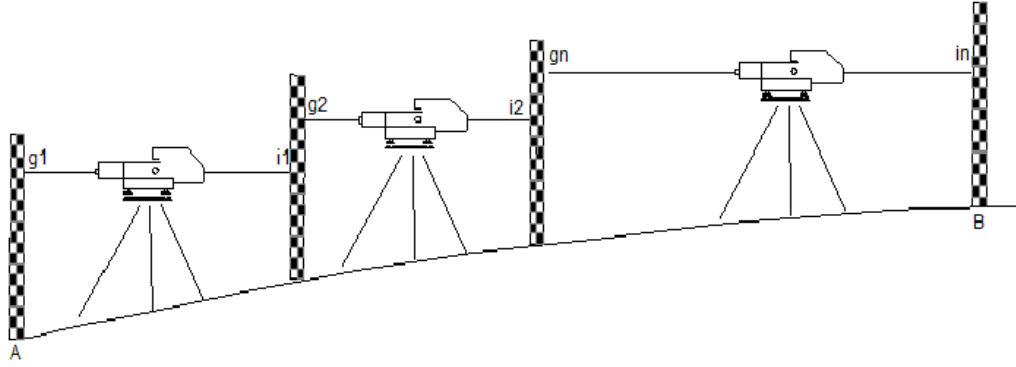
Şekil 3.3. İki nokta arasındaki geometrik nivelman

$$H_B - H_A = \Delta H_{AB} = g - i \quad (3.3)$$

şeklinde iki nokta arasındaki yükseklik farkı hesaplanabilir. Herhangi bir noktanın yüksekliği bilindiği takdirde diğer noktanın yüksekliği ise;

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} \quad (3.4)$$

formülü ile belirlenmiş olacaktır. İki nokta arasındaki mesafe uzun ise Şekil 3.4’ deki ölçme modeli kullanılır.



Şekil 3.4. Uzak mesafelerde geometrik nivelman

$$H_B - H_A = \Delta H_{AB} = [g] - [i] \quad (3.5)$$

şeklinde hesaplanabilir. Ölçü sırasında yapılan kaba hata kontrolü ve doğruluk analizi için ölçüler, gidiş ve dönüş ölçüsü şeklinde kontrollü yapılmaktadır. Gidiş ve dönüş ölçmelerinde nivo'nun kurulduğu her nokta için ölçü yönüne göre geride kalan noktaya geri okuma (g), ileride kalan noktaya ise ileri okuma (i) olarak adlandırılır. Gidiş ölçmelerindeki yükseklik farkı ile dönüş ölçmelerindeki yükseklik farkı karşılaştırılarak ölçülerdeki doğruluk irdelenebilmektedir (Baykal, 1988).

Geometrik nivelman ile yapılan ölçmelerde nivo, mira ve yardımcı aletlerden oluşan cihazlar kullanılır.

Nivolar, yatay gözleme doğrultusunu sağlayan ve mira okumalarını yapmaya yarayan optik aletlerdir. Nivelmanda kullanılan nivolar, silindirik düzeçli (fenklajlı), kompansatörlü ve sayısal nivolardır. Sayısal nivolar yapı itibarıyla bir kompansatörlü nivodur. Günümüz nivelman işlerinde genellikle sayısal nivolar kullanılmaktadır. Kullanılan sayısal nivolarda elektronik algılayıcılar vardır ve bu algılayıcılar yardımıyla barkod yöntemiyle mira bölüm çizgilerini algılayarak korelasyon yöntemi ile değerlendirmek suretiyle mirayı kestiği noktayı okur ve gözlem uzaklığını tespit etmektedir (Gürdal, 2004).

Sayısal nivo ile okuma yapabilmek için fiberglas, alüminyum ve invar olmak üzere bir yüzü barkod bölümlü miralar imal edilmiştir. Miranın üzerinde barkod çizgileri işaretlenmiştir. Barkod ile taranmış kısmın arka tarafındaki yüzünde, klasik geometrik nivelman ölçümleri yapmaya yarayan mira bölümleri bulunmaktadır. Presizyonlu nivelmanda çift bölümlü invar miralar kullanılır. Bu kullanılan invar miralar ahşap veya

metalden oluşur. Nivelmanda invar miraların kullanılmasının nedeni sıcaklık ve nem farklılaşmalarından doğacak hata oranlarını önüne geçmektir.

Ayrıca, nivelman ölçmelerinde kullanılan sehpa, miralardaki düşey doğrultudaki çökme hatalarını azaltabilmek için ve miraların tutulduğu noktaların yerlerinin değişmemesi için özel mira altlıkları (çarık) kullanılır. Miraların düşey tutulmasını sağlamak ve sallanmasını önlemek amacıyla mira destekleri kullanılır (Ceylan, 1993).

Nivelman ölçülerinde doğruluğu ve hassasiyeti etkileyecek genel hata kaynaklarını üç ana başlık altında sıralanabilir.

- Nivelardan kaynaklanan hatalar
 - ❖ Nivo gözleme eksen şartının düzensizliği
 - ❖ Kompansatörlü nivelarda artık kompanzasyon hatası
 - ❖ Küresel düzeç eksen şartının düzensizliği hataları oluşur.
- Miralardan kaynaklanan hatalar
 - ❖ Miraların eğik tutulması hatası
 - ❖ Mira çifti sıfır konum hatası
 - ❖ Mira tabanının düzlem olmaması hatası
 - ❖ Mira bölümlendirme hatası
- Dış ortamdan kaynaklanan hatalar
 - ❖ Nivo ve miralarda çökme hatası
 - ❖ Sıcaklığın nivoya etkisi
 - ❖ Sıcaklığın miraya etkisi
 - ❖ Geomağnetik alanın kompansatörlü nivoya etkisi
 - ❖ Gel-git etkisi
 - ❖ Düşey refraksiyon etkisi
 - ❖ Gravite alanının etkisi

olarak bölümlendirilebilir (Ceylan,1993). Bununla birlikte sayısal nivelarla yapılan yükseklik tayininde kullanılan nivelarda ve barkodlu miralara özgü hatalar da mevcuttur.

- Barkod hataları
 - ❖ Barkod çizgisinin bölümlendirme hatası
 - ❖ Zarar görmüş çizgi hatası
 - ❖ Birleşme hatası
- Elektro-optik hata kaynakları

- ❖ En küçük okuma ve yuvarlatma hatası
- ❖ Ölçme alanındaki engeller
- ❖ Cyclic hatası ve gözlem uzunluğuna bağlı diğer hatalar
- ❖ Titreşimin etkileri
- ❖ Işık yoğunluğu
- ❖ Miranın uç kısmına yakınlık
- ❖ Netleştirme hatası

şeklinde sınıflandırılabilir (Rüeger ve Brunner, 2000; Rüeger and Lok, 2005; Banger ve Şen, 1994). Sayısal nivolarla daha yüksek hassasiyetli ölçüler ve buna bağlı olarak elde edilecek sonuç doğruluğunu artırmak için;

- Alet ve mira hatalarının giderilmesi için alet ve mira kalibrasyonları belirli periyotlarda yapılmalıdır.
- Kullanılan sayısal nivo ve barkodlu mira üzerindeki küresel düzeç kontrolü ölçü esnasında sıklıkla kontrol edilmelidir.
- Nivelman ölçüleri refraksiyon etkisinin en az olduğu saatlerde yapılmalıdır.
- Ölçü sırasında barkodlu mira sağlam zemine tutulmalı ve mira çarığı kullanılmalıdır.
- Mira çifti sıfır hatasını gidermek için alet kurma sayısı çift olmalıdır.
- Ölçüm sırasında titreşimin olmayacağı yerler seçilmelidir.
- Nivonun okuma sırasında görüntü netliği yeterli doğrulukta yapılmalıdır.
- Nivo ile geri ve ileri miralar arası mesafe çok uzak olmamalıdır. Bu mesafe yaklaşık 30 m. civarını geçmemelidir.
- Nivelmanın istenilen doğruluğa göre göz ardı edilebilecek hatalar tespit edilmeli bunun dışındaki hata büyüklükleri hesaplanarak gerekli düzeltmeler ölçülere getirilmelidir (Ekici, 2008).

3.2.2. Vadi geçiş nivelmanı

Yüksekliklerin veya yükseklik farklarının bulunmasında geometrik nivelman tekniğiyle yapılan ölçmelerde alet hataları, küresellik ve refraksiyon gibi etkileri ölçü yapılırken en aza indirmek için bazı tedbirler alınabilir. Vadi geçişlerinde ve su yüzeyi geçişlerinde bu etkileri gidermek güçleşmektedir. Bu sebeplerden dolayı vadi geçişlerinde ve su yüzeyi geçişlerinde yükseklik farkı tayini özel ölçü yöntemleri ve özel

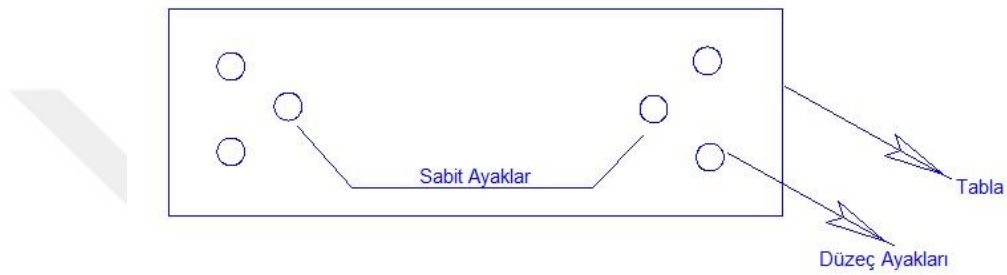
aletler ile gerçekleştirilmelidir. İstenen hassasiyete bağlı olarak alet donanımı ve ölçü yöntemi tercihinde bulunulur. Noktalar arasındaki yükseklik farkı karşılıklı ve eş zamanlı düşey açı gözlemleriyle bulunabileceği gibi doğruluğunu artırmak için özel donanımlı aletlerle ile gerçekleştirilir. Vadi geçiş nivelmanı karşılıklı ölçülerle ya da ortada bir yere alet kurularak yapılabilir. Ortada herhangi bir yere alet kurularak yapılan vadi geçiş nivelmanında tek aletle ya da çift alet kullanılarak gerçekleştirilir. Ortada bir yere alet kurularak gerçekleştirilen vadi geçiş nivelmanında yaklaşık olarak hedef uzaklıkları eşitse ve 5 metreden küçük ise bir Ni2 aleti ile ölçü yapmak yeterli olmaktadır. Hedef uzunlukları farkı 5 metreden büyük ise iki Ni2 aleti ile ölçü yapılması gerekir (Aydın, 1981). Vadi geçiş nivelmanında duyarlılığı bozan etkenler simetrik olmayan refraksiyon alanlarının etkileri, eksen hataları ve kullanıcı hataları olarak sıralanabilir. Bunların yanında kompensatörlü nivolarda giderilemeyen eksen hatalarını ortaya çıkaran eğik ufuk hatası da ölçülerin doğruluğunu bozabilen diğer bir hata kaynağı olarak dikkate alınabilir (Banger, 1978; Banger, 1981).

Vadi geçiş nivelmanı ölçümünde ölçü doğruluğunu artırmak için dikkat edilmesi gereken hususlar sıralanmıştır.

- Vadi geçiş ölçmeleri için en uygun ölçme yeri ve saati seçilmelidir.
- Ölçmeler refraksiyon etkisinin en az olduğu zaman dilimlerinde yapılmalıdır.
- Görüş açısının daha iyi sağlanabilmesi için kapalı havalarda ölçüler gerçekleştirilmelidir.
- Su üzeri geçiş nivelmanında, her iki yakada refraksiyon alanlarının benzer olduğu rüzgârın geçiş doğrultusuna dik estiği zamanlar tercih edilmelidir.
- Su üzeri geçiş nivelmanında, kıyı sıcaklık etkilerinden korunmak için gözlem yapılacak noktaların kıyıya yakın olması gerekmektedir.
- Tatbik hatalarının önüne geçebilmek için karşılıklı gözlem noktalarının kuzey-güney yönünde seçilmelidir.
- Eksen hatalarının önüne geçmek için ölçü sırasında sıcaklığın değişmemesine dikkat edilmelidir.

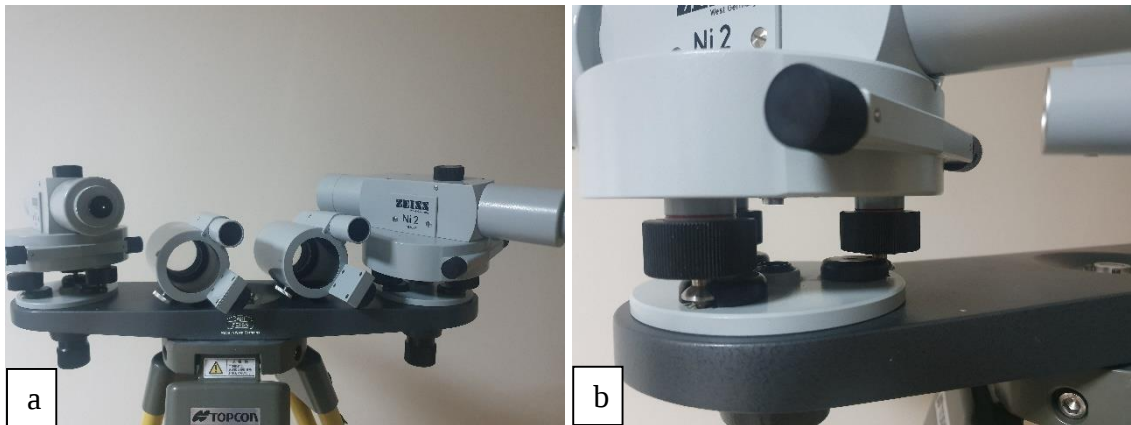
3.2.2.1. Vadi geçiş nivelmanında ölçme ve hesap

Sehpa alet kurulacak noktaya konularak üzerine küresel düzeçli tabla yerleştirilir. Tablanın yerleştirme şekli düzgün olmalıdır yani kamalı ve kamasız aletler tablaya bağlandığında mirayı, 70 cm uzunluğunda ½ cm taksimatlı cetveli ve karşı yakadaki hedef levhalarını göreceğ şekilde aynı zamanda ölçüye engel olmayacak şekilde kurulur. Kamalı ve kamasız nivolar tablaya takılır. Aletlerin düzeç ayakları uygun şekilde yerleştirilir. Ölçü sırasında bir düzeç ayağı sabit tutulmalıdır. Çok az düzeç kaymalarında diğerk iki ayakla düzeç ortalımalıdır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Düzeç ayakları yerleşimi

Eğim başlıkları dürbüne takılır ve sıkıştırılır ve her iki alet düzelenir. Kamalı ve kamasız aletlerin gözlem eksenlerinin yükseklik farkının 2 mm. yi geçmemesi için, aletler düzelenmeden önce her iki aletle de düzeç ayaklarındaki halkalar yardımıyla göz kararı yaklaşık aynı seviyeye getirilir ve sonra her iki alet düzelenir. Bu şekilde iki aletin yatay eksenleri yükseklik farkı 2 mm'nin altına düşmüş olur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. a: Eğim başlıkları, b: Düzeç halkaları

Hedef levhaları kurulacak noktaya sehpa yerleştirilir. Sehpa üzerine hedef levhalarının takılacağı metal çubuk bağlanır ve çubuğun küresel düzeci ortalınır. Hedef levhaları karşı kıyıdaki alet çiftinin eğim sahasında kalacak şekilde çubuktaki yerlerine takılarak düzeç kontrolü yapılır (Şekil 3.7).

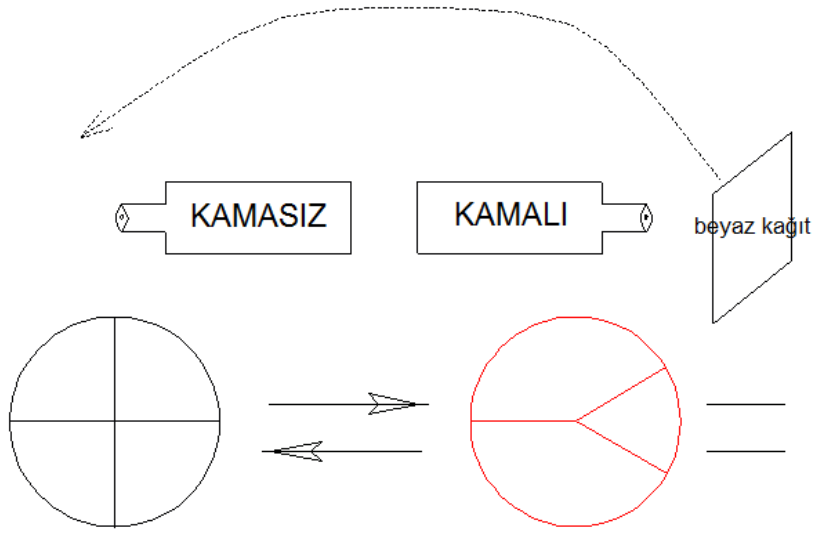


Şekil 3.7. Hedef levhalarının ölçüye hazır hale getirilmesi

Böylelikle vadinin bir yakasındaki aletler ölçüye hazır hale getirilmiş olur. Vadinin karşı yakasında da aynı işlemler tekrarlanarak ölçüye başlanabilir (Tuğluoğlu, 1972).

Aletler her iki kıyıda kurulup ölçüye hazır duruma getirildikten sonra alet kurulan noktadaki kamasız ve kamalı aletlerde eğim skalaları 10 değerine getirilir. 0.5 cm taksimatlı cetvel hedef levhası çubuğunun sıfır çıkıntısına tutulur. Kamalı ve kamasız aletlerle cetvel üzerinde (hs) okumalar yapılır. Sonra levhalar diğer yakadaki yani karşı istasyon noktası yönüne çevrilir. Levhalar arası yükseklik farkı kaydedilir. Mira yükseklik farkı belirlenmek istenen noktaya tutulur. Mira üzerinde eğim başlığının eğim sahası içinde kalacak şekilde bir üst bir alt marka yeri seçilir. İyi tatbik için bu markaların yerlerini cm'lerin orta kısımlarının seçilmesi gerekir. Alt ve üst marka değerleri vadi geçiş nivelman çizelgesine kaydedilir. Karşılıklı kolimasyon için kamasız ve kamalı aletler sonsuza yöneltilir. Netleştirme vidaları yardımıyla her iki nivoda görüntü netleştirilir. Sonra aletlerin objektifleri birbirine çevrilir. Kamasız aletin okülerinden

bakılır. Bu durumda kamalı aletin gözlem çizgileri görünmelidir. Net görüntü için kamalı aletin oküler tarafına beyaz bir kağıt tutulur. Kamasız aletin eğim skalası değeri 10'a ayarlanmalıdır. Bu değer n1 değeridir. Daha sonra kamalı aletin okülerinden bakılarak netleştirme yapılır, net görüntü için kamasız aletin oküler tarafına beyaz bir kağıt tutulur. Kamalı aletin eğim vidası ve aletin az hareket vidası oynanarak gözlem çizgileri kamasız aletin gözlem çizgileri ile karşılaştırılır. Bu durumda kamalı aletin skala değeri n2 değerinde olacaktır. Bu değer eğim vidası yardımıyla kamalı aletin gözlem çizgilerinin kamasız aletin gözlem çizgilerine bir yukarıdan aşağıya ve bir de aşağıdan yukarıya karşılaştırılarak 2 kez okunmasıyla elde edilir. Okunan iki değer vadi geçiş nivelman klişesine kaydedilir. İki değer ortalama n2 kolimasyon değeri olur (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Karşılıklı kolimasyon

Kamasız aletle invar mira üzerinde seçilen yukarı markada iki okuma yapılır ve ortalaması alınır. Bu okumalardan biri eğim vidası yardımıyla yatay kıl yukarıdan aşağıya hareket ettirilerek seçilen markaya karşılaştırmak suretiyle, diğeri ise yine eğim vidası yardımıyla aşağıdan yukarıya hareket ettirilen yatay kılın markayla karşılaştığı zaman yapılır. Aynı işlem aşağı marka içinde uygulanır ve okumalar yapılarak ortalaması alınır. Kamalı aletle de yukarı ve aşağı markalarda aynı şekilde ikişer okuma yapılarak ortalamaları alınır ve vadi geçiş nivelman çizelgesine kaydedilir. Karşılıklı kolimasyon giderme işlemi tekrarlanır. Kamasız aletle karşı kıyadaki üst levhaya bakılarak eğim vidası ile yatay kıl, yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarı hareket ettirilerek 8 okuma yapılır ve ortalaması alınır. Aynı işlem alt levha için yapılır. Kamalı aletle de karşı kıyadaki üst ve alt levhalara 8'er okuma yapılarak ortalaması alınır ve yeniden karşılıklı

kolimasyon giderme işlemi tekrarlanır. Yapılan tüm bu ölçümler altı kere tekrarlanarak vadi geçiş nivelman çizelgesine kaydedilir. Karşılıklı kolimasyon tekrar giderilerek kamasız ve kamalı aletler ile invar mirada seçilen aşağı ve yukarı markalarda ikişer okuma yapılarak ortalaması alınarak vadinin bir yakasındaki ölçüler tamamlanmış olur. Tüm bu işlemler vadinin karşı yakasında da yapılır. Böylelikle bir grup ölçü bitmiş olur. Bir grup ölçü ile yetinilmeyip fazla doğruluk isteyen işlerde, değişik günlerde, farklı hava koşullarında, öğleden önce ve öğleden sonra daha fazla ölçü yapılarak sağlanmış olur. Aynı anda ve karşılıklı olarak yapılan ölçülerden her yaka için bir klişe doldurularak tamamlanmış olur (Şekil 3.9-10) (Aydın, 1981).

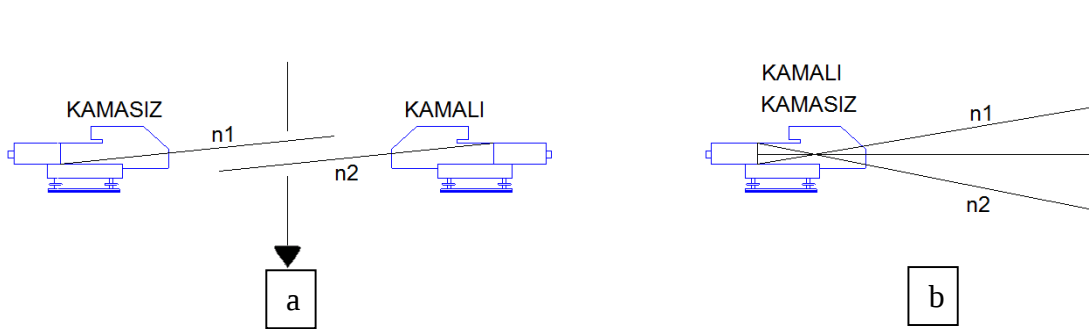


Şekil 3.9. Karşılıklı kolimasyon ve ölçülerin yapılması



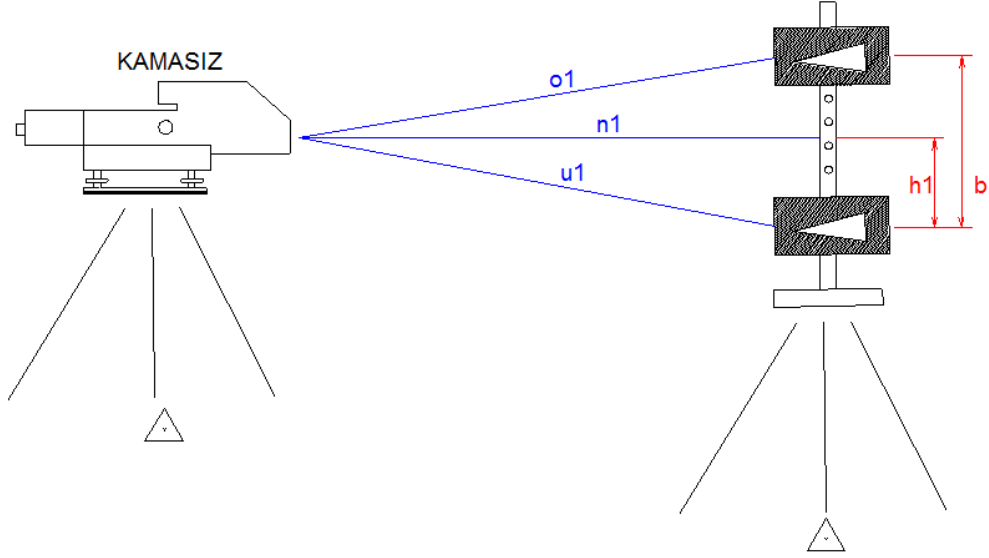
Şekil 3.10. Vadi geçiş nivelmanı

Vadi geçiş nivelmanında ölçüm ve hesap işlemleri özel alet donatıları ile yapılmaktadır. Bu sebepten dolayı diğer yöntemlere göre daha fazla sayıda gözlem ve hesap gerektirir. Hesaplara ilk olarak kolimasyon değeri ile başlanır. n_1 ve n_2 kolimasyon değerleri eğim skalasında ölçülen n kolimasyon değerlerinin ortalamasından elde edilir. Kamasız ve kamalı aletlerin gözlem doğrultuları karşılıklı kolimasyonla aynı değerlerde olup yataya göre ters işaretli yani ters eğimli olurlar (Şekil 3.11).

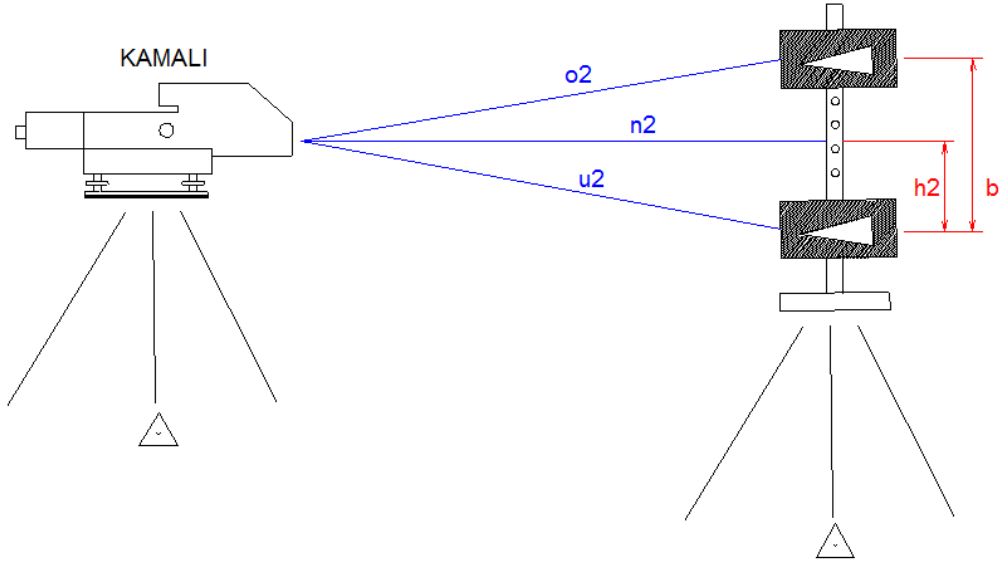


Şekil 3.11. a: Kolimasyon yapılmadan önce, b: Kolimasyon yapıldıktan sonra

Alt ve üst levhalarda eğim skalasından okunan değerlerinin ortalamaları alınarak o_1 , u_1 , o_2 , u_2 eğim değerleri bulunur. Kamasız ve kamalı aletlerle yapılan ölçümler yardımıyla aletlerin gözlem eksenini ile alt levhalar arasındaki yükseklik farkı hesaplanır (Şekil 3.12-13).



Şekil 3.12. Kamasız alet ile yüksekliğin bulunması



Şekil 3.13. Kamalı alet ile yüksekliğin bulunması

Kamasız aletin gözlem ekseni ile alt levha arasındaki yükseklik farkı (h_1) olmak üzere;

$$h_1 = b \cdot \frac{(n_1 - u_1)}{(o_1 - u_1)} \quad (3.6)$$

Kamalı aletin gözlem ekseni ile alt levha arasındaki yükseklik farkı (h_2) olmak üzere;

$$h_2 = b \cdot \frac{(n_2 - u_2)}{(o_2 - u_2)} \quad (3.7)$$

formülleri yardımıyla hesaplanır. Bu formüllerde “b” alt ve üst hedef levhaları arasındaki uzunluktur. Alet çiftinin ortalama gözlem doğrultusunun alt levhaya göre ortalama yükseklik farkı;

$$H = \frac{(h_1 + h_2)}{2} \quad (3.8)$$

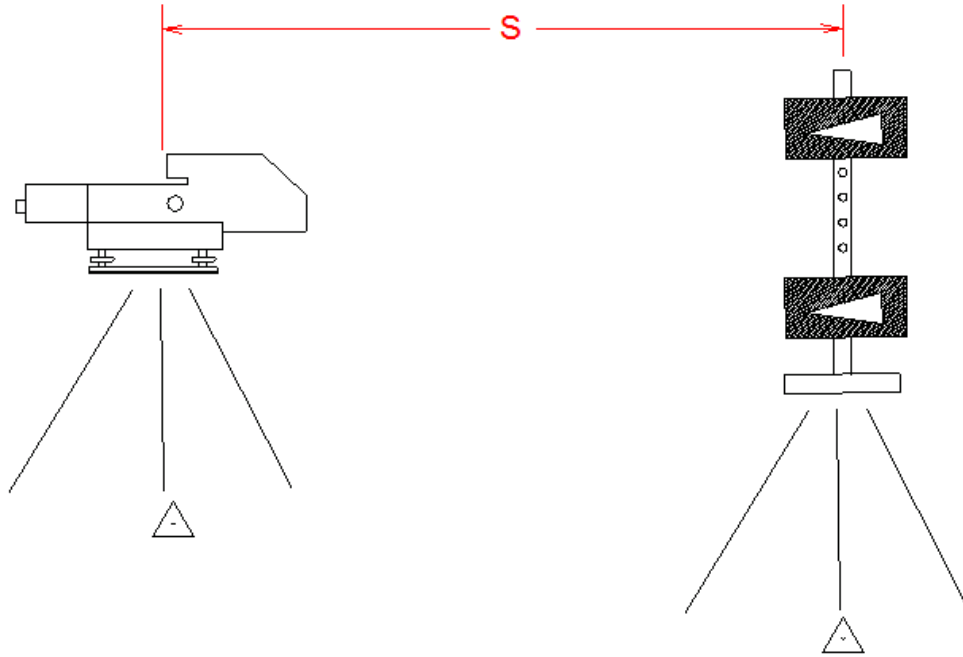
eşitliği yardımıyla bulunur. Kesin yükseklik farkının hesabında kullanılmak üzere alet kurulan nokta ile vadinin karşı yakasındaki hedef levhaları arasındaki uzunluğun bulunması gerekmektedir.

$$S = \frac{b}{(o_1 - u_1)} \quad (3.9)$$

formülü yardımıyla bulunur ancak kesin yükseklik farkının hesabında ışın kırılma ve yer küreselliğinin dikkate alınması için uzunluk;

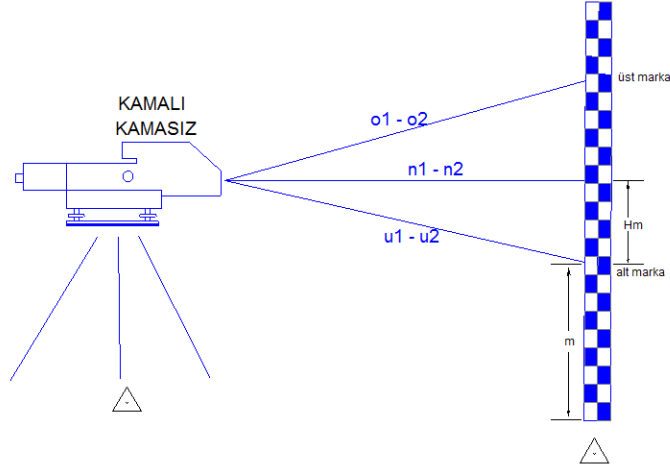
$$S = \frac{10000 \cdot b}{(o_1 - u_1)} = \frac{10000 \cdot b}{(o_2 - u_2)} \quad (3.10)$$

eşitlikleri yardımıyla bulunur. S'nin farklı değerleri birbirinden %8'lik sapma gösterebilir. Buna rağmen bu farklılık sonucu etkilemez (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Alet kurulan nokta ile karşı yakadaki hedef levhaları arasındaki uzunluk

Bir kıyıdaki alet çiftinin kesin yatay ekseni ile alt marka arasındaki yükseklik farkı (H_m) (Miradaki okumaya göre hesaplanan yükseklik farkı) (3.1), (3.2), ve (3.3) nolu formüllerle hesaplanabilir. Alt markanın sabit noktadan yüksekliği bellidir. Levhaların takıldığı çubukta sıfır çıkıntısında yapılan okuma ile bağlantı sağlanmış olur (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Yükseklik bağıntısının kurulması

Eşit gözlem uzunluklarında yükseklik farkı, karşılıklı olarak aynı zamanda yapılan ölçülerin ortalamasından bulunduğu için yer küreselliği ve kırılmanın etkisinden arınmış olurlar. Eğer uzunluklar eşit kılınmamışsa bu durumda karşılıklı bulunan yükseklik farklarının ortalamasının alınmasından önce uzun kenardaki okuma için düzeltme getirmek gerekir. Küresellik ve kırılma düzeltmesi;

$$S = (1 - k) * \frac{s^2}{2R} \quad (3.11)$$

diferansiyeli alınırsa;

$$dh = (1 - k) * \frac{s}{R} * ds \quad (3.12)$$

olarak bulunur ve $k = 0.13$ ve $R = 6370$ km alınırsa,

$$S = 0.137 * s * ds \quad (3.13)$$

olur. Bu formülde dh = düzeltme (mm olarak), S = hedef uzunluğu (km olarak), ds = hedef uzunlukları farkı (m olarak) olarak ifade edilmektedir. Şimdiye kadar yaptığımız ölçülerde ve hesaplamalarda amaç H_r , H_v ve db değerlerini bulmaktır. Vadinin sağ yakasından hesaplanan yükseklik farkı (Şekil 3.16);

$$\Delta h_1 = H_r - (H_v + db) \quad (3.14)$$

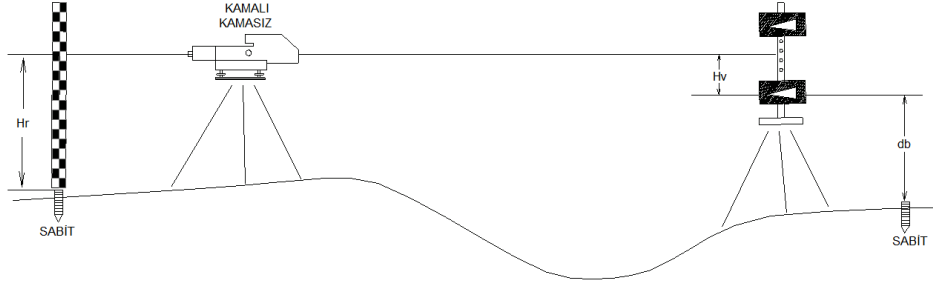
Vadinin sol yakasından hesaplanan yükseklik farkı (Şekil 3.17);

$$\Delta h_2 = (H_r + da) - H_v \quad (3.15)$$

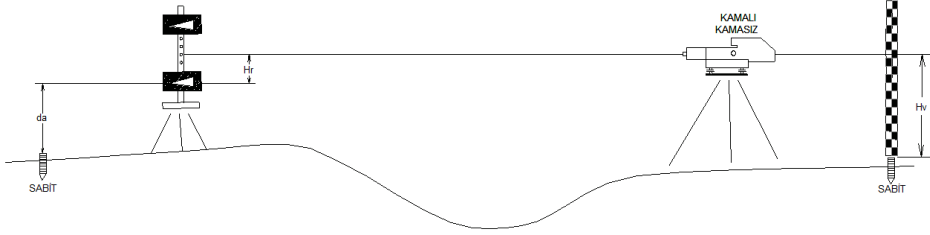
Δh_1 ve Δh_2 sonuçları aynı işaretli olurlar ve bu sonuçların ortalaması alınarak yükseklik farkı;

$$\Delta h = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2}{2} \quad (3.16)$$

şeklinde hesaplanır (Aydın, 1981).



Şekil 3.16. Sağ yaka yükseklik farkı



Şekil 3.17. Sol yaka yükseklik farkı

3.2.2.2 Vadi geçiş nivelmanında doğruluk araştırması

Yapılan çalışma ile elde edilen verilerin doğruluk araştırması ise şu şekildedir.

$$h_1 = b \cdot \frac{(n_1 - u_1)}{(o_1 - u_1)} \quad (3.17)$$

$$h_2 = b \cdot \frac{(n_2 - u_2)}{(o_2 - u_2)} \quad (3.18)$$

$$H = \frac{(h_1 + h_2)}{2} \quad (3.19)$$

$$S = \frac{b}{(o_1 - u_1)} = \frac{b}{(o_2 - u_2)} \quad (3.20)$$

Denklem (3.20)'nin kısmi türevi alınırsa,

$$dh_1 = \frac{(n_1 - u_1)}{(o_1 - u_1)} * db + \frac{b}{(o_1 - u_1)} * d(n_1 - u_1) - b * \frac{(n_1 - u_1)}{(o_1 - u_1)^2} * d(o_1 - u_1) \quad (3.21)$$

olur. Ayrıca,

$$P = \frac{(n_1 - u_1)}{(o_1 - u_1)} \quad (3.22)$$

alınıp denklem (3.21)'de yerine konulursa,

$$dh_1 = p * db + S * d(n_1 - u_1) - S * P * d(o_1 - u_1) \quad (3.23)$$

yazılabilir.

Bir n_1 eğiminin ortalama hatası okuma ve tatbik hatalarından ibarettir. 2'' lik bir intervalde 0.2'' lik tahmin yapılabildiğinden okuma hatası $\pm 0.1''$ alınabilir. Bir eğimin ortalama tatbik hatası, kompensatör hatası ile birlikte $\pm 0.3''$ olarak verilmektedir. Bu ortalama okuma hatası ile birlikte hesaplanırsa $\pm 0.32''$ olarak elde edilir. Pratikte bir eğimin ortalama hatası $M = \pm 0.3''$ alınır. Uzun hedeflerde atmosferik etkenlerden dolayı 0.7'' lik bir ortalama hata kullanılabilir. Okuma hatasının etkisi burada daha az olduğundan ihmal edilebilir. n_1 , o_1 , u_1 'in ortalama hatalarının birbirine eşit olması istenir. Buna göre n_1 in her bir ölçüsüne karşılık o_1 ve u_1 in dört ölçüsünün yapılması gerekir. Bu varsayımlara göre tüm eğimlerin ortalama hatası; $M_n = \pm 0.3''$ alınabilir. İki eğim farkının ortalama hatası; $M = \pm 0.3''\sqrt{2} = \pm 0.4''$ dür. Hedef levhaların yükseklik farkı b , $M_b = \pm 0.3$ mm'lik bir ortalama hata ile ölçülebilir.

Denklem (3.23)'de, $d(n_1 - u_1) = d(o_1 - u_1) = dn$ alınır,

$$dh_1 = p * db + (1 - P) * S * dn \quad (3.24)$$

olarak bulunur. h_1 değerinin ortalaması ise,

$$Mh_1 = \sqrt{P^2 + Mb^2 + (1 - P)^2 * S^2 * M^2} \quad (3.25)$$

olarak elde edilir ve bir sehpaye iki alet kurulduğundan,

$$H = \frac{(h_1 + h_2)}{2} \quad (3.26)$$

olur. Ortalama hata her iki alet için aynı büyüklükte alınabilir. Bir istasyondan hesaplanan yükseklik farkının ortalama hatası;

$$M_H = \frac{M_h}{2} = 0.5M_h \quad (3.27)$$

olur. İki istasyondan bulunan yükseklik farkının ortalama hatası Denklem (3.27)'e göre, $M_H = \pm 1$ mm olur. Her iki istasyondan elde edilen yükseklik farklarının aritmetik ortalaması kesin sonuçtur.

$$H = \frac{(H_1 + H_2)}{2} \quad (3.28)$$

olup, ortalama hata;

$$M_H^2 = \frac{(M_{H1}^2 + M_{H2}^2)}{4} = \frac{(0.5M_h^2 + 0.5M_h^2)}{4} \quad (3.29)$$

$$M_H = \frac{M_h}{2} \quad (3.30)$$

elde edilir (Aydın, 1981).

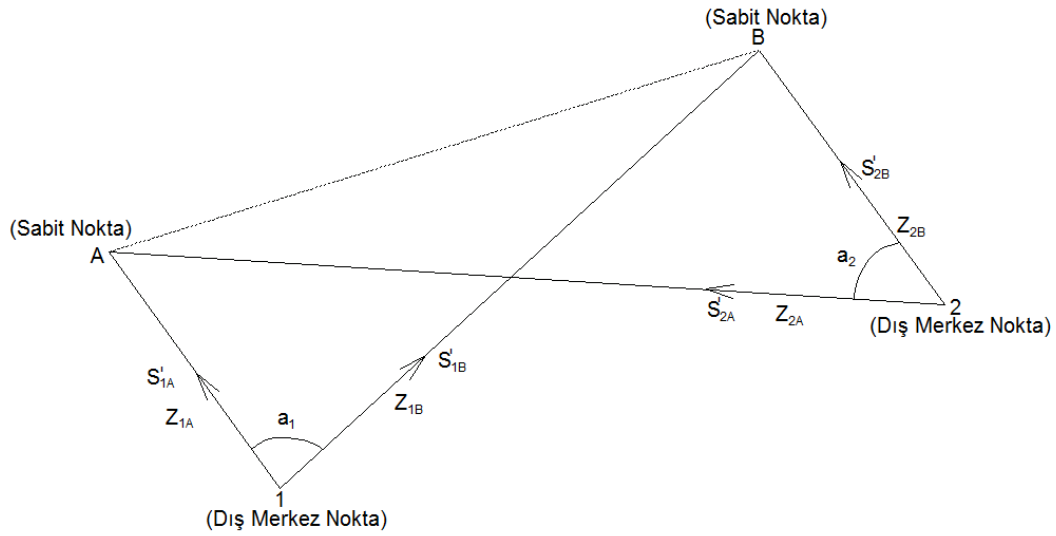
3.2.3. Trigonometrik nivelman

Yükseklik farklarının bulunmasında istenilen doğruluğa göre ölçme yöntemi değişiklik gösterir. Yükseklik farkının belirlenmesinde geometrik nivelman yöntemi tercih edilirken, geometrik nivelmanın kullanılmasının mümkün olmadığı zor arazi yapısına sahip ve uzun mesafe ölçmelerinde örneğin vadi geçişlerinde trigonometrik nivelman yöntemi kullanılabilir. Trigonometrik nivelman yönteminde yükseklik farkları günümüzde elektronik uzaklık ölçme aletleri yardımıyla düşey açılar, yatay açılar ve eğik mesafeler ölçülerek yükseklik farkları belirlenir.

Trigonometrik nivelman ölçmeleri yer, zaman ve düşey açı gözlemlerinin yapılış biçimine göre tek taraflı gözlemler ile trigonometrik nivelman, atlamalı (ortadan) gözlemler ile trigonometrik nivelman ve karşılıklı gözlemler ile trigonometrik nivelman yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden karşılıklı ve eş zamanlı trigonometrik nivelman yöntemi ile refraksiyon ve yer küreselliği etkileri en aza indirildiğinden dolayı ön plana çıkmaktadır (Ceylan ve İnal, 1996). Tek taraflı ölçme modeli nivo yüzeylerinin aynı merkezli küre yüzeyleri olduğu varsayılarak ölçüler yapılır ve hesaplamalar yapılır. Atlamalı gözlemler ile trigonometrik nivelman ise geometrik nivelmana benzer şekilde geri ve ileri noktalara düşey açı ve mesafe okumaları yapılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Karşılıklı gözlemler ile trigonometrik nivelmanda ise istenen hassasiyete göre eş zamanlı ya da eş zamanlı olmayan karşılıklı trigonometrik nivelman yoluyla düşey açı ve mesafe ölçümleri yapılarak hesaplamalar yapılır (Hung ve ark., 2016).

3.2.3.1 Karşılıklı ve eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelman

A ve B noktaları, yükseklik farkları belirlenecek sabit noktaları, 1 ve 2 numaralı noktalar ise dış merkezli yani alet kurulan noktaları göstermektedir. Yatay açılar a_1 ve a_2 , dış merkez noktaları ile yükseklik farkları belirlenecek sabit noktalar arası eğik mesafeyi $S'_{1A} - S'_{1B} - S'_{2A} - S'_{2B}$, dış merkezli noktalardan sabit noktalara yapılan düşey açı ölçümlerini $Z_{1A} - Z_{1B} - Z_{2A} - Z_{2B}$ ifade etmektedir (Şekil 3.18) (Ceylan ve İnal, 1996).



Şekil 3.18 Dış merkezli eş zamanlı trigonometrik nivelman ölçme modeli

Dış merkezli noktalar ile sabit noktalar arası yatay uzunluklar S_{1A} - S_{1B} - S_{2A} - S_{2B} olmak üzere;

$$S_{1A} = S'_{1A} * \sin Z_{1A} \quad (3.31)$$

$$S_{1B} = S'_{1B} * \sin Z_{1B} \quad (3.32)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. A ve B noktaları arası yatay uzunluk, ölçme modelinde oluşan üçgenlerde cosinüs teoremi yardımıyla;

$$S_{AB} = \sqrt{S_{1A}^2 + S_{1B}^2 - 2 * S_{1A} * S_{1B} * \cos \alpha_1} \quad (3.33)$$

eşitliği yardımıyla kontrollü olarak hesaplanır ve hesaplanan sabit noktalar arası iki ayrı yatay uzunluğun ortalaması alınarak hesaplanır.

$$S_{AB} = \frac{S_{AB} + S_{AB}}{2} \quad (3.34)$$

Sabit noktalar arası eğik uzunluk ise;

$$S'_{AB} = \sqrt{S_{AB}^2 + dh^2} \quad (3.35)$$

formülü yardımıyla hesaplanır. A ve B noktaları arasındaki yükseklik farkı dh olmak üzere;

$$dh_{1A} = S_{1A} * \cot g Z_{1A} \quad (3.36)$$

$$dh_{1B} = S_{1B} * \cot g Z_{1B} \quad (3.37)$$

dh büyük bir yaklaşık ile hesaplanır.

Dış merkezli noktadan ölçülen düşey açıların merkeze dönüştürülmüş değeri;

$$dh' = dh_{1A} + \frac{S_{AB} - S_{1B}}{\tan Z_{1B}} \quad (3.38)$$

$$e = \frac{S_{AB}}{\tan Z_{1B}} \quad (3.39)$$

$$\partial_{DC} = \arctan \frac{dh' \cdot \sin Z_{1B}}{e - dh' \cdot \cos Z_{1B}} \quad (3.40)$$

$$Z_{AB} = Z_{1B} + \partial_{AB} \quad (3.41)$$

eşitlikleri yardımıyla hesaplanır. Aynı işlemler vadinin diğer yakasında yapılan eş zamanlı ölçü sonuçları içinde yapılarak merkeze dönüştürülmüş düşey açılar hesaplanır ve vadinin her iki yakasında tesis edilen sabit noktalar arası yükseklik farkı;

$$dh_{AB} = \frac{1}{2} S'_{AB} \cdot (\cos Z_{AB} - \cos Z_{BA}) \quad (3.42)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanır (Hirsch ve ark., 1990).

3.2.3.2. Karşılıklı, Dış Merkezli, Eş Zamanlı Trigonometrik Nivelmanda Doğruluk Analizi

Karşılıklı dış merkezli eş zamanlı trigonometrik nivelman sonucuna belirlenememiş ve refraksiyon hatasını eklenerek hata artma yasası uygulanır ve karşılıklı trigonometrik nivelmanın varyansı;

$$dh_{AB} = \frac{1}{2} S'_{AB} \cdot (\cos Z_{AB} - \cos Z_{BA}) + \frac{S^2}{4R} * k \quad (3.43)$$

$$\sigma^2_{dh} = \cos^2 Z_{IK} * \sigma^2_S + \frac{S^2 * \sin^2 Z}{2} * \sigma^2_Z + \frac{S^4}{16R^2} * \sigma^2_k \quad (3.44)$$

$$\sigma^2_L = \frac{L}{S} * \sigma^2_{dh} \quad (3.45)$$

bağıntısıyla hesaplanır (Ceylan, 1993).

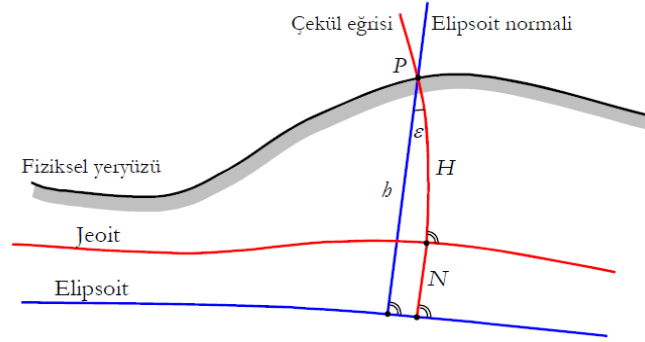
3.2.4. GNSS Nivelman

GNSS nivelmanı GNSS ile yükseklik belirlemesi ve jeoit modellerinin birleşimidir. GNSS nivelman tekniği, noktalar arası görüş gerektirmeyen uygun maliyetli bir tekniktir. GNSS ölçmelerinden elde edilen yükseklikler elipsoidal yüksekliklerdir. Pratikte kullanılabilmesi için ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekmektedir. Dönüşüm için yeterli sayıda dayanak noktalarına veya tanımlanmış bir jeoit modeline ihtiyaç vardır. Bir noktaya ortalama deniz düzeyinden itibaren nivelman yöntemiyle

ortometrik yükseklik, GNSS yardımıyla elipsoidal yükseklik belirlenirse noktadaki jeoit yüksekliği,

$$N = h - H \quad (3.46)$$

eşitliği ile hesaplanabilir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Elipsoidal (h), ortometrik (H) ve Jeoit yükseklikleri (N)

Jeoit yüksekliklerinin hesabında global jeoit modelleri veya ulusal jeoit modelleri kullanılabileceği gibi lokal jeoit modeli de kullanılabilir. Ülkemizdeki GNSS nivelman belirlemelerinde Ulusal Jeoit modeli (TGyy) ve lokal jeoit modeli önerilmektedir. (B.Ö.H.H.B.Ü.Y. 2018).

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğinde (2018), ulusal Jeoit modelinin kullanılması durumunda 200 km² 'ye kadar 4 nokta, 200 km² den büyük alanlar da her 200km² için ilave 1 nokta seçilmek suretiyle dayanak noktaları belirlenir. Dayanak noktaları GNSS ile C1 nokta doğruluğunda gözlemler yapılarak elipsoidal yükseklikler elde edilir. Ayrıca, bu dayanak noktalarına geometrik nivelman ile Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağına (TUDKA99) dayalı ortometrik yükseklikler de belirlenir. Hem elipsoidal hem de ortometrik yükseklikleri bilinen dayanak noktalarının (3.46) bağıntısı ile hesaplanan jeoit yükseklikleri ile mevcut Türkiye Jeoit (TGyy) modelinden türetilen jeoit yükseklikleri arasındaki farklar, bir trend yüzeyi yardımıyla modellenerek, Türkiye jeoit modelinden elde edilen jeoit yükseklikleri iyileştirilerek ortometrik yüksekliklere dönüşüm yapılabilir.

Lokal jeoit modelinin uygulanması durumunda ise proje alanında topografyayı en iyi temsil eden karakteristik noktalardan oluşan Jeoit dayanak noktaları (JDN) seçilir. Jeoit dayanak noktalarının sayısı, ilk 20 km² için 6 nokta, daha sonra ise her 15 km² için ilave 1 nokta olacak sayıda belirlenir. Jeoit dayanak noktalarının elipsoidal yükseklikleri GNSS ile belirlenir iken ortometrik yükseklikleri geometrik nivelman ile belirlenir. Jeoit dayanak noktalarına ait hesaplanan Jeoit yükseklikleri yardımıyla 2. veya 3. dereceden

bir yüzey modeli oluşturulur. Proje alanındaki diğer noktaların jeoit yükseklikleri oluşturulan lokal jeoit modellinden hesaplanarak, GNSS nivelman ile ortometrik yükseklikler hesaplanabilir. GNSS nivelman tekniğinin doğruluğu uydu konum bilgileri, dış ortam vb. birçok parametreye bağlı olması yanında esas olarak jeoit model doğruluğuna bağlıdır. Genel olarak cm mertebesinde doğruluk elde edilmekte olup, yüksek doğruluk gerektiren işler için yeterli değildir. Ayrıca, uydu sinyallerinin ciddi şekilde kesildiği yoğun yapılaşmanın olduğu ve ormanlık alanlarda uygulanamaz.

3.2.5. Barometrik nivelman

Basıncın yükseklik ile değişimi ilkesine uygun olarak nokta yüksekliklerinin belirlendiği bir tekniktir. Elde edilen doğruluk $\pm 1-3$ m olması nedeniyle, projelerdeki istikşaf çalışmalarında uygulanan bir yöntemdir. Yüksek doğruluk gerektiren işlerde tercih edilmezler (İnce, 1987).

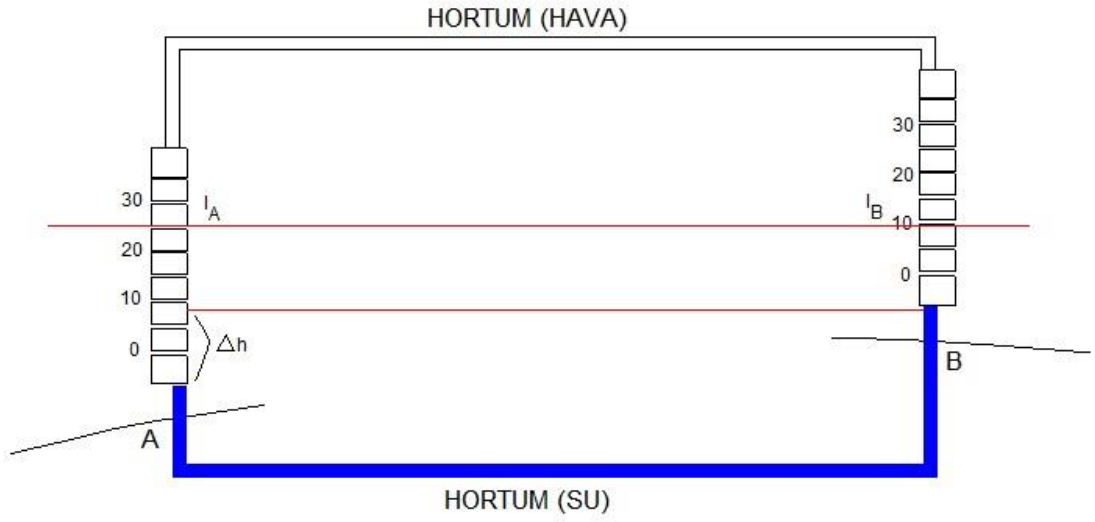
A ve B noktalarındaki yükseklik farkı;

$$\Delta H = 32(500 + t_1 + t_2) \frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2} \quad (3.47)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada; B_1 , B_2 basınç ve t_1 , t_2 ise sıcaklıklardır.

3.2.6. Hidrostatik nivelman

Birleşik kaplar teorisine uygun olarak oluşturulan sabit bir ölçme düzeneği yardımıyla noktalar arası yükseklik farkı yüksek doğrulukta belirlenebilmektedir. Uygulaması zor ve zaman alıcı olması nedeniyle pek fazla tercih edilmez (Erkaya, 2006). Uzun mesafeli arazi ölçmelerinde örneğin vadi geçişlerinde yüksekli farkı belirlenmesinde kullanılmaktadır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Hidrostatik nivelman

Yükseklik farkı;

$$\Delta H = I_A - I_B \quad (3.48)$$

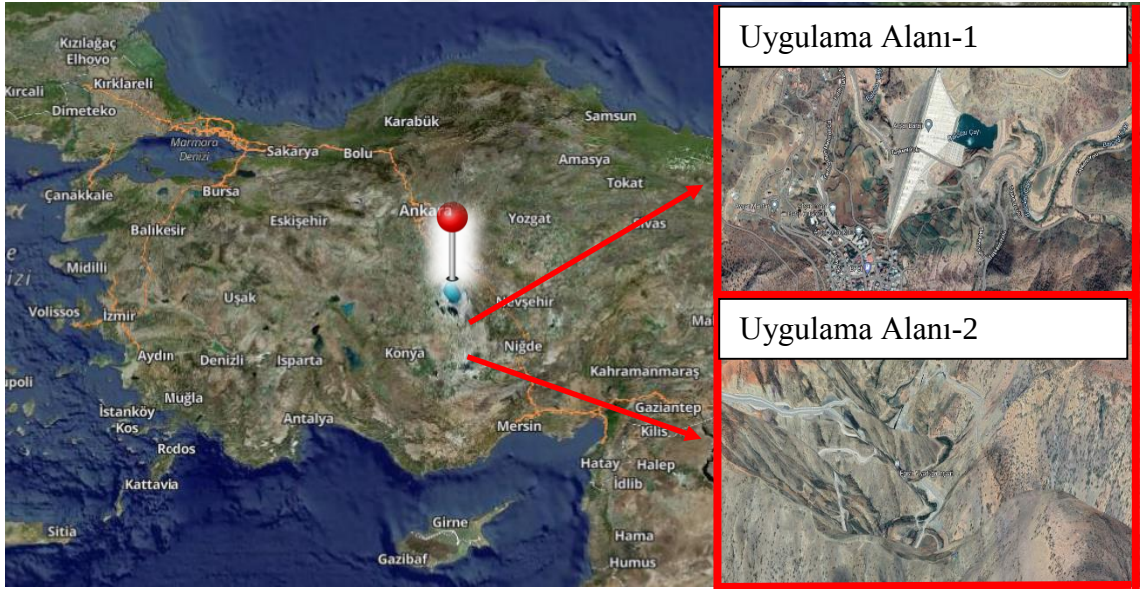
formülü ile hesaplanmaktadır.

4. UYGULAMA

Bu bölümde, çalışmanın amacına uygun olarak seçilen uygulama alanı, arazi çalışmaları ve elde edilen sonuçlar ele alınmıştır.

4.1. Uygulama Alanları

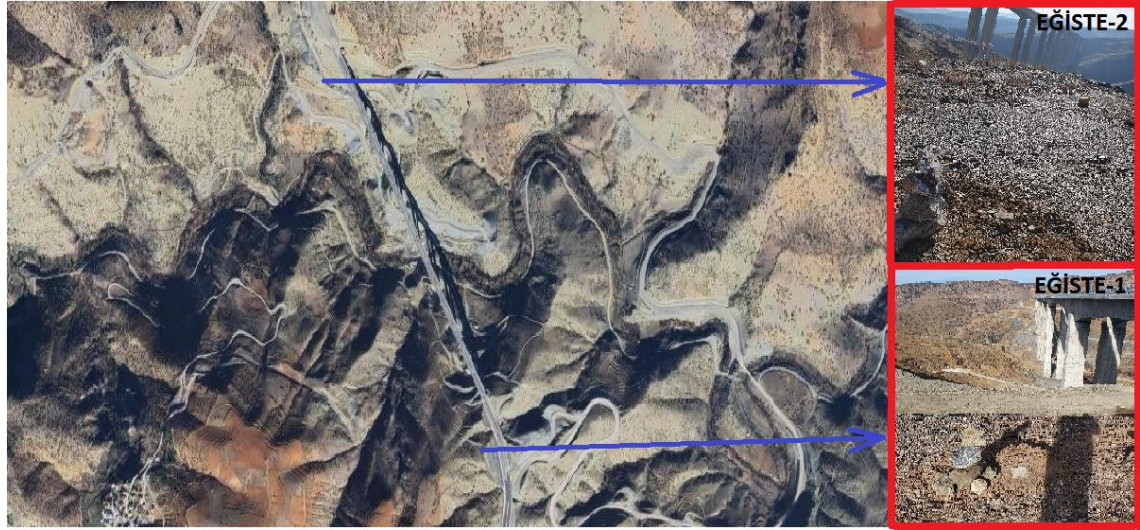
Bu çalışma kapsamında vadi geçiş nivelmanının performansını değerlendirebilmek amacıyla iki adet uygulama alanı seçilmiştir. Yaklaşık koordinatları $36^{\circ}55'09''N$, $32^{\circ}33'43''E$ olan uygulama alanı-1: Konya İli Taşkent İlçesi, Afşar Mahallesi'ndeki Göksu Nehri'nin kollarından biri olan Ilıcıpınar Deresi üzerinde kurulu Afşar Hadimi Barajı ve yaklaşık koordinatları $37^{\circ}06'16''N$, $32^{\circ}27'59''E$ olan uygulama alanı-2: Konya İli, Hadim İlçesi, Eğiste Mahallesi'ndeki Eğiste Hadimi Viyadüğü olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1-2-3). Bu iki uygulama alanında belirlenen noktalar arası yükseklik farkları vadi geçiş nivelman tekniği, geometrik nivelman tekniği, trigonometrik nivelman tekniği, GNSS nivelman tekniklerine göre belirlenmiş ve vadi geçiş nivelman tekniği sonuçlarının diğer tekniklere göre avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Uygulama alanları yaklaşık konumları



Şekil 4.2. Uygulama alanı-1 (Afşar-Hadimi barajı)

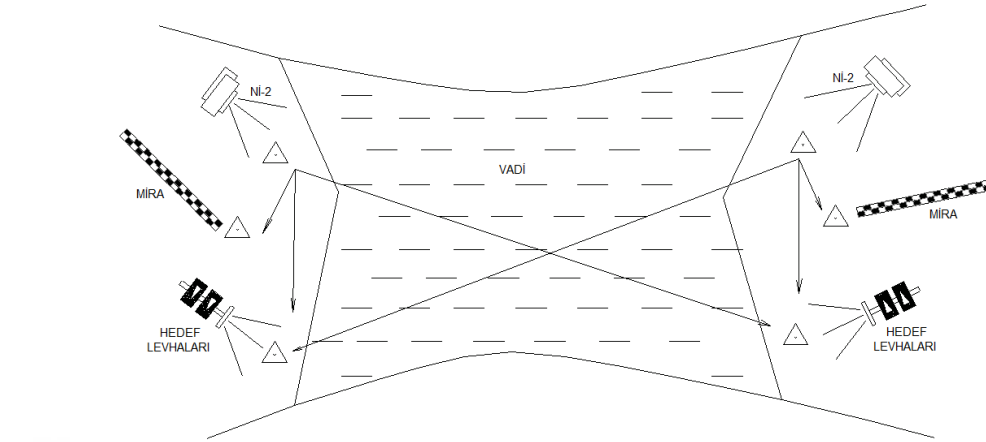


Şekil 4.3. Uygulama alanı-2 (Eğiste-Hadimi viyadüğü)

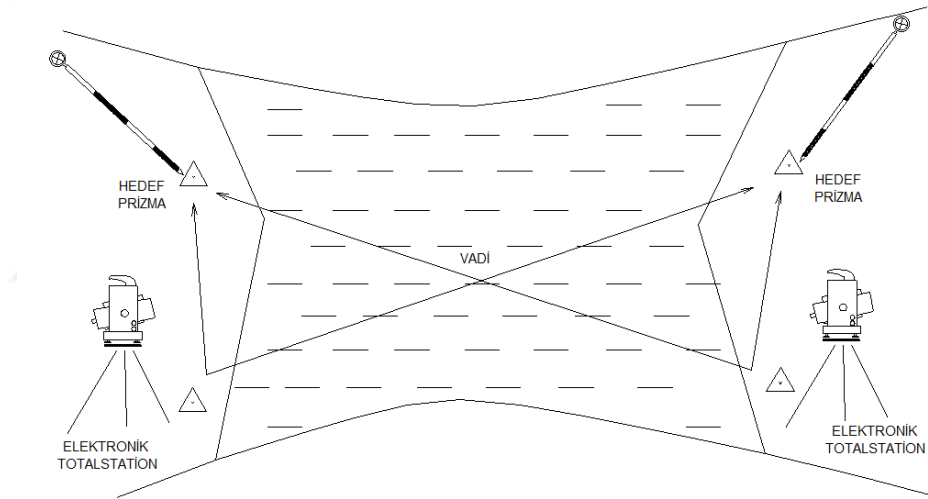
4.2. Nokta yerlerinin Seçimi

Vadi geçiş nivelmanı özel bir ölçme yöntemi olduğundan ölçümlerinin yapılabilmesi için vadinin her iki yakasında sabit noktaların tesisi yapılırken vadinin bir yakasında uygun bir yer seçilir. Daha sonra herhangi bir nivo ile karşı kıyıya bakılarak yaklaşık aynı yükseklikte bir yer saptanır. Vadinin her iki yakasındaki sabit noktaların yükseklik farkı az olacak şekilde nokta yerlerine karar verilir. Vadi geçiş nivelmanında yükseklik farkları belirlenecek olan sabit noktalara mira tutulur, bunun yanı sıra her iki yakada üzerine alet kurulacak noktaların aynı özellikteki zeminde ve açık yerde tesis edilmelidir. Noktalar mümkün olduğunca ağaç altlarına ve yapı önlerine tesis edilmemelidir. Su üzerinden ölçü yapılacak ise noktaların su yüzeyinden yükseklikleri

yaklaşık aynı olmalıdır. Çalışma alanları olan Afşar - Hadimi barajı ve Eğiste - Hadim viyadüğüne tesis edilen noktaların yer planları ve yaklaşık konumları gösterilmiştir (Şekil 4.4-5).

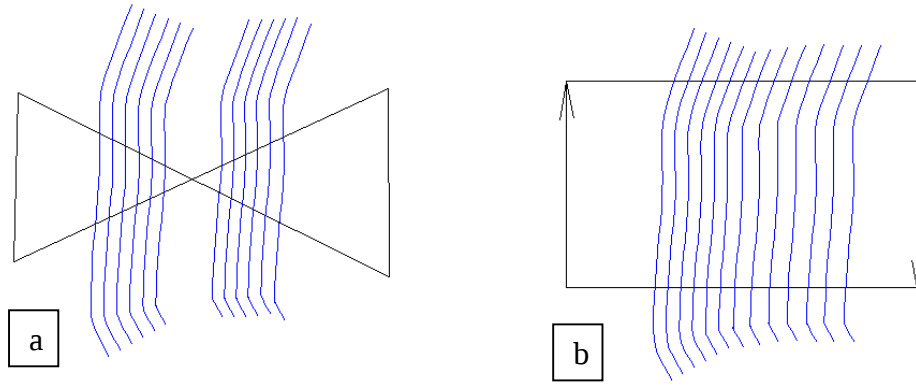


Şekil 4.4. Vadi geçiş nivelmanı için nokta yerleri planlaması



Şekil 4.5. Karşılıklı ve eş zamanlı trigonometrik nivelman için nokta yerleri planlaması

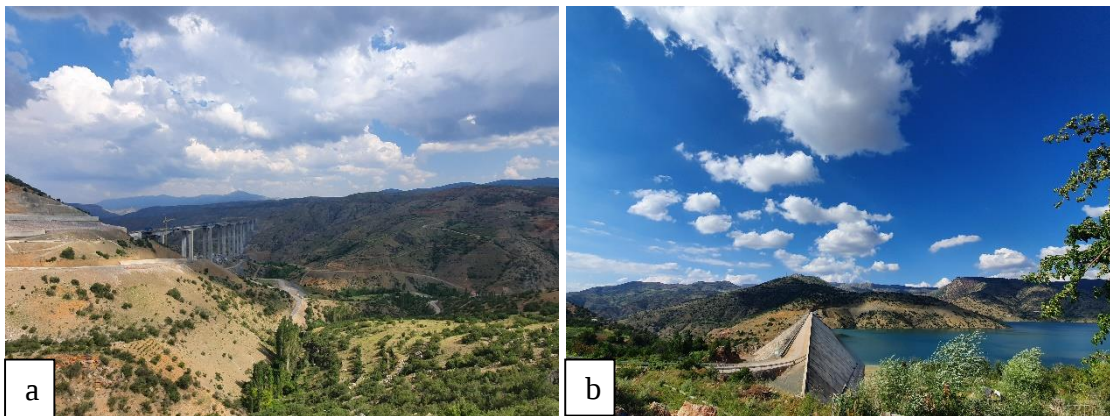
Kırılmanın ve küreselliğin etkisini ortadan kaldırmak için vadinin bir yakasındaki alet kurulan nokta ile vadinin diğer yakasındaki levhalar arası uzaklık ve vadinin bir yakasındaki alet kurulan nokta ile vadinin diğer yakasındaki levhaların kurulacağı noktalar arasındaki uzunluk farkı yakın olmalıdır. Bu kriteri elektronik uzunluk ölçer ile sağlanabilir ya da vadinin bir yakasındaki alet kurulan nokta ile hedef levhalarının kurulduğu nokta arasındaki doğru göz kararı ile, vadinin diğer yakasındaki alet kurulan nokta ile hedef levhalarının kurulacağı nokta arasındaki doğruya paralel alınmak suretiyle sağlanabilir (Şekil 4.6) (Bitelli ve ark., 2018).



Şekil 4.6. Kırılma etkisi

4.3. Vadi Geçiş Nivelmanı

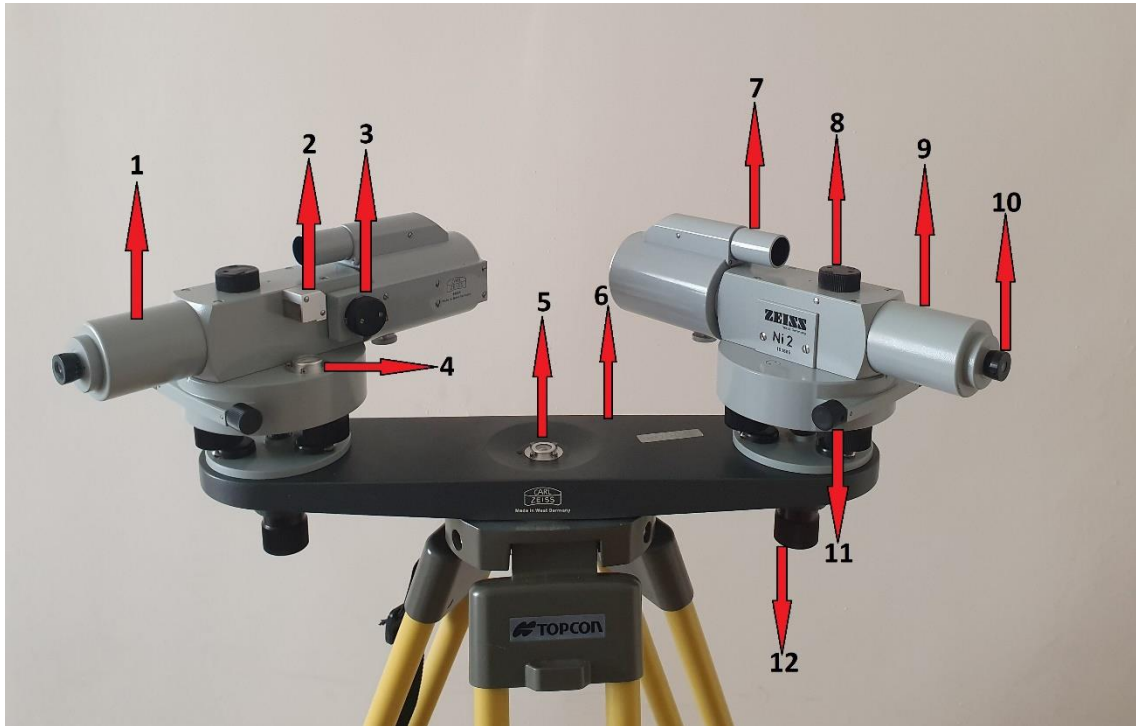
Klasik geometrik nivelmanla geniş yataklı vadi ve su üzerlerinde (boğazlarda, geniş yataklı nehirlerde ve normal nivelman yoluyla geçilmesi uygun bulunmayan vadilerde) yükseklik farklarını hassas olarak tespit etmek mümkün değildir. Uzak hedeflerde mira üzerinde okuma yapmak güçleşir ve bazen de mira üzerindeki rakamlar seçilemez. Ayrıca geri ve ileri okumalarda alet-mira arasındaki uzunluklar farklı olur. Büyük uzunluklarda ışığın kırılması ve yer küreselliği söz konusudur. Aletlerin eğim hatalarının da büyük etkisi vardır. Bu nedenle vadi geçişlerinde özel ölçü yöntemlerine başvurulur. Bu özel yöntemlerde refraksiyon hatasının yok edilmesi için karşılıklı ve eşzamanlı ölçüler yapılır. Aletlerdeki gözleme ekseninin eğiklik hatasını ortadan kaldırmak için ya aletlerin yerleri değiştirilir ya da bir kıyıda çift alet kullanılarak, oluşacak hatalar ters işaretli olarak aletlere yüklenmiş olur. Çok sayıda ölçü yapılarak vadinin bir kıyısından diğer kıyısına yükseklik taşınmış olur (Şekil 4.7) (Aydın, 1981; Tuğluoğlu, 1972).



Şekil 4.7. a: Geniş yataklı vadi, b: Su üzeri alanlar

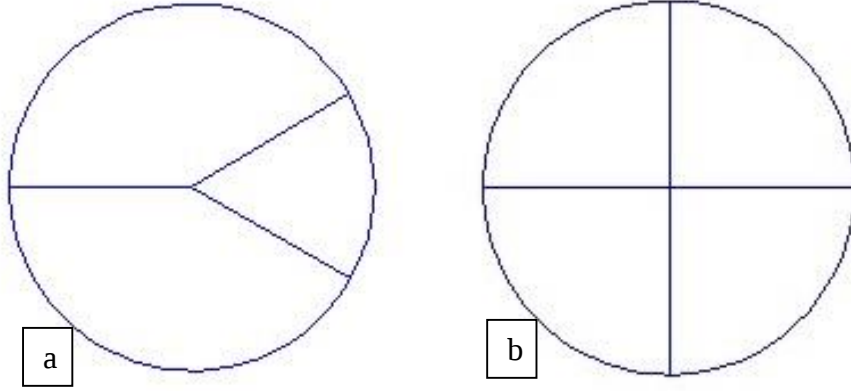
4.3.1. Vadi geçiş nivelmanında kullanılan alet donanımı

Vadi geçiş nivelmanında kullanılan donanım Carl Zeiss Oberkochen firması tarafından 1960 yıllarında geliştirilmiştir. Alet sehpa üzerine yerleştirilen küresel düzeçli bir tabla ve tabla üzerine yerleştirilen 2 adet Ni 2 aleti ve bu aletlerin objektifleri önüne takılan, kolimasyon değerleri ile alt ve üst levhalardaki eğim açılarını ölçmeye yarayan bir paralel cam ve mikrometre donanımı vardır (Şekil 4.8).



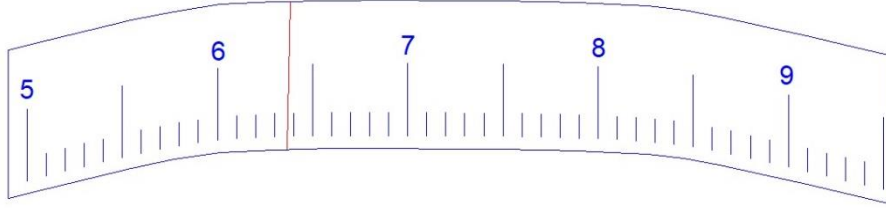
Şekil 4.8. Zeiss çift alet donatımı. 1-Kamasız alet (Ni 2) 2-Küresel düzeç ayarı için ayna 3-Mikrometre 4-Küresel düzeç (Ni 2) 5-Küresel düzeç (Aletlerin monte edildiği tabla) 6-Aletlerin monte edildiği tabla 7-Okuma skalası 8-Dürbün netleştirme halkası 9-Kamalı alet (Ni 2) 10-Dürbün oküleri 11-Yatay hareket vidası 12-Aletleri tablaya sıkıştırma vidası

Ni 2 nivolardan kamalı ve kamasız olmak üzere iki adet nivodan oluşmaktadır. Bu nivolara ait gözlem çizgileri Şekil 4.9’da görüldüğü gibidir.



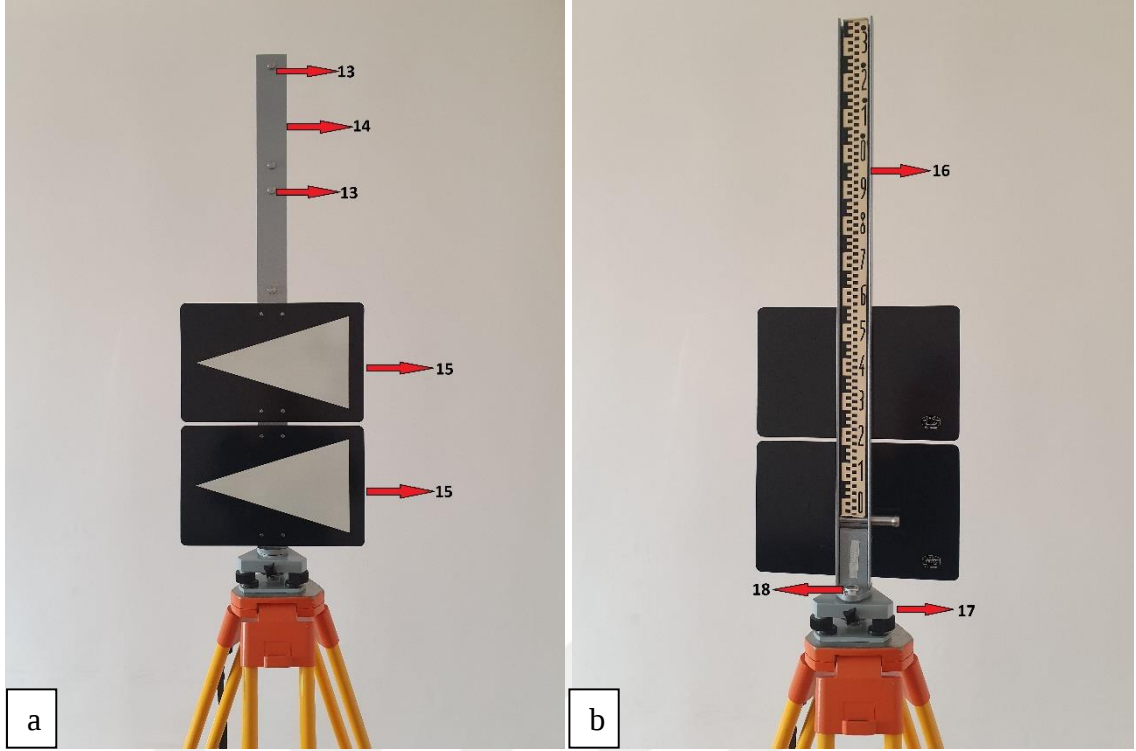
Şekil 4.9. Gözlem çizgileri. a : Kamalı, b : Kamasız

Kamalı ve kamasız Ni-2 aletlerine eğim başlıkları takılır. Eğim skalası 0'dan 20'e kadar bölümlendirilmiştir. 10 orta okuma değeridir. Okunan değer düzeçli aletin hedef ekseninin yatayla kaç derecelik açı yaptığını gösterir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Eğim Skalası

Uzak hedeflerde mira yerine hedef levhaları kullanılmaktadır (Şekil 4.11). Levhalar, küresel düzeçli bir çubuk üzerine takılır. Hedef levhaları çubuk üzerinde 20, 40, 60 cm aralıklarla monte edilebilmektedir. Uzaktan iyi görülebilmesi için siyah-beyaz yapılmıştır. Ölçü yatay <'nin tam ortasından yapılır (Tuğluoğlu, 1972).



Şekil 4.11. Hedef levhaları. 13. Hedef levhalarının takılma yatakları 14. Hedef levhaları çubuğu 15. Hedef levhaları 16. 70 cm uzunluğunda $\frac{1}{2}$ cm taksimatlı cetvel 17. Tribrah (Hedef levhalarının takılacağı çubuk için) 18. Küresel düzeç

4.3.2. Vadi geçiş nivelmanı ölçmelerinde hesap çizelgesinin doldurulması

Çizelge 4.1’de verilen vadi geçiş nivelmanı hesap çizelgesi aşağıda anlatılan yöntemle göre doldurulur. Birinci kısımdaki işlemlerin yapılması mira üzerindeki okumalar ile ilgilidir. 1 nolu alet ile n_1 değeri 10.00’a ayarlanmıştır. Miradaki yukarı markada okunan iki (skala) değerlerin ortalaması olan o_1 ve yine aynı şekilde aşağı markada okunan iki (skala) değerlerinin ortalaması u_1 bulunur ve yerine yazılır. 2 nolu aletle yapılan ölçüler için n_2 , o_2 ve u_2 değerleri ortalama alınarak bulunur ve yerlerine yazılır. n_1-u_1 , o_1-u_1 , n_2-u_2 ve o_2-u_2 farkları hesaplanır. h_1 , h_2 , H ve S formüllerinden yararlanarak bu değerler hesaplanır. İkinci kısımdaki işlemlerin yapılması karşı kıyıdaki hedef levhalarında yapılan okumalarla ilgilidir. 1 nolu aletle karşı kıyıdaki hedef levhalarında yapılan 8 okumanın ortalaması alınır ve bu değerler o_1 , u_1 ’dir. 2 nolu aletle yapılan 8 okumanın ortalaması ise o_2 ve u_2 değerlerini verir. n_1 ve n_2 ortalama değerleri bulunur. Bu işlem bir önceki ve bir sonraki n değerlerinin ortalaması alınarak bulunur. n_1-u_1 , o_1-u_1 , n_2-u_2 , o_2-u_2 farkları hesaplanır. Bu değerlere göre h_1 , h_2 , H ve S değerleri ilgili formüller yardımıyla bulunur ve yerlerine yazılır. Bu işlem 6 kere yapılır. Birinci

$$\Delta h = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2}{2} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.1. Vadi geçiş nivelman çizelgesi

Ölçü Tarihi/Saati : _____

Ölçüyü Yapan : _____

İstasyon Noktası : _____

Hava Durumu : _____

$$h_1 = b \cdot \frac{(n_1 - u_1)}{(o_1 - u_1)}$$

$$h_2 = b \cdot \frac{(n_2 - u_2)}{(o_2 - u_2)}$$

$$H = \frac{(h_1 + h_2)}{2}$$

$$S = \frac{10000 \cdot b}{(o_1 - u_1)}$$

1.ALET				2. ALET									
Kolimasyon				n1	Kolimasyon		.....	.....	n2				
Mira	Yukarı	.....	.....	o1	Mira	Yukarı	.....	.....	o2	n1-u1	n2-u2	h1	H
	Aşağı	.....	.....	u1		Aşağı	.....	.....	u2	o1-u1	o2-u2	h2	S
Kolimasyon				n	Kolimasyon		.....	.....	n				
.....	.....	.....	.....	ort. n1	.....	.....	.....	.....	ort n2	n1-u1	h1		
.....	.....	.....	.....	o1	.....	.....	.....	.....	o2	o1-u1	h2		
.....	.....	.....	.....	u1	.....	.....	.....	.....	u2	n2-u2	H		
.....	.....	.....	.....		.....	.....	.....	.....		o2-u2	S		
Kolimasyon				n	Kolimasyon				n				

Yükseklik belirleme yöntemlerinden biri olan geometrik nivelman tekniği bilimsel çalışmalarda, mühendislik hizmetleri gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Yüksek doğruluğun önem arz ettiği çalışmalarda ise geometrik nivelman tekniği kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında uygulama alanlarında geometrik nivelman yöntemi ile yükseklik farkı belirlenmiştir. Geometrik nivelman yönteminde sonuçların doğruluğunu artırmak için kullanılan aletler ve hesaplama yöntemleri nivelman tekniği ortalama hatası dikkate alınarak belirlenmiştir (Ünver, 1988).

4.4.1. Geometrik nivelman donanımı

Geometrik nivelman tekniği ile yapılan yükseklik farklarının belirlenmesinde 1 adet Topcon DL-502 serisi elektronik dijital nivo, 1 adet alet sehпасı, 2 adet Topcon marka alüminyum 5 metrelik mira ve 2 adet mira çarığı kullanılmıştır. Topcon DL-502 elektronik dijital nivo tek tuş ile ölçüm ve kayıt yapabilen, 32x büyültme oranına sahip, 2000 nokta dahili hafızaya sahip ve 1 km gidiş dönüş nivelmanında yaklaşık 1.0 mm standart sapma özelliklerine sahip elektronik dijital nivodur. Miralar ise elektronik dijital nivolar ile ölçüm yapılabilmesi için bir yüzü barkod bölümlü olarak, klasik geometrik nivelman ölçümlerini yapabilmek için ise diğer yüzü mira bölümlmesi şeklinde üretilmiştir. Miraların düşey durmasını sağlamak amacıyla ise mira çarıkları kullanılmıştır. Ölçüme başlamadan önce kullanılan elektronik dijital nivonun ve diğer aletlerin kalibrasyon ayarları yetkili servisinde kontrolleri yaptırılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. a: Topcon DL-502 elektronik dijital nivo, b: Alet sehпасı, c: Topcon marka alüminyum 5 metrelik mira, d: Mira çarığı

4.4.2. Geometrik nivelman ölçme ve hesapların yapılması

Geometrik nivelman yönteminde (GIIG) şeklinde yani geri-I, ileri-I, ileri-II, geri-II şeklinde okumalar yapılarak yükseklik farkları ikişer kez ölçülerek hesaplanmıştır. Ayrıca kaba hataların önüne geçmek ve yüksek doğruluğu sağlayabilmek için tesis edilen sabit noktalar arasındaki ölçmeler, gidiş-dönüş olarak yapılmıştır (Ekinci, 2008). Ölçümler yapılırken refraksiyon etkisinin en az olduğu sabah ve öğleden sonraki zaman dilimleri tercih edilmiştir. Hassasiyeti artırmak amacıyla sakin hava şartlarında ölçümler gerçekleştirilmiş olup, ölçümler sırasında alet ve miralar sağlam zeminlere kurularak miralar ile beraber çarıklar kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Geri ve ileri okumalar sırasında alet ile geri ve ileri miralar arası mesafe yaklaşık aynı olacak ve 30-

35 metreyi geçmeyecek şekilde yapılmıştır. Okumalar 0.50 m'nin altında olmayacak şekilde yapılmıştır. Ölçüler gidiş ve dönüş olarak yapılmış olmakla beraber gidiş ve dönüş ölçüleri aynı güzergâh üzerinde yapılmasına dikkat edilmiştir. Miraların sıfır konum hatasının önüne geçmek için gidiş ve dönüş ölçümleri sırasında alet kurma sayısının yani istasyon sayısının çift olmasına dikkat edilmiştir. Miralar ve aletler üzerindeki düzeçler ölçü sırasında sürekli gözlem yapılarak düzeç kontrolleri sağlanmıştır. Geometrik nivelmanda ortalama hata $0.5 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ ve gidiş-dönüş yükseklik farkı $\pm 4\sqrt{S} \text{ (mm)}$ hatayı geçmeyecek şekilde ölçüler tamamlanmıştır (Aydın, 1998). Böylelikle iki farklı çalışma bölgesindeki yükseklik farkları geometrik nivelman tekniği ile belirlenmiştir (Şekil 4.13).



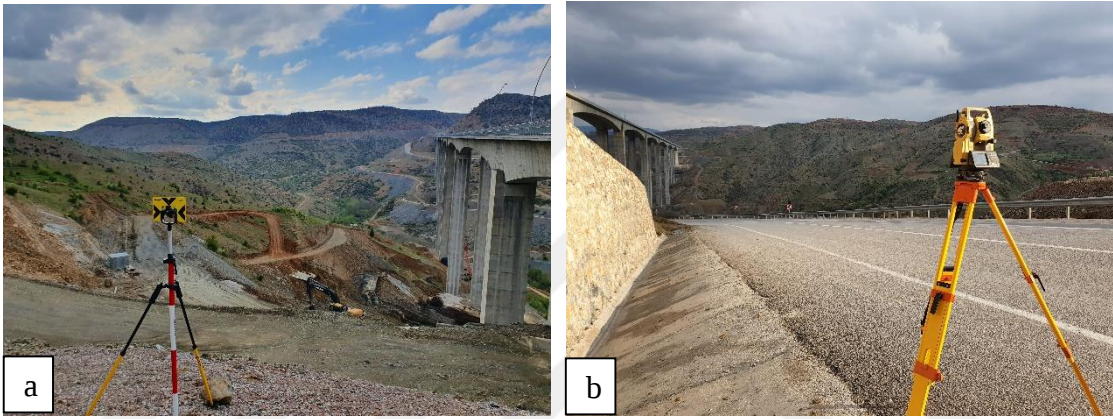
Şekil 4.13. Geometrik nivelman donanımı

4.5. Karşılıklı ve Eş Zamanlı Dış Merkezli Trigonometrik Nivelman Tekniği ile Yükseklik Farklarının Belirlenmesi

Trigonometrik nivelman tekniği ölçümlerin yapılış biçimine göre tek taraflı gözlemler ile trigonometrik nivelman, atlamalı (ortadan) gözlemler ile trigonometrik nivelman ve karşılıklı gözlemler ile trigonometrik nivelman yöntemleri olmak üzere üç şekilde yapılır. Karşılıklı gözlemler ile trigonometrik nivelman yöntemi ise eş zamanlı ve eş zamanlı olmayan iki çeşittir. Yüksek doğruluk elde etmek amacıyla bu çalışma kapsamında her iki uygulama sahasında da karşılıklı dış merkezli eş zamanlı trigonometrik nivelman yöntemi kullanılmıştır (Hung ve ark., 2016).

4.5.1. Karşılıklı ve eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelmanda alet donanımı

Bu yöntemde 2 adet Topcon OS-103 serisi totalstation, 2 adet alet sehпасı, 2 adet jalon, 2 adet prizma ve 2 adet jalon sehпасı kullanılmıştır. Kullanılan Topcon OS-103 serisi totalstation kompakt bir yapıya sahiptir ve Magnet Field on-board yazılımı kullanılmaktadır. Topcon OS-103 serisi totalstation açı ölçümünde minimum hassasiyet $1''/3''$, uzaklık ölçümünde reflektörlü menzili 4000 metre, reflektörlü EDM hassasiyeti 2 mm + 2 ppm ve hassas ölçüm süresi 0.9 sn. özelliklerine sahiptir. Ölçüme başlamadan önce kullanılan elektronik totalstationların kalibrasyonları yetkili servisine kontrolleri yaptırılmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. a: Jalon, prizma ve jalon sehпасı, b: Topcon OS-103 totalstation ve alet sehпасı

4.5.2. Karşılıklı ve eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelman tekniğinde ölçü ve hesapların yapılması

Dış merkezli trigonometrik nivelman tekniği ile ölçüme başlamadan önce dış merkez noktalarında elektronik totalstationların ve hedeflerdeki reflektörlerin kurulumları yapılarak düzeç kontrolleri gerçekleştirilir. Ölçülere vadinin her iki yakasında eş zamanlı olarak başlanmak suretiyle ilk olarak yatay açılar iki yarım silsile şeklinde ölçülmüştür. Dış merkezli noktalardan aynı anda hedeflere 5 silsile şeklinde düşey açılar ölçülür ve hedefler ile dış merkezli noktalar arası eğik mesafeler 2 defa olmak üzere ölçülür. Ölçüm anındaki sıcaklık basınç değerleri kayıt altına alınarak ölçme işlemi tamamlanmış olur.

4.6. GNSS Nivelman ile Yükseklik Farkının Belirlenmesi

Teknolojik gelişmelerin eşliğinde Küresel konum belirleme (GNSS) tekniği de bu gelişmelerden faydalanarak jeodezik amaçlı çalışmalarda gerçek zamanlı konum bilgisi belirlenebilmektedir. Ölçülmek istenen nokta türü ve istenilen hassasiyete göre farklı ölçü yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden göreceli (bağıl, rölatif) konum belirleme jeodezik çalışmalar için daha uygundur (Kahveci ve ark., 2011). Göreceli konum belirlemede istenilen hassasiyet metre hassasiyetinde ise kod ölçümleri ile anında konum belirlemek DGNSS yöntemiyle yapılabilir. Bu tez kapsamında daha yüksek hassasiyet gerektiğinden kod ölçümleri yerine faz ölçümleri kullanılmıştır. Uygulanan yöntemler statik ölçü yöntemi, klasik RTK ve ağ-RTK (CORS-TR) yöntemleri kullanılarak ölçüler yapılmıştır.

4.6.1. GNSS ile ölçüde alet donanımı

Statik ölçü, Klasik RTK ve Ağ-RTK ölçümleri Topcon HiPer V GNSS alıcısı, Topcon FC-336 el üniteleri, GNSS alıcısı için jalon ve jalon sehpaları ile gerçekleştirilmiştir. Statik ölçüler için sabit noktalarda eş zamanlı oturumlar yapmak için 4 adet GNSS alıcısı, 4 adet el ünitesi, 4 adet GNSS jalonu ve 4 adet jalon sehpası kullanılmıştır. Klasik RTK ölçümleri için biri sabit biri gezici olmak üzere 2 adet GNSS alıcısı, 2 adet el ünitesi, 2 adet GNSS jalonu ve 2 adet jalon sehpası kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Ağ-RTK ölçümleri için ise gezici olarak 1 adet GNSS alıcısı, 1 adet el ünitesi, 1 adet GNSS jalonu ve 1 adet jalon sehpası kullanılmıştır. Kullanılan GNSS alıcılarının ölçümler yapılmadan önce kalibrasyon ayarları yetkili servisinde kontrol ettirilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Topcon HiPer V GNSS alıcısı özellikleri

İzleme Kapasitesi	
Kanal sayısı	226
GPS	L1, L2, L2C
GLONASS	L1, L2, L2C
SBAS	L1, L2C
Konumlandırma Hassasiyeti	
L1 sadece (Statik*)	H:3 mm+0.8 ppm V:4 mm+1 ppm
L1 + L2 (Statik*)	H:3 mm+0.1 ppm V:3.5 mm+0.4 ppm
RTK (L1 + L2)	H: 10 mm+1 ppm V:15 mm+1 ppm
DGPS	< 0.5 m

4.6.2. Statik ölçü yöntemi

İki farklı uygulama sahasında kendi içerisinde yükseklik farklarını belirlemek için tesis edilen dört adet noktada eş zamanlı ve en az ikişer saat olmak üzere oturumlar gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan ve elde edilen tüm GNSS ölçüleri GAMIT yazılımı ile değerlendirilmiştir. Bu yazılım X-Windows destekleyen LINUX işletim sisteminde çalışılacak şekilde tasarlanmıştır (Floyd ve ark., 2022). GAMIT yazılımı genel olarak taşıyıcı faz ve pseudorange ölçülerini değerlendirilerek 3 boyutlu koordinatların hesaplanmasını sağlamaktadır. Veriler hazırlık, değerlendirme, kontrol ve sonuç aşamalarından geçerek işlenmiştir. GAMIT yazılımı ile çözümlemede sırasında ölçümleri yapılan noktaların bilgileri ve kullanılacak olan CORS-TR nokta bilgileri düzenlenmiştir. Çözümleme aşamasında 8 adet CORS-TR istasyonu kullanılmıştır. CORS-TR istasyonlarının alıcı ve anten bilgilerinin güncel hali kullanılmıştır.(Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Değerlendirme esnasında kullanılan CORS-TR istasyonları

Nokta Adı	Enlem	Boylam
AKSI	37.0477	31.7875
SARV	36.6967	32.6173
KAMN	37.1932	33.2203
KNYA	38.0222	32.5052
BEYS	37.6773	31.7466
KAP1	37.7144	33.5283
ALNY	36.5555	31.9885
AKHR	38.3693	31.4297

4.6.3. Klasik RTK ölçü yöntemi

Klasik RTK ölçümlerinde çalışma yapılan her iki bölgede sabit kurabilmek için daha önceki farklı kurum çalışmalarında yükseklikleri belirlenmiş noktalar tespit edilerek Klasik RTK ölçümüne en uygun olan her iki bölgede birer adet koordinatları ve yüksekliği bilinen noktalar seçilmiştir. Belirlenen noktalara sabit olan GNSS alıcısı kurularak gezici GNSS alıcısı yardımıyla GPS/GLONASS uydularından yararlanılarak ölçüler kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Klasik RTK ölçümleri 1 saniye kayıt aralığında 10"lık yükseklik açısında ve 5 epok olarak yapılmıştır. Klasik RTK uygulamasında bir referans istasyonunda hesaplanan düzeltme bilgileri kullanıcıya gönderilir. Sistematik hataların (atmosferik etkiler, yörünge hatası etkisi vb.) önüne geçmek için sabit kurulan istasyon ile alıcı arasındaki mesafe mümkün olduğunca yakın olmasına dikkat edilmiştir.

Sabit olarak kullanılan alıcı ile beraber gezici alıcıyla ölçü yapılırken hassasiyeti artırmak için jalon sehpaı kullanılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları GPS RTK format yazılımı yardımıyla çözümlenmiş ve ölçü sırasındaki sabit ve alıcı detayları irdelenmiştir. Klasik RTK tekniği ile yapılan ölçmelerde cm mertebesinde elde edilen doğruluk, haritacılık uygulamaları için birçok alanda yeterli olmaktadır (şekil 4.15) (Pektaş, 2010).



şekil 4.15. Klasik RTK ölçü yöntemi

4.6.4. Ağ-RTK (Cors-TR) Ölçü Yöntemi

Ağ-RTK ölçüleri ulusal ya da bölgesel çapta kurulan sabit referans istasyonları aracılığıyla yapılmaktadır. Bu tez kapsamında Ağ-RTK (Cors-TR) yöntemiyle yapılan ölçümlerde TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif) ağı kullanılmıştır. 2009 yılında kurulan bu ağ sayesinde Türkiye ve KKTC genelinde gerçek zamanlı konum ve yükseklik verisi elde edilebilmektedir. Ağ-RTK ölçü yöntemiyle elde edilen konum ve yükseklik verileri santimetre doğruluğuunda olmakla beraber yükseklik bilgisi elipsoidal yükseklik olarak elde edilmektedir. Tezin amacı belirlenen sabit noktaların farklı yöntemler ile yükseklik farkının tayini olmasından dolayı yükseklik sisteminin çeşitliliği önem arz etmemektedir. TUSAGA-Aktif sistemi kullanıcılarına gerçek zamanlı Ağ-RTK düzeltme verisini sağlamaktadır. Ağ-RTK ölçüleri 1 saniye kayıt aralığuında 10°'lik yükseklik açısında ve 5 epok olarak yapılmıştır. Sabit noktalara yapılan ölçüler en

az birer saat aralıklı ikişer defa ölçmek suretiyle gerçekleştirilmiş ve ortalamaları alınarak sabit noktaların yükseklikleri tespit edilmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Ağ-RTK (Cors-TR) ölçü yöntemi

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Uygulama alanı-1 ve uygulama alanı-2’de belirlenen noktalar arasındaki yükseklik farkları geometrik nivelman, vadi geçiş nivelmanı, karşılıklı ve eş zamanlı dışmerkezli trigonometrik nivelman ve GNSS nivelman yöntemlerinden statik ölçü yöntemi, klasik RTK ölçü yöntemi, ağ-RTK (Cors-TR) ölçü yöntemleriyle belirlenmiştir. Afşar Hadimi Barajı bölgesinde tesis edilen Uygulama alanı-1’deki A1 ve A2 noktaları arası uzaklık 221,64 m (<250 m, kısa mesafe), Eğiste Hadimi Viyadüğü bölgesinde tesis Uygulama alanı-2’deki edilen E1 ve E2 noktalar arası uzaklık ise 1444,65 m (>250 m, uzun mesafe) dir.

5.1. Uygulama Alanı-1 Sonuçları

Konya İli, Taşkent İlçesi, Afşar Mahallesi’ndeki Göksu Nehri’nin kollarından biri olan Ilıcıpınar Deresi üzerinde kurulu Afşar Hadimi Barajında tesis edilen A1 ve A2 noktaları arasındaki yükseklik farkları vadi geçiş nivelmanı, geometrik nivelman, karşılıklı ve eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelman ve GNSS nivelman yöntemleri ile belirlenmiştir.

5.1.1. Uygulama Alanı 1’de Geometrik Nivelman Sonuçları

Uygulama alanı 1’de (Afşar Hadimi Barajında) geometrik nivelman tekniği ile ölçüler (GIIG) şeklinde yani geri-I, ileri-I, ileri-II, geri-II olarak gidiş ve dönüş ölçüleri gerçekleştirilmiş, hesaplamaları yapılarak yükseklik farkları belirlenmiştir (Çizelge 5.1). Ölçüler 3 personel ile yaklaşık 6 saatte gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.1. Uygulama alanı 1’de geometrik nivelman gidiş-dönüş ölçü sonuçları

Gidiş $\Delta H_{\text{gidiş}}$	Dönüş $\Delta H_{\text{dönüş}}$	Ortalama ΔH_{ort}	Nivelman yolu uzunluğu
-0.04445 m.	0.04625 m.	-0.04535 m.	680 m.

5.1.2. Uygulama Alanı 1’de Vadi Geçiş Nivelman Sonuçları

Uygulama alanı 1’de (Afşar Hadimi Barajında) vadi geçiş nivelmanı yöntemi ile karşılıklı eş zamanlı olarak 2 kişilik ölçü ekibi tarafından 1.5 saatte tamamlanmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Uygulama alanı 1’de vadi geçiş nivelman ölçü ve hesapları A1 yakası

Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.70	9.80	9.75				
Mira	226	4.70	4.59	4.65	Mira	226	4.61	4.79	4.7	4.09	3.67	0.87	0.85
	224	14.01	14.16	14.09		224	13.50	13.33	13.415	9.44	8.72	0.84	21.19
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.91	10.10	10.01				
2.67	2.76	2.62	2.73	10.00	2.16	2.21	2.22	2.12	9.85	1.39	3.21	b1=20.00cm. b2=20.00cm.	
2.78	2.65	2.72	2.79	2.72	2.35	2.35	2.16	2.19	2.22	8.68	1.55		
11.48	11.29	11.54	11.40	11.39	10.50	10.42	10.51	10.43	10.49	0.64	2.38		
11.39	11.27	11.38	11.39		10.45	10.43	10.58	10.60		8.27	230.48		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.69	9.70	9.70				
2.61	2.79	2.78	2.79	10.00	2.11	2.11	2.21	2.20	9.79	1.36	3.18	Hs=5.075 cm. Hv=2.27 cm. Hr=158.25cm. dB=224.87cm.	
2.86	2.78	2.80	2.95	2.80	2.20	2.13	2.12	2.00	2.14	8.57	1.43		
11.39	11.29	11.34	11.45	11.36	10.23	10.31	10.41	10.35	10.38	0.59	2.31		
11.40	11.40	11.31	11.32		10.44	10.38	10.48	10.44		8.25	233.44		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.80	9.97	9.89				
2.61	2.66	2.59	2.58	10.00	2.12	2.25	2.18	2.14	10.03	1.27	2.95		
2.79	2.74	2.70	2.60	2.66	2.11	2.30	2.31	2.23	2.21	8.61	1.06		
11.28	11.30	11.25	11.24	11.27	10.54	10.40	10.52	10.23	10.46	0.44	2.00		
11.27	11.34	11.23	11.25		10.38	10.52	10.50	10.60		8.26	232.25		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		10.12	10.21	10.17				
2.68	2.80	2.69	2.73	10.00	2.11	2.18	2.27	2.20	9.96	1.32	3.07		
2.73	2.73	2.81	2.63	2.73	2.08	2.20	2.17	2.24	2.18	8.60	1.27		
11.27	11.29	11.20	11.38	11.32	10.48	10.50	10.54	10.52	10.48	0.53	2.17		
11.50	11.35	11.27	11.31		10.43	10.50	10.45	10.43		8.30	232.66		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.73	9.76	9.75				
2.73	2.65	2.71	2.73	10.00	2.09	2.19	2.06	2.11	9.70	1.33	3.09		
2.69	2.73	2.69	2.69	2.70	2.13	2.14	2.13	2.18	2.13	8.63	1.72		
11.38	11.25	11.33	11.28	11.33	10.49	10.39	10.36	10.39	10.41	0.71	2.40		
11.32	11.38	11.36	11.36		10.41	10.42	10.42	10.39		8.28	231.75		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.60	9.70	9.65				
2.55	2.61	2.72	2.57	10.00	2.00	2.13	2.08	2.19	9.70	1.28	2.98		
2.80	2.81	2.82	2.69	2.70	2.19	2.13	2.20	2.12	2.13	8.58	1.73		
11.26	11.22	11.09	11.23	11.28	10.61	10.42	10.36	10.41	10.42	0.72	2.36		
11.43	11.30	11.30	11.40		10.40	10.32	10.39	10.42		8.29	233.03		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.69	9.80	9.75				
Mira	226	4.88	4.97	4.93	Mira	226	4.61	4.70	4.66	4.26	3.71	0.91	0.88
	224	14.20	14.32	14.26		224	13.38	13.53	13.46	9.34	8.80	0.84	21.42
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.50	9.81	9.66				

$\Delta H_{A1A2} = 0.03730$ m. olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3. Uygulama alanı 1’de vadi geçiş nivelman ölçü ve hesapları A2 yakası

Kolimasyon				10.00	Kolimasyon				9.39	9.60	9.50		
Mira	225	2.81	2.88	2.85	Mira	225	2.47	2.70	2.585	6.33	5.97	0.94	0.93
	223	16.32	16.33	16.33		223	15.38	15.54	15.46	13.48	12.88	0.93	14.84
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon				9.43	9.61	9.52		
5.68	5.63	5.54	5.61	10.00	5.11	5.07	5.15	5.11	9.52	4.63	10.29	b1=20.00cm. b2=20.00cm.	
5.70	5.59	5.70	5.59	5.63	5.21	5.19	5.14	5.10	5.14	9.00	9.69		
14.58	14.61	14.53	14.65	14.63	13.69	13.60	13.61	13.66	13.64	4.12	9.99		
14.77	14.64	14.63	14.66		13.69	13.63	13.59	13.64		8.50	222.13		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon				9.37	9.66	9.52		
5.63	5.51	5.65	5.59	10.00	5.19	5.19	5.14	5.14	9.52	4.66	10.38	Hs=5.075 cm. Hv=10.10 cm. Hr=223.94cm. dB=219.79cm.	
5.80	5.74	5.78	5.69	5.67	5.15	5.19	5.23	5.28	5.19	8.99	9.91		
14.52	14.61	14.58	14.58	14.66	13.75	13.82	13.71	13.80	13.77	4.25	10.14		
14.74	14.86	14.73	14.69		13.78	13.81	13.71	13.76		8.58	222.47		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon				9.44	9.59	9.52		
5.61	5.61	5.58	5.61	10.00	5.17	5.31	5.22	5.19	9.52	4.62	10.27		
5.70	5.63	5.65	5.64	5.63	5.22	5.29	5.38	5.24	5.25	8.99	9.92		
14.61	14.64	14.58	14.60	14.62	13.62	13.80	13.67	13.72	13.73	4.21	10.10		
14.65	14.67	14.60	14.59		13.80	13.73	13.75	13.73		8.48	222.50		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon				9.49	9.57	9.53		
5.70	5.69	5.68	5.61	10.00	5.24	5.36	5.19	5.16	9.45	4.58	10.25		
5.65	5.63	5.63	5.56	5.64	5.39	5.37	5.39	5.40	5.31	8.93	10.20		
14.55	14.63	14.50	14.59	14.58	13.73	13.65	13.71	13.75	13.75	4.30	10.22		
14.50	14.54	14.70	14.61		13.79	13.81	13.79	13.75		8.44	223.87		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon				9.12	9.60	9.36		
5.62	5.54	5.42	5.41	10.00	5.14	5.24	5.13	5.11	9.52	4.55	10.11		
5.65	5.63	5.62	5.48	5.55	5.25	5.13	5.22	5.24	5.18	9.01	9.83		
14.42	14.63	14.48	14.46	14.55	13.71	13.70	13.61	13.74	13.72	4.20	9.97		
14.67	14.63	14.57	14.55		13.72	13.73	13.80	13.73		8.54	222.10		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon				9.67	9.70	9.69		
5.64	5.73	5.78	5.69	10.00	5.30	5.32	5.28	5.32	9.63	4.71	10.47		
5.69	5.67	5.73	5.77	5.71	5.48	5.36	5.37	5.37	5.35	9.00	9.88		
14.64	14.74	14.65	14.61	14.71	13.53	13.79	13.78	13.81	13.81	4.18	10.17		
14.80	14.76	14.73	14.75		13.96	13.79	13.99	13.80		8.46	222.28		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon				9.50	9.65	9.58		
Mira	225	2.85	2.96	2.91	Mira	225	2.80	2.91	2.86	6.42	5.92	0.95	0.94
	223	16.35	16.48	16.42		223	15.40	15.59	15.50	13.51	12.64	0.94	14.80
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon				9.52	9.55	9.54		

$\Delta H_{A2A1} = 0.05950$ m. olarak hesaplanmıştır.

Yapılan karşılıklı eş zamanlı ölçü sonuçlarının ortalaması alınarak uygulama alanı 1 için belirlenmiş yüksek farkı;

$\Delta H_{A1A2} = 0.04840$ m.

5.1.3. Uygulama Alanı 1’de karşılıklı ve eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelman sonuçları

Ölçülere vadinin her iki yakasında eş zamanlı olarak başlanmak suretiyle ilk olarak yatay açılar iki yarım silsile şeklinde ölçülmüştür. Dış merkezli noktalardan aynı anda hedeflere 5 silsile şeklinde düşey açılar ölçülmüş ve dış merkezli noktalar ile hedefler arası eğik mesafeler iki dürbün durumunda 2 kez ölçülmüştür. Ölçüler çizelge 5.4 ve çizelge 5.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Uygulama alanı 1’de dış merkezli eş zamanlı trigonometrik nivelman ölçüleri (A1 yakası)

Ölçüyü Yapan : Mehmet Can ÖĞER				
İstasyon Noktası : A1 Yakası				
Sıcaklık / Basınç : 5°/1011 Mb (Açık)				
Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Yatay Aç	Düşey Aç	Eğik Mesafe
1 ALET KURULAN NOKTA (A1 YAKA)	A2	0.0000	99.4042	210.045
		200.0012	300.6162	210.045
	A1	263.7894	93.5774	20.145
		463.7894	306.4460	20.144
	A2		99.4036	
			300.6170	
	A1		93.5760	
			306.4444	
	A2		99.4040	
			300.6172	
	A1		93.5758	
			306.4454	
	A2		99.4040	
			300.6170	
	A1		93.5762	
			306.4444	
	A2		99.4030	
			300.6168	
	A1		93.5762	
			306.4456	

Çizelge 5.5. Uygulama alanı 1’de dış merkezli eş zamanlı trigonometrik nivelman ölçüleri (A2 yakası)

Ölçüyü Yapan : Ahmet KIRDIM				
İstasyon Noktası : A2 Yakası				
Sıcaklık / Basınç : 5°/1011 Mb (Açık)				
Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Yatay Aç	Düşey Aç	Eğik Mesafe
2 ALET KURULAN NOKTA (A1 YAKA)	A1	0.0000	99.9496	222.803
		200.0016	300.0724	222.803
	A2	93.5340	99.5382	21.361
		293.5344	300.4848	21.361
	A1		99.9488	
			300.0716	
	A2		99.5378	
			300.4824	
	A1		99.9494	
			300.0718	
	A2		99.5374	
			300.4850	
	A1		99.9496	
			300.0720	
	A2		99.5376	
			300.4842	
	A1		99.9480	
			300.0712	
	A2		99.5372	
			300.4842	

İki yarım silsile şeklinde ölçüler yatay açılar çizelge 5.6 ve çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Yatay açı hesabı A1 yaka tarafındaki 1 nolu istasyondan yapılan ölçüler yardımıyla

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Ölçülen Doğrultular		İndirgemeler		Kesin Aç
		1.Durum	2.Durum	1.Durum	2.Durum	
1	A2	0.0000	200.0012	0.0000	0.0000	0.0000
	A1	263.7894	463.7894	136.2106	136.2118	136.2112

Çizelge 5.7. Yatay açı hesabı A2 yaka tarafındaki 2 nolu istasyondan yapılan ölçüler yardımıyla

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Ölçülen Doğrultular		İndirgemeler		Kesin Aç
		1.Durum	2.Durum	1.Durum	2.Durum	
2	A1	0.0000	200.0016	0.0000	0.0000	0.0000
	A2	93.5340	293.5344	93.5340	93.5328	93.5334

İki dürbün durumunda 2’şer kez ölçülen kesin eğik mesafeler ve 5 silsile olarak ölçülen kesin düşey açılar ve yataya indirgenmiş yatay mesafeler çizelge 5.8, çizelge 5.9, çizelge 5.10 ve çizelge 5.11’de gösterilmiştir. Ölçüler 3 kişilik ölçü ekibi tarafından 1 saatte gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.8. 1 nolu alet kurulan noktadan A2 noktasına olan düşey açı ve eğik mesafe

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Dürbün Durumu	Kesin Açı	Ortalama Eğik Mesafe	Yatay Mesafe
1	A2	I	99.3935	210.0450 m.	210.0355m
		II	300.6065		
		TOPLAM	400.0000		

Çizelge 5.9. 1 nolu alet kurulan noktadan A1 noktasına olan düşey açı ve eğik mesafe

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Dürbün Durumu	Kesin Açı	Ortalama Eğik Mesafe	Yatay Mesafe
1	A1	I	93.5656	20.1445 m.	20.0417m
		II	306.4344		
		TOPLAM	400.0000		

Çizelge 5.10. 2 nolu alet kurulan noktadan A1 noktasına olan düşey açı ve eğik mesafe hesabı

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Dürbün Durumu	Kesin Açı	Ortalama Eğik Mesafe	Yatay Mesafe
2	A1	I	99.9386	222.8035 m.	222.8034m
		II	300.0614		
		TOPLAM	400.0000		

Çizelge 5.11. 2 nolu alet kurulan noktadan A2 noktasına olan düşey açı ve eğik mesafe

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Dürbün Durumu	Düşey Açı	Ortalama Eğik Mesafe	Yatay Mesafe
2	A2	I	99.5268	21.361 m.	21.3604m
		II	300.4732		
		TOPLAM	400.0000		

Yapılan hesaplamalar ve indirgemeler sonucunda elde edilen yatay uzunluklar, düşey açılar, yatay açılar kullanılarak sabit noktalar arası yükseklik farkı hesaplanmış ve çizelge 5.12’ de gösterilmiştir.

Çizelge 5.12. A1 ve A2 noktaları arası yükseklik farkı

1 Nolu Noktadan		2 Nolu Noktadan	
S_{A1A2}	221.475087	S_{A1A2}	221.6583779
$= \sqrt{S_{1A2}^2 + S_{1A1}^2 - 2 * S_{1A2} * S_{1A1} * \cos\alpha_1}$		$= \sqrt{S_{2A2}^2 + S_{2A1}^2 - 2 * S_{2A2} * S_{2A1} * \cos\alpha_2}$	
Ortalama S_{A1A2}	221.5667325		
$dH_{1A2} = S_{1A2} * \cot gZ_{1A2}$	2.00117515	$dH_{1A1} = S_{1A1} * \cot gZ_{1A1}$	2.032572766
$dH_{2A2} = S_{2A2} * \cot gZ_{2A2}$	0.158788448	$dH_{2A1} = S_{2A1} * \cot gZ_{2A1}$	0.214747032
$dH' = dH_{1A2} + \frac{S_{A2A1} - S_{1A1}}{\tan Z_{1A1}}$	22.43928224	$dH' = dH_{2A1} + \frac{S_{A2A1} - S_{2A2}}{\tan Z_{2A2}}$	1.70303548
$e = \frac{S_{A2A1}}{\tan Z_{1A1}}$	222.7032743	$e = \frac{S_{A2A1}}{\tan Z_{2A2}}$	221.5728544
$\partial_{A2A1} = \arctan \frac{dh' \cdot \sin Z_{1A1}}{e - dh' \cdot \cos Z_{1A1}}$	6.425398635	$\partial_{A2A1} = \arctan \frac{dh' \cdot \sin Z_{2A1}}{e - dh' \cdot \cos Z_{2A1}}$	0.489307339
$Z_{A2A1} = Z_{1A1} + \partial_{A2A1}$	99.9910	$Z_{A2A1} = Z_{2A2} + \partial_{A2A1}$	100.0161
$dH = dH_{1A1} - dH_{1A2}$	0.0314	$S'_{A2A1} = \sqrt{S_{A2A1}^2 + dh^2}$	221.5667
$dH_{AB} = \frac{1}{2} S'_{AB} \cdot (\cos Z_{AB} - \cos Z_{BA}) =$		0.043658887	

5.1.4. Uygulama alanı 1’de GNSS nivelman sonuçları

Uygulama alanı 1’de GNSS ölçü yöntemlerinden statik, klasik-RTK ve ağ RTK yöntemi ile GNSS ölçüleri gerçekleştirilmiş ve yapılan değerlendirmeler sonucunda noktaların elipsoidal yükseklikleri hesaplanmıştır. Noktalar arası uzaklığın kısa olması (<250 m) nedeniyle jeoit yüksekliklerinin yaklaşık eşit olduğu varsayılarak, yükseklik farkı elipsoidal yüksekliklerin farkı şeklinde hesaplanmış ve çizelge 5.13, çizelge 5.14 ve çizelge 5.15’de gösterilmiştir. Statik GNSS ölçüleri 2 kişilik ölçü ekibi tarafından 3 saatte, Klasik RTK ve Ağ-RTK gözlemleri 1.5 saatte gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.13. Uygulama alanı 1’de statik ölçü sonuçları

Nokta No	Çözüm Aralığı	n	e	u	$\Delta h \equiv \Delta H$
A1	13:15-14:15	4110076.73772	2897815.17724	1234.41011	0.04428m
A2	13:15-14:15	4110015.76885	2897602.30223	1234.36583	

Çizelge 5.14. Uygulama alanı 1’de klasik RTK ölçü sonuçları

Nokta No	Sağa	Yukarı	El. Yükseklik	$\Delta h \equiv \Delta H$
N.1	460685.415	4087850.702	1235.284	0.0420m
A1	460907.510	4087883.086	1234.404	
A2	460694.109	4087823.287	1234.362	

Çizelge 5.15. Uygulama alanı 1’de Ağ-RTK (Cors.Tr) ölçü sonuçları

Nokta No	Sağa	Yukarı	El. Yükseklik	$\Delta h \equiv \Delta H$
A1	460907.495	4087883.101	1234.413	0.0450m
A2	460694.091	4087823.291	1234.368	

5.2. Uygulama Alanı-2 Sonuçları

Konya İli, Hadim İlçesi, Eğiste Mahallesiindeki Eğiste Hadimi Viyadüğü bölgesinde tesis edilen E1 ve E2 noktaları arasındaki yükseklik farkları vadi geçiş nivelmanı, geometrik nivelman, karşılıklı ve eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelman ve GNSS nivelman yöntemleri ile belirlenmiştir.

5.2.1. Uygulama Alanı-2’de Geometrik Nivelman Sonuçları

Uygulama alanı 2’de (Eğiste Hadimi Viyadüğü) geometrik nivelman tekniği ile ölçüler GIIG gözleme sırası ile gidiş ve dönüş olarak 3 kişilik ölçü ekibi tarafından 11 saatte gerçekleştirilmiştir. E1 ve E2 noktaları arası yükseklik farkı çizelge 5.16’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.16. Uygulama alanı 2’de geometrik nivelman gidiş-dönüş ölçü sonuçları

Gidiş $\Delta H_{\text{gidiş}}$	Dönüş $\Delta H_{\text{dönüş}}$	Ortalama ΔH_{ort}	Nivelman yolu uzunluğu
-0.24165 m.	0.24220 m.	-0.24193 m.	2600 m.

5.2.2. Uygulama Alanı 2’de Vadi Geçiş Nivelman Sonuçları

Uygulama alanı 2’de (Eğiste Hadimi Viyadüğü) vadi geçiş nivelmanı yöntemi ile karşılıklı eş zamanlı olarak 2 kişilik ölçü ekibi tarafından 1.5 saatte gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar çizelge 5.17 ve çizelge 5.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.17 Uygulama alanı 2’de vadi geçiş nivelman ölçü ve hesapları (E1 yakası)

Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.58	9.81	9.70				
Mira	160	3.31	3.38	3.35	Mira	160	2.8	3.08	2.94	9.34	8.02	2.34	2.25
	156	19.36	19.31	19.34		156	17.69	17.73	17.71	15.99	14.77	2.17	25.02
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.64	9.81	9.73				
7.57	7.50	7.70	7.56	10.00	6.71	6.81	6.80	6.93	9.70	1.93	26.70	b1=60.00cm.	b2=60.00cm.
7.51	7.62	7.63	7.61	7.59	6.88	6.80	7.08	6.86	6.86	4.35	15.90		
11.96	11.80	11.80	11.95	11.93	10.61	10.68	10.80	10.64	10.72	1.02	21.30		
11.95	11.99	12.03	11.99		10.77	10.72	10.79	10.73		3.86	1380.50		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.49	9.84	9.67				
7.51	7.40	7.44	7.42	10.00	6.64	6.61	6.52	6.76	9.62	1.71	24.16	Hs=34.35cm.	Hv=20.81cm.
7.49	7.51	7.41	7.49	7.46	6.58	6.50	6.44	6.66	6.59	4.25	15.07		
11.71	11.54	11.70	11.72	11.71	10.61	10.78	10.74	10.60	10.64	1.02	19.61	Hr=158.25cm.	dB=127.37cm.
11.71	11.80	11.72	11.80		10.69	10.73	10.46	10.51		4.05	1410.52		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.47	9.69	9.58				
7.52	7.44	7.49	7.62	10.00	6.68	6.54	6.72	6.79	9.68	1.91	26.20		
7.71	7.59	7.50	7.44	7.54	6.81	6.72	6.70	6.66	6.70	4.37	15.04		
11.87	11.81	12.07	11.77	11.91	10.65	10.69	10.68	10.74	10.67	1.00	20.62		
12.03	11.91	11.97	11.83		10.74	10.62	10.61	10.65		3.97	1373.39		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.69	9.86	9.78				
7.69	7.45	7.61	7.78	10.00	6.60	6.71	6.63	6.61	9.69	1.91	26.64		
7.75	7.50	7.59	7.54	7.61	6.59	6.58	6.59	6.48	6.60	4.29	14.62		
11.89	12.01	11.91	11.88	11.91	10.78	10.63	10.62	10.70	10.68	1.00	20.63		
12.04	11.89	11.90	11.72		10.72	10.69	10.59	10.73		4.08	1398.19		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.50	9.70	9.60				
7.8	7.61	7.71	7.52	10.00	6.63	6.78	6.66	6.71	9.63	1.88	26.55		
7.66	7.57	7.58	7.61	7.63	6.77	6.68	6.59	6.70	6.69	4.25	15.50		
11.91	11.82	11.94	11.89	11.88	10.69	10.65	10.68	10.68	10.65	1.02	21.02		
11.81	11.81	11.96	11.89		10.60	10.62	10.68	10.58		3.96	1413.01		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.61	9.69	9.65				
7.69	7.59	7.59	7.70	10.00	6.61	6.70	6.57	6.74	9.64	2.03	27.93		
7.69	7.69	7.71	7.73	7.67	6.56	6.71	6.69	6.68	6.66	4.35	15.47		
12.04	12.11	12.09	11.95	12.03	10.60	10.75	10.76	10.65	10.67	1.04	21.70		
11.81	11.99	12.08	12.14		10.60	10.73	10.63	10.66		4.02	1378.52		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.60	9.65	9.63				
Mira	160	3.01	3.46	3.24	Mira	160	2.89	3.02	2.96	9.34	7.98	2.32	2.25
	156	19.3	19.37	19.34		156	17.58	17.62	17.60	16.10	14.65	2.18	24.84
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.31	9.57	9.44				

$\Delta H_{E1E2} = 0.10060$ m. olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.18. Uygulama alanı 2’de vadi geçiş nivelman ölçü ve hesapları (E2 yakası)

Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.59	9.72	9.66				
Mira	171	0.81	0.82	0.82	Mira	171	0.38	0.43	0.405	8.53	7.12	7.70	7.33
	155	18.52	18.54	18.53		155	16.83	16.72	16.775	17.72	16.37	6.96	90.32
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.57	10.01	9.79				
11.42	11.28	11.36	11.29	10.00	10.53	10.50	10.52	10.57	9.76	5.78	78.80	b1=60.00cm. b2=60.00cm.	
11.39	11.42	11.47	11.40	11.38	10.49	10.48	10.62	10.51	10.53	4.40	71.16		
15.84	15.70	15.69	15.74	15.78	14.59	14.66	14.56	14.62	14.67	4.91	74.98		
15.8	15.92	15.73	15.82		14.79	14.69	14.71	14.72		4.14	1363.25		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.53	9.92	9.73				
11.29	11.40	11.31	11.43	10.00	10.52	10.45	10.39	10.36	9.59	5.81	78.48	Hs=35.00cm. Hv=75.49cm. Hr=162.37cm. dB=123.90cm.	
11.33	11.32	11.38	11.48	11.37	10.49	10.30	10.38	10.50	10.42	4.44	72.08		
15.87	15.74	15.79	15.74	15.81	14.53	14.50	14.45	14.61	14.55	4.96	75.28		
15.93	15.80	15.78	15.81		14.69	14.63	14.44	14.57		4.13	1351.35		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.34	9.58	9.46				
11.34	11.28	11.25	11.36	10.00	10.39	10.44	10.45	10.40	9.49	5.82	77.74		
11.40	11.31	11.32	11.37	11.33	10.49	10.48	10.47	10.40	10.44	4.49	73.76		
15.85	15.82	15.73	15.83	15.82	14.59	14.59	14.61	14.57	14.58	5.09	75.75		
15.91	15.83	15.80	15.81		14.61	14.50	14.58	14.61		4.14	1335.19		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.43	9.61	9.52				
11.38	11.40	11.33	11.40	10.00	10.31	10.46	10.40	10.39	9.53	5.82	77.77		
11.30	11.31	11.22	11.29	11.33	10.40	10.40	10.41	10.39	10.40	4.49	72.61		
15.79	15.77	15.81	15.83	15.82	14.57	14.43	14.58	14.46	14.50	4.97	75.19		
15.88	15.80	15.87	15.78		14.38	14.48	14.67	14.42		4.10	1337.05		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.38	9.71	9.55				
11.36	11.42	11.40	11.39	10.00	10.36	10.47	10.35	10.41	9.50	5.87	78.51		
11.33	11.40	11.41	11.37	11.39	10.50	10.51	10.50	10.51	10.45	4.49	74.05		
15.89	15.84	15.89	15.88	15.87	14.50	14.45	14.56	14.51	14.53	5.03	76.28		
15.86	15.92	15.84	15.87		14.50	14.60	14.50	14.58		4.07	1336.68		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.40	9.50	9.45				
11.34	11.46	11.39	11.40	10.00	10.39	10.33	10.31	10.39	9.55	5.86	78.50		
11.41	11.30	11.35	11.39	11.38	10.39	10.50	10.41	10.49	10.40	4.48	72.46		
15.76	15.92	15.81	15.87	15.86	14.49	14.53	14.53	14.44	14.51	4.97	75.48		
15.83	15.88	15.85	15.92		14.51	14.52	14.61	14.48		4.11	1340.78		
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.59	9.70	9.65				
Mira	171	0.69	0.95	0.82	Mira	171	0.34	0.58	0.46	8.61	7.31	7.74	7.42
	155	18.53	18.69	18.61		155	16.98	16.93	16.96	17.79	16.50	7.09	89.94
Kolimasyon				10.00	Kolimasyon		9.38	9.69	9.54				

$\Delta H_{E1E2} = 0.37020$ m. olarak hesaplanmıştır.

Yapılan karşılıklı eş zamanlı ölçü sonuçları ortalaması alınarak belirlenmiş yüksek farkları;

$\Delta H_{E1E2} = 0.23540$ m.

5.2.3. Uygulama Alanı 2’de karşılıklı eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelman sonuçları

Ölçülere vadinin her iki yakasında eş zamanlı olarak başlanmak suretiyle ilk olarak yatay açılar iki yarım silsile şeklinde ölçülmüştür. Dış merkezli noktalardan aynı anda hedeflere 5 silsile şeklinde düşey açılar ölçülmüş ve dış merkezli noktalar ile hedefler arası eğik mesafeler 2 defa olmak üzere 2 kişilik ölçü ekibi tarafından 1.5 saatte gerçekleştirilmiştir. Ölçüler çizelge 5.19 ve çizelge 5.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.19. Uygulama alanı 2’de dış merkezli eş zamanlı trigonometrik nivelman ölçüleri (E1 yakası)

Ölçüyü Yapan : Mehmet Can ÖĞER				
İstasyon Noktası : E1 Yakası				
Sıcaklık / Basınç : 5°/1011 Mb (Açık)				
Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Yatay Aç	Düşey Aç	Eğik Mesafe
1 ALET KURULAN NOKTA (E1 YAKA)	E2	0.0000	99.8872	1430.177
		200.0024	300.1328	1430.177
	E1	131.5478	94.3766	30.732
		331.5456	305.6464	30.733
	E2		99.8850	
			300.1342	
	E1		94.3766	
			305.6490	
	E2		99.8858	
			300.1352	
	E1		94.3756	
			305.6476	
	E2		99.8856	
			300.1340	
	E1		94.3764	
			305.6468	
	E2		99.8854	
			300.1342	
	E1		94.3760	
			305.6484	

Çizelge 5.20. Uygulama alanı 2’de dış merkezli eş zamanlı trigonometrik nivelman ölçüleri (E2 yakası)

Ölçüyü Yapan : Ahmet KIRDIM				
İstasyon Noktası : E2 Yakası				
Sıcaklık / Basınç : 5°/1011 Mb (Açık)				
Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Yatay Aç	Düşey Aç	Eğik Mesafe
2 ALET KURULAN NOKTA (E2 YAKA)	E1	0.0000	100.1112	1444.860
		200.0008	299.9118	1444.861
	E2	299.7132	108.8604	13.228
		499.7124	291.1628	13.228
	E1		100.1090	
			299.9128	
	E2		108.8596	
			291.1622	
	E1		100.1096	
			299.9118	
	E2		108.8618	
			291.1626	
	E1		100.1094	
			299.9116	
	E2		108.8600	
			291.1608	
	E1		100.1100	
			299.9128	
	E2		108.8580	
			291.1626	

İki yarım silsile şeklinde gözlenen kesin yatay açılar çizelge 5.21 ve çizelge 5.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.21. Yatay açı hesabı E1 yaka tarafındaki 1 nolu istasyondan yapılan ölçüler yardımıyla

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Ölçülen Doğrultular		İndirgemeler		Kesin Aç
		1.Durum	2.Durum	1.Durum	2.Durum	
1	E2	0.0000	200.0024	0.0000	0.0000	0.0000
	E1	131.5478	331.5456	131.5478	131.5432	131.5455

Çizelge 5.22. Yatay açı hesabı E2 yaka tarafındaki 2 nolu istasyondan yapılan ölçüler yardımıyla

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Ölçülen Doğrultular		İndirgemeler		Kesin Aç
		1.Durum	2.Durum	1.Durum	2.Durum	
2	E1	0.0000	200.0008	0.0000	0.0000	0.0000
	E2	299.7132	499.7124	100.2868	100.2884	100.2876

5 silsile şeklinde gözlenen düşey açılar, eğik mesafeler ve yatay mesafeler çizelge 5.23, çizelge 5.24, çizelge 5.25 ve çizelge 5.26’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.23. 1 nolu alet kurulan noktadan E2 noktasına olan düşey açı hesabı

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Dürbün Durumu	Kesin Aç	Ortalama Eğik Mesafe	Yatay Mesafe
1	E2	I	99.8759	1430.1770	1430.1743m
		II	300.1241		
		TOPLAM	400.0000		

Çizelge 5.24. 1 nolu alet kurulan noktadan E1 noktasına olan düşey açı hesabı

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Dürbün Durumu	Kesin Aç	Ortalama Eğik Mesafe	Yatay Mesafe
1	E1	I	94.3643	30.7325	30.6122m
		II	305.6357		
		TOPLAM	400.0000		

Çizelge 5.25. 2 nolu alet kurulan noktadan E1 noktasına olan düşey açı hesabı

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Dürbün Durumu	Kesin Aç	Ortalama Eğik Mesafe	Yatay Mesafe
2	E1	I	100.0988	1444.8605	1444.8588m
		II	299.9012		
		TOPLAM	400.0000		

Çizelge 5.26. 2 nolu alet kurulan noktadan E2 noktasına olan düşey açı hesabı

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Dürbün Durumu	Kesin Aç	Ortalama Eğik Mesafe	Yatay Mesafe
2	E2	I	108.8489	13.228m	13.1004m
		II	291.1511		
		TOPLAM	400.0000		

Sabit noktalar arası yatay uzunluklar, düşey ve yatay açılar kullanılarak yükseklik farkı hesaplanmıştır. (Çizelge 5.27).

Çizelge 5.27. E1 ve E2 noktaları arası yükseklik farkı

1 Nolu Noktadan		2 Nolu Noktadan	
S_{E1E2}		S_{E1E2}	
$= \sqrt{S_{1E2}^2 + S_{1E1}^2 - 2 * S_{1E2} * S_{1E1} * \cos \alpha_1}$	1444.977326	$= \sqrt{S_{2E2}^2 + S_{2E1}^2 - 2 * S_{2E2} * S_{2E1} * \cos \alpha_2}$	1444.980883
Ortalama S_{E1E2}	1444.979105		
$dh_{1E2} = S_{1E2} * \cot g Z_{1E2}$	-1.832749076	$dh_{1E1} = S_{1E1} * \cot g Z_{1E1}$	-2.243253519
$dh_{2E2} = S_{2E2} * \cot g Z_{2E2}$	2.788824161	$dh_{2E1} = S_{2E1} * \cot g Z_{2E1}$	2.717053835
$dh' = dh_{1E2} + \frac{S_{E2E1} - S_{1E1}}{\tan Z_{1E1}}$	-1.832935922	$dh' = dh_{2E1} + \frac{S_{E2E1} - S_{2E2}}{\tan Z_{2E2}}$	2.745923079
$e = \frac{S_{E2E1}}{\tan Z_{1E1}}$	1444.980846	$e = \frac{S_{E2E1}}{\tan Z_{2E2}}$	1444.981852
$\partial_{E2E1} = \arctan \frac{dh' \cdot \sin Z_{1E1}}{e - dh' \cdot \cos Z_{1E1}}$	-0.080754255	$\partial_{E2E1} = \arctan \frac{dh' \cdot \sin Z_{2E1}}{e - dh' \cdot \cos Z_{2E1}}$	0.120524294
$Z_{E2E1} = Z_{1E1} + \partial_{E2E1}$	100.0181	$Z_{E2E1} = Z_{2E2} + \partial_{E2E1}$	99.9964
$dh = dh_{1E1} - dh_{1E2}$	-0.4105	$S'_{E2E1} = \sqrt{S_{E2E1}^2 + dh^2}$	1444.9792
$dH_{E1E2} = \frac{1}{2} S'_{E1E2} \cdot (\cos Z_{E1E2} - \cos Z_{E2E1}) =$		-0.246286293	

5.2.4. Uygulama Alanı 2’de GNSS nivelman sonuçları

Uygulama alanı 2’de (Eğiste Hadimi Viyadüğü) GNSS ölçü yöntemlerinden statik, klasik-RTK ve ağ RTK yöntemi ile ölçüler gerçekleştirilmiş, hesaplamaları yapılarak yükseklik farkları belirlenmiştir (Çizelge 5.28) (Çizelge 5.29) (Çizelge 5.30).

Çizelge 5.28. Uygulama alanı 2’de statik ölçü yöntemiyle yapılan oturum sonuçları

Nokta No	Çözüm Aralığı	n	e	u	$\Delta h \equiv \Delta H$
E1	13:15-14:15	4130163.24251	2882664.632	1240.95386	-0.24171m
E2	13:15-14:15	4131394.78113	2881468.05939	1240.71215	

Çizelge 5.29. Uygulama alanı 2’de klasik RTK ölçü sonuçları

Nokta No	Sağa	Yukarı	El. Yükseklik	$\Delta h \equiv \Delta H$
N.2	452719.176	4107952.854	1241.655	-0.24200m
E1	452712.347	4107950.438	1240.859	
E2	451957.825	4109182.549	1240.617	

Çizelge 5.30. Uygulama alanı 2’de Ağ-RTK ölçü yöntemiyle yapılan ölçüm sonuçları

Nokta No	Sağa	Yukarı	El. Yükseklik	$\Delta h \equiv \Delta H$
E1	452712.364	4107950.403	1240.851	-0.24000m
E2	451957.807	4109182.628	1240.611	

Uygulama alanı-1’de tesis edilen A1 ve A2 noktaları arasındaki yükseklik farkı sonuçları ve uygulama alanı-2’de tesis edilen E1 ve E2 noktaları arasındaki yükseklik farkı sonuçları çizelge 5.31, çizelge 5.32’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.31. Uygulama alanı 1’de farklı ölçü yöntemleri ile yükseklik farkları

Ölçü Yöntemi		Yükseklik Farkı (ΔH_{A1A2})
Geometrik nivelman		0.04535 m.
Vadi Geçiş Nivelmanı		0.04840 m.
Karşılıklı Eş Zamanlı Trigonometrik Nivelman		0.04366 m.
GNSS Nivelman	Statik	0.04428 m.
	Klasik RTK	0.04200 m.
	Ağ-RTK	0.04500 m.

Çizelge 5.32. Uygulama alanı 2’de farklı ölçü yöntemleri ile yükseklik farkları

Ölçü Yöntemi		Yükseklik Farkı (ΔH_{E1E2})
Geometrik Nivelman		0.24193 m.
Vadi Geçiş Nivelmanı		0.23540 m.
Karşılıklı Eş Zamanlı Trigonometrik Nivelman		0.24629 m.
GNSS Nivelman	Statik	0.24171 m.
	Klasik RTK	0.24200 m.
	Ağ-RTK	0.24000 m.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yükseklik ölçmeleri denildiğinde yeryüzünde belirlenen noktaların yükseklik ve yükseklik farklarının ölçülmesi tekniğidir. Yükseklik ölçmeleri ülke nivelman ağlarının kurulmasında, deformasyon izlemelerinde, karayolu, mühendislik uygulamalarında, yerkabuğu hareketlerinin izlenmesi ve bilimsel araştırmalarda nokta yüksekliklerinin veya noktalar arası yükseklik farklarının belirlenmesi işlemi harita mühendisliğinin önemli çalışmalarındandır. Dolayısıyla yükseklik farklarının belirlenmesi için günümüze kadar farklı yükseklik ölçüm metotları geliştirilmiştir. Nivelman ölçümlerinde değişen arazi şartlarına göre doğruluk, uygulanabilirlik, zaman ve maliyet gibi bazı faktörler göz önüne alınarak farklı yöntemler kullanılabilir. Bu noktada talep edilen doğruluğu karşılayan doğru nivelman tekniğinin seçimi çok önemlidir. Bu çalışmada derin vadi geçişlerine sahip iki uygulama sahası belirlenmiştir. Her iki uygulama sahasında geometrik nivelman tekniği, geometrik nivelman tekniğinin bir uygulaması olan vadi geçiş nivelman tekniği, karşılıklı eş zamanlı trigonometrik nivelman tekniği, GNSS nivelman tekniklerinden statik, klasik RTK ve ağ-RTK yöntemleri kullanılarak yükseklik farkları belirlenmiştir. Afşar Hadimi barajında yakınında seçilen Uygulama alanı-1 ve Hadim Eğiste viyadüğünde seçilen Uygulama Alanı-2’de tesis edilen sabit noktalar arası yükseklik farkları farklı yükseklik belirleme teknikleri ile elde edilerek vadi geçiş nivelman tekniğinin performansı analiz edilmiştir.

Uygulama sahası 1 olarak belirlenen Afşar Hadimi Barajında vadi geçiş nivelman tekniği ile belirlenen yükseklik farkı $\Delta H_{A1A2} = 0.04840$ m., geometrik nivelman tekniği ile belirlenen yükseklik farkı $\Delta H_{A1A2} = 0.04535$ m., karşılıklı eş zamanlı dışmerkezli trigonometrik nivelman tekniği ile belirlenen yükseklik farkı $\Delta H_{A1A2} = 0.04366$ m., GNSS nivelman tekniklerinden statik ölçme yöntemiyle belirlenen yükseklik farkı $\Delta H_{A1A2} \cong \Delta h_{A1A2} = 0.04428$ m., klasik RTK ölçme yöntemiyle belirlenen yükseklik farkı $\Delta H_{A1A2} \cong \Delta h_{A1A2} = 0.04200$ m., ağ-RTK ölçme yöntemiyle belirlenen yükseklik farkı $\Delta H_{A1A2} \cong \Delta h_{A1A2} = 0.04500$ m. olarak belirlenmiştir. Uygulama sahası 2 olarak belirlenen Eğiste Hadimi Viyadüğünde vadi geçiş nivelman tekniği ile belirlenen yükseklik farkı $\Delta H_{E1E2} = 0.23540$ m., geometrik nivelman tekniği ile belirlenen yükseklik farkı $\Delta H_{E1E2} = 0.24193$ m., karşılıklı eş zamanlı dışmerkezli trigonometrik nivelman tekniği ile belirlenen yükseklik farkı $\Delta H_{E1E2} = 0.24629$ m., GNSS nivelman tekniklerinden statik ölçme yöntemiyle belirlenen yükseklik farkı $\Delta H_{E1E2} \cong \Delta h_{E1E2} = 0.24171$ m., klasik RTK

ölçme yöntemiyle belirlenen yükseklik farkı $\Delta H_{E1E2} \cong \Delta h_{E1E2} = 0.24200$ m., ağ-RTK ölçme yöntemiyle belirlenen yükseklik farkı $\Delta H_{E1E2} \cong \Delta h_{E1E2} = 0.24000$ m. olarak belirlenmiştir.

Yükseklik belirleme yöntemleri olan geometrik nivelman, trigonometrik nivelman ve GNSS nivelman jeodezik ve mühendislik ölçmelerinde en yaygın kullanılan ölçme teknikleridir. Ancak vadi geçişlerinde arazi yapısının zorluğu göz önünde bulundurulduğunda vadi geçiş nivelman tekniği bu ölçüm yöntemlerine alternatif olabilir niteliktedir. Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlarda bu öneriyi destekler nitelikte olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada zaman, maliyet ve ekonomik analiz açısından değerlendirme yapıldığında uygulama alanı-1’de vadi geçiş nivelman tekniği ile karşılıklı eş zamanlı yapılan ölçüler 2 personel ile yaklaşık 1.5 saatte tamamlanır iken geometrik nivelman ölçmeleri yaklaşık 6 saatte ve 3 kişilik ölçü ekibi tarafından tamamlanmıştır. Diğer yandan karşılıklı ve eş zamanlı dış merkezli trigonometrik nivelman ölçmeleri de 3 kişilik ölçü ekibi tarafından 1 saat civarında, GNSS nivelman tekniklerinde 2 kişilik ölçü ekibi tarafından statik oturumlar 3 saat, klasik RTK ve ağ-RTK gözlemleri 1.5 saatte tamamlanmıştır. Uygulama sahası 2’de geometrik nivelman ölçmeleri 11 saate tamamlanmış iken diğer nivelman teknikleri uygulama alanı-1 benzeri sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara istinaden yükseklik belirleme tekniklerinin zaman ve maliyet yönüyle değerlendirildiğinde geometrik nivelman tekniğinin özellikle vadi geçişlerinde hem zaman alıcı hem de maliyetli bir yöntem olduğu söylenebilir. Vadi geçiş nivelman tekniği, karşılıklı eş zamanlı trigonometrik nivelman tekniği ve GNSS nivelman tekniklerinin zaman maliyet ve ekonomik açısından değerlendirildiğinde daha avantaj sağlayacakları sonucuna varılmıştır. Bunun en büyük sebebi ise vadi geçişlerinde geometrik nivelman tekniğinin uygulanabilirliğinin zorluğu olarak değerlendirilebilir. Geometrik nivelman tekniğinin uygulanamadığı zorlu arazi şartlarında geometrik nivelman tekniğinin uygulaması olan vadi geçiş nivelman tekniği kullanılarak yükseklik farkı belirlemenin uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Akçın, H., 1998, "GPS Ölçülerinden Pratik Yüksekliklerin Elde Edilmesi Üzerine Bir Araştırma", Doktora tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Aydın Ö., 1981, Vadi Geçiş Nivelmanı, *İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi*, İstanbul, 1-26.
- Aydın Ö., 1981, Vadi Geçiş Nivelmanı, *Yalçın Ofset Matbaası*, İstanbul.
- Aydın Ö., 1981, Vadi ve Su Üzerinden Geçiş Nivelmanı, *Harita Dergisi*, (87), 7-40, Ankara.
- Aydın, Ö., 1998, Hassas Yükseklik Ölçmeleri, *Y.T.Ü Basım Yayın Merkezi*, İstanbul.
- Banger, G., 1978, Atmosferik refraksiyonun geometrik nivelman ölçülerine olan etkisi üzerine, *KTÜ YBF Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü*, Trabzon.
- Banger, G., 1981, Hassas Nivelmanda Hata Kaynakları, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, Seri : A, 31(2), 193-208.
- Banger, G., ve Aslan, H. A., Geçiş Nivelmanı Üzerine Bir Çalışma, *Harita Dergisi*, 12-29. <https://www.harita.gov.tr/uploads/files/articles/gecis-nivelmani-uzerine-bir-calisma-822.pdf> [Ziyaret Tarihi: 4 Nisan 2024].
- Banger, G., ve Şen, K., 1994, Sayısal Nivolar, *K.T.Ü. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Araştırma raporları*, yayın no: 1994/8, İstanbul.
- Banger, G., 1981, Kompansatörlü Nivolarda Eğik Ufuk Hatası, Basılmış Makale.
- Baykal, O., 1988, Presizyonlu Nivelman Tekniği, *İ.T.Ü. Fen Bil. Enst. Ders notları*, İstanbul.
- Bitelli, G., Roncari, G., Tini, M.A., Vittuari, L., 2018, High-precision topographical methodology for determining height differences when crossing impassable areas, *Measurement*, 118, 147-155.
- B.Ö.H.H.B.Ü.Y., 2018, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, *Harita ve Kadastro Müh. Odası*.
- Ceylan, A. ve Baykal, O., 2006, Precise Height Determination Using Leap-Frog Trigonometric Leveling, *Journal of Surveying Engineering*, 132(3), 118.
- Ceylan, A. ve Baykal, O., 2013, Precise height determination using simultaneous-reciprocal trigonometric levelling, *Survey Review*, 40(308), 195-205.
- Ceylan, A. ve İnal, C., 1996, Dış Merkezli Trigonometrik Nivelman, *S.Ü. Müh. Mim. Fak. Derg.*, 11, 1-6.

- Ceylan, A., 1993, “Presizyonlu Nivelman Yerine Trigonometrik Nivelman Yönteminin Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma”, Doktora tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Ceylan, A., 2009, Modern Yükseklik Belirleme Teknikleri: Geometrik Nivelman Tarih Mi Oluyor?, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Ceylan, A., Inal, C. and Şanlıoğlu, İ., 2005, Modern Height Determination Techniques and Comparison of Accuracies, *From Pharaohs to Geoinformatics*, 16-21.
- Dingliang, Y., Jingui Z., Yanwen, S. and Zhu. H., 2021, Research and Application of Trigonometric Leveling to Replace Precise Leveling, *Journal of Surveying Engineering*, 147(3), e-published.
- Ekici, S.K., 2008, “Sayısal Presizyonlu Nivolar ve Sayısal Presizyonlu Nivelman Tekniğinin Doğruluğu”, Yüksek lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Erenoglu, R. C., Yucel, M. A., Pırtı, A. and Sanlı, D. U., 2012, On the performance of GNSS levelling over steep slopes, *Boletim de Ciencias Geodesicas*, 18(4), 645-660.
- Erikson, P., 2014, Review Of Current And Near-Future Levelling Technology, 2, *Lantmateriet*, Gaule-İsveç, 5-8.
- Erkaya, H., 2006. Yükseklik Ölçmeleri Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1-84.
- Floyd, M.A., Herring, T.A., King, R.W., McClusky S.C., 2022, GAMIT/GLOBK Quick Start Guide, *Massachusetts Institute of Technology*, Cambridge, MA, USA.
- Greenfeld, J. and Sens, J. D., 2003, Determination Of Orthometric Height Of NJI2 CORS Station, *J. Surv. Eng.*, 129(3), 110–114.
- Gurtner, W., Beutler, G., Botton, S., Rothacher, M., Geiger, A., Kahle, H.G., Schneider, D., Wiget, A., 1989, The Use Of The Global Positioning System İn Mountainous Areas, *Manuscripta Geodaetica*, 14, 53-60.
- Gürdal, M.A., 2004, Sayısal Nivoların Teknolojisi ve Tarihsel Gelişimi, *Harita Dergisi*, Ankara, 131, 20-33.
- Heiskanen, W.A., Moritz, H., 1967, Physical geodesy, *W.H. Freeman and Company*. San Francisco.
- Herbert, T., Olatunji, R.I., 2021, Determination of Orthometric Height Using GNSS and EGM Data: A Scenario of The Federal University of Technology Akure, *International Journal of Environment and Geoinformatics (IJECEO)*, 8(1), 100-105.

- Hirsch, O., Scheelen, R. and Scholz, H., 1990, Trigonometric Levelling In Arid Areas, *FIG. XIX. International Congress*, Helsinki, Finland, 501.9/1-20.
- Hung-Lin, L., Tung-Chiung, C. and Chih-Wei., 2016, An Approach For Improving The Precision On Short – Range Electronic Distance Measurement Trigonometry, Taiwan, No:60, Sec:1.
- İnce, H., 1987, “Barometrik Yükseklik Tayininde Hassasiyet”, Doktora Tezi, *Karadeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Jekeli, C., 2000, Heights the geopotential and vertical datums, *OSU Report No. 459, The Ohio State University, Columbus, Ohio*.
- Kahveci, M., 1993, “Ortometrik Yüksekliklerin Belirlenmesinde GPS Sistemi”, Yüksek lisans tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Kahveci, M., Karagöz, H., ve Selbesoğlu, M.O., 2011, Statik ve RTK GNSS Ölçüm ve Hesaplamalarının Karşılaştırılması, *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 104.
- Niemeier, W., 1986, Observation Techniques For Height Determination and Their Relation to Usual Height System, *The Symposium on Height Determination and Recent Vertical Crustal Movements in Western Europe*, Hanover, Germany.
- Ocak, M., 2021, “GNSS/Nivelman Ölçüleri ile Yerel Jeoid Modellemede Çeşitli Enterpolasyon ve Yapay Zeka Yöntemlerinin İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Pektaş, F., 2010, “Gerçek Zamanlı Ulusal ve Yerel Sabit GNSS Ağlarında Dayalı Kinematik Konumlama”, Yüksek lisans tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Pırtı, A., Hoşbaş, R.G., 2019, Evaluation of some levelling techniques in surveying application, *Geodesy and Cartography*, Vol. 68, No. 2, 361–373.
- 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.
- Soycan, M., 2006, Determination of Geoid Heights by GPS and Precise Trigonometric Levelling, *Survey Review*, 38(299), 387-396.
- Ünver, M., 1988. “Düşey Yöndeki Yerkabuğu Hareketlerinin Duyarlıklı Nivelman Ölçüleri ile Belirlenmesi”, Yüksek lisans tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.

- Yang, D., and Zou, J., 2021, Precise levelling in crossing river over 5 km using total station and GNSS, *Scientific Reports*, 11, 7492.
- Yıldız, H., 2012, Yükseklik Modernizasyonu Yaklaşımı: Türkiye İçin Bir İnceleme, *Harita Dergisi*, 147, 1–12.
- Zrinjski, M., Barković, D., Baričević, S., 2018, Accuracy Analysis of Geometric, Trigonometric and GNSS Height Difference Levelling, *VI. hrvatski kongres o katastru i 7th Land Administration Domain Model Workshop*, Zagreb, Croatia.

