



HRT 2331

ÖLÇME BİLGİSİ 2

DERS NOTLARI

Ders Adı	Kodu	Yerel Kredi	AKTS	Ders (saat/hafta)	Uygulama (saat/hafta)	Laboratuar (saat/hafta)
Ölçme Bilgisi 2	HRT2331	3	4	3	0	0

Ders Öğrenim Çıktıları

- 1.Yükseklik sistemlerini öğrenir.
- 2.Yükseklik ölçme yöntemlerini öğrenir.
- 3.Nivelman kavramı ile nivelman geçkilerinin oluşturulması, ölçülmesi ve hesaplanmasını öğrenir.
- 4.Özel nivelman türleri ve diğer yükseklik belirleme yöntemlerini öğrenir.
- 5.Nivelman ağırları ve özelliklerini öğrenir.
- 6.Sayısal yükseklik modeli ve kot-kesit uygulamalarını öğrenir.

Hafta	Konular
-------	---------

1	Yükseklik Sistemleri
2	Yükseklik Ölçme Yöntemleri
3	Yükseklik Ölçme Yöntemleri
4	Yükseklik Ölçme Yöntemleri
5	Düşey Kontrol Ağları ve Sıklaştırmaları
6	Nivelman Ağ ve Geçkilerinin Tasarımı ve Ölçülmesi
7	Nivelman Ağ ve Geçkilerinin Hesaplanması
8	Özel Nivelman Türleri ve Diğer Yükseklik Belirleme Yöntemleri
9	Ara Sınav 1
10	Özel Nivelman Türleri ve Diğer Yükseklik Belirleme Yöntemleri
11	Özel Nivelman Türleri ve Diğer Yükseklik Belirleme Yöntemleri
12	Sayısal Yükseklik Modelleri
13	Kot-Kesit Uygulamaları
14	Hacim Hesapları
15	Yıl Sonu Sınavı

YÜKSELİK SİSTEMLERİ

1. BÖLÜM

Yerin Şekli ve Büyüklüğü

KÜRE



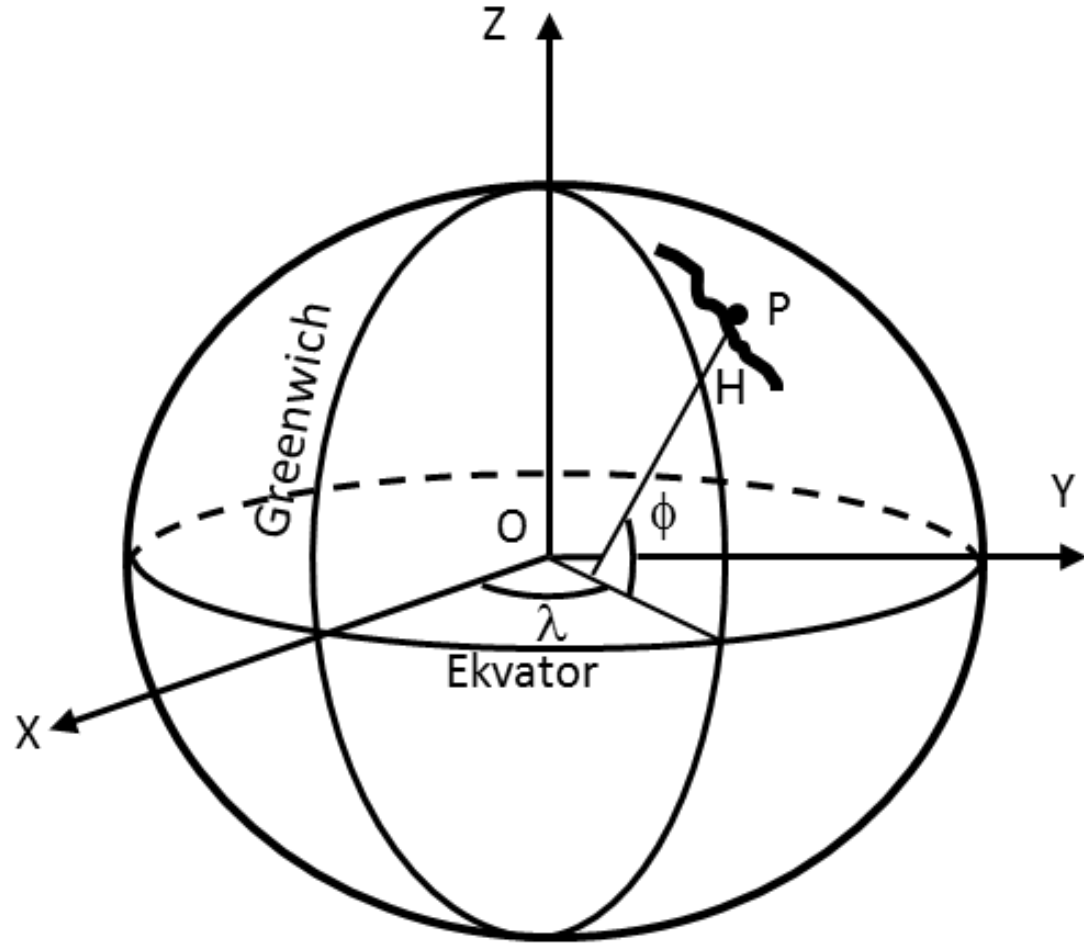
ELİPSOİD



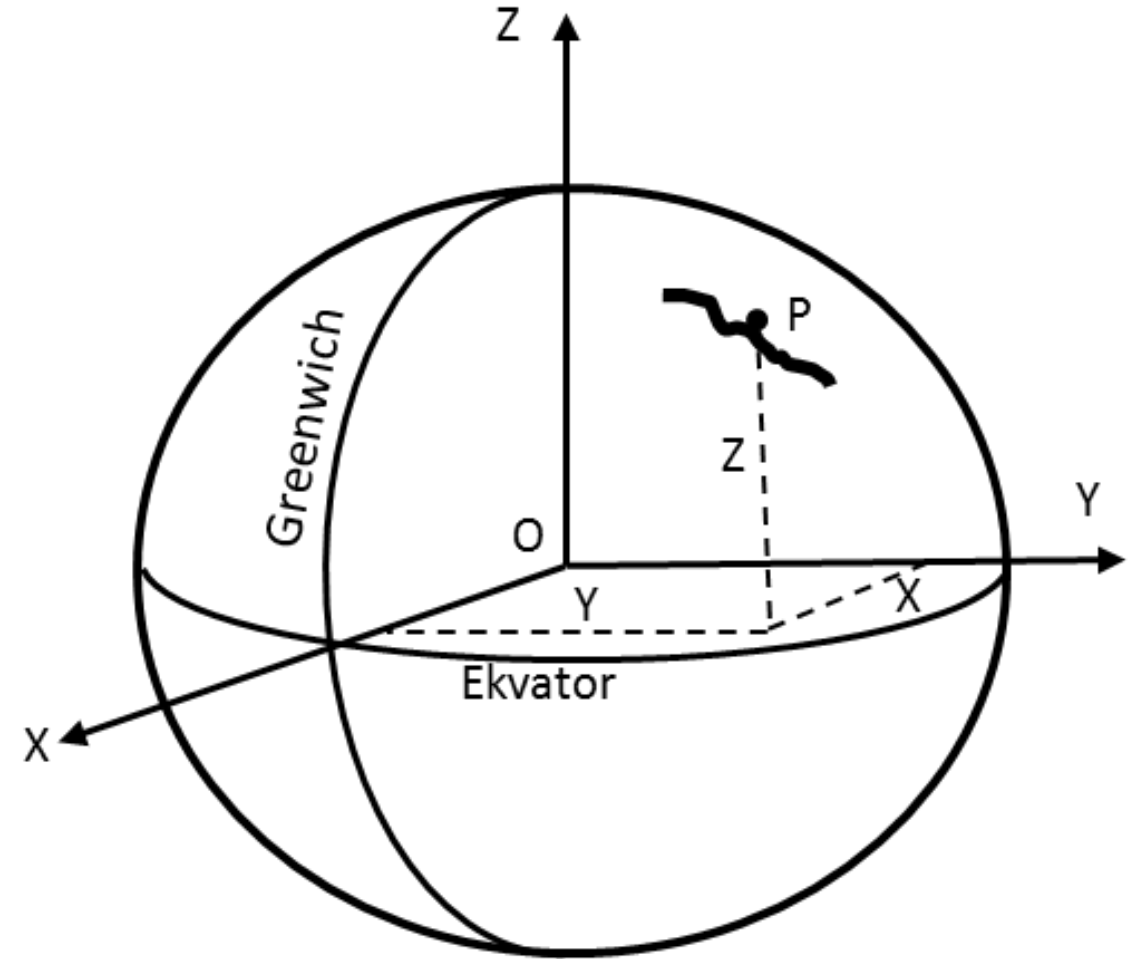
Alanın Büyüklüğü	Yatay Konum	Düşey Konum
Büyük alanlar $>5.000 \text{ km}^2$	Elipsoit	Jeoit
Orta büyüklükte $< 5.000 \text{ km}^2$	Küre	Jeoit
Bölgesel $< 50 \text{ km}^2$ veya 10 km×10 km	Düzlem	Jeoit

Elipsoit	Büyük Eksen (m)	Basıklık
Clarke 1866	6378206.4	294.9786982
Hayford	6378388.0	297.0
GRS 80	6378137.0	289.257222101
WGS84	6378137.0	298.257223563

Coğrafi Koordinat Sistemi

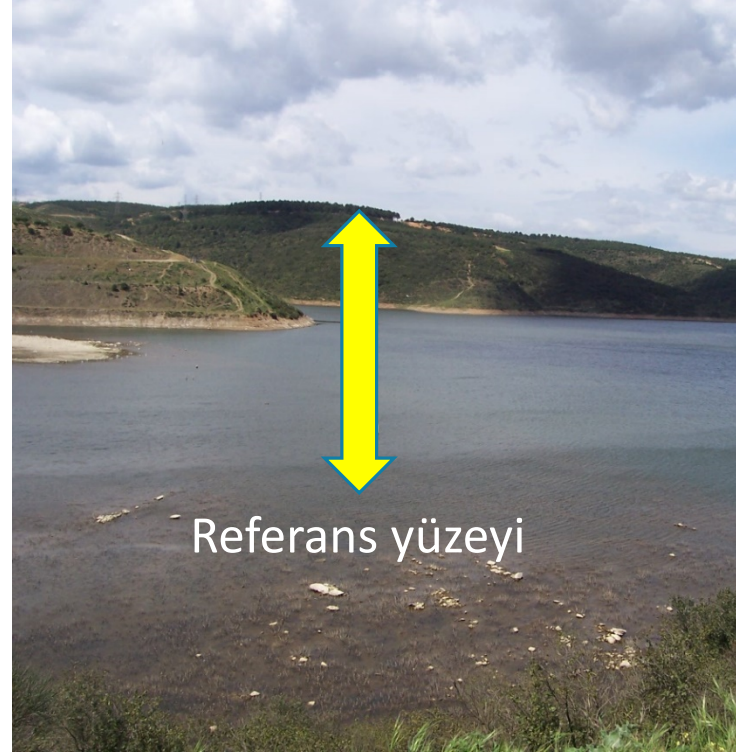


Kartezyen Dik Koordinat Sistemi



Yükseklik Kavramı

Düşey konum belirlemede de **yeryüzündeki bir noktanın yüksekliğinden**, o nokta ile başlangıç (referans) yüzeyi arasındaki fiziksel ya da geometrik ilişki anlaşılır.



Referans Yüzeyi/Düşey Datum

Düşey datum, karalarda yapılan yükseklik, denizlerde yapılan derinlik ölçülerinin dayandırıldığı **başlangıç** veya **referans** yüzeyidir.

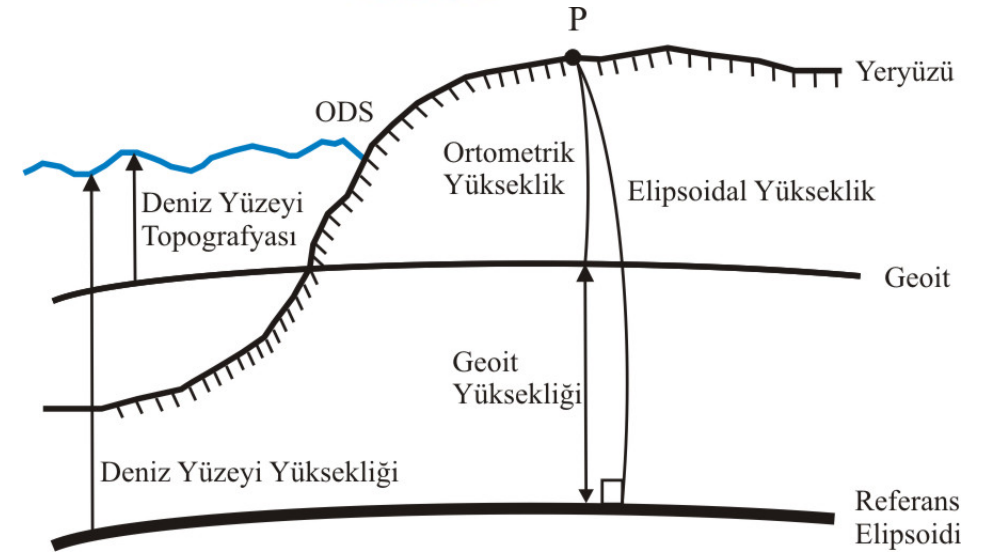
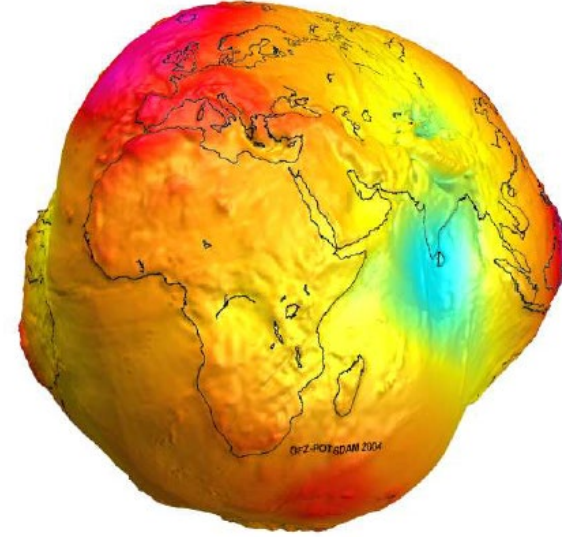
Denizlerde akıntı, dalga, tuzluluk, sıcaklık, yoğunluk farkı, gelgit ve meteorolojik etkilerden arındırılmış durgun deniz yüzeyinin karalar içinde de devam etmesiyle oluşan **eşpotansiyelli yüzey, jeoit** olarak adlandırılmaktadır.

Yükseklik Kavramı

Yeryuvarının gerçek şekli olarak görülen **jeoit/geoit**, normal gravite alanında jeoide karşılık gelen **kuasijeoit**, jeoide geometrik anlamda en çok yaklaşan **dönel elipsoit**, jeodezide kullanılan başlıca referans yüzeyleridir.

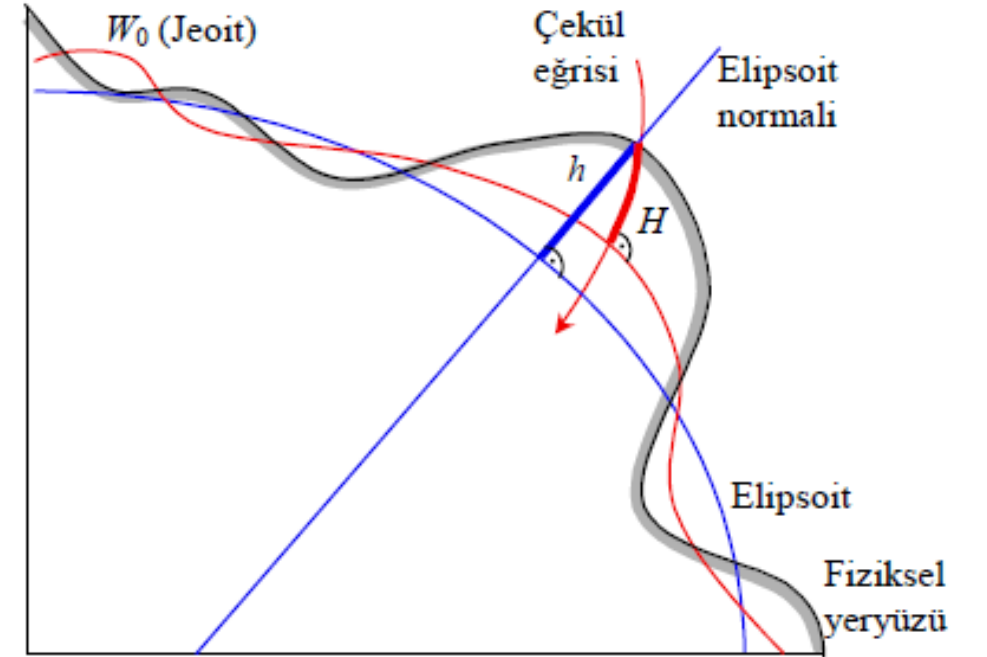
Ayrıca herhangi bir noktada jeoit ya da kuasijeoit ile çakıştığı varsayılan **ortalama deniz yüzeyi** de uygulamada yükseklikler için bir başlangıç yüzeyi olarak kullanılır.

Jeoit ile ortalama deniz seviyesinin (ODS) tam çakışmadığını, bu değişimin 1-2 metreye kadar ulaşabildiği görülmektedir. Jeoit ile ODS arasında oluşan bu fark **deniz yüzeyi topografyası** (DYT) olarak adlandırılmaktadır



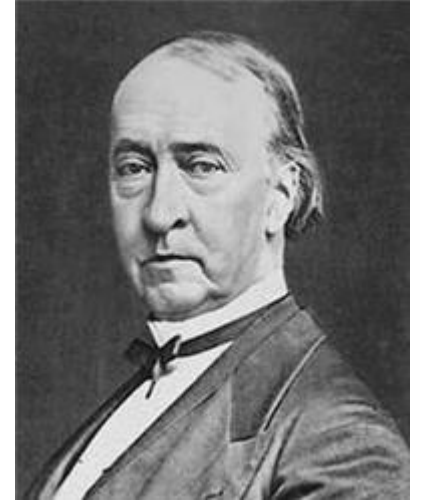
Yükseklik Kavramı

- Yeryüzündeki noktaların yüksekliklerini tanımlayabilmek için, bir başlangıç yüzeyi ve bu yüzeye dik doğrultuların saptanması gerekir.
- Yeryüzünde en kolay belirlenebilen doğrultular **çekül doğrultularıdır.**
- Çekül doğrultuları her noktada denge halindeki deniz yüzeyine diktir.
- Karaların altında da devam ettiği düşünülen denge halindeki deniz yüzeyi, başlangıç yüzeyi olarak alınabilir ve bu yüzey **Jeoit** olarak adlandırılmıştır.





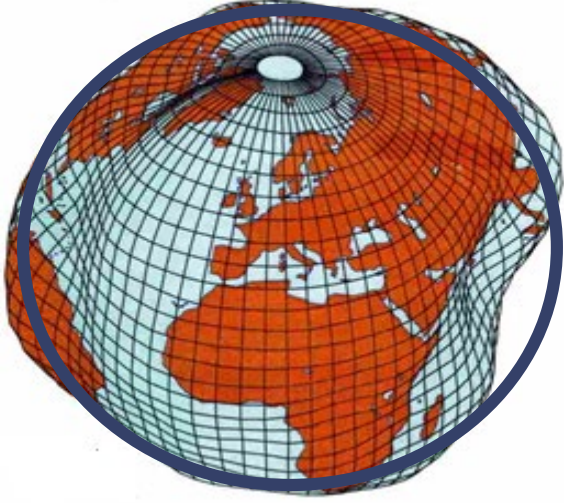
Carl Friedrich Gauss (1777-1855)



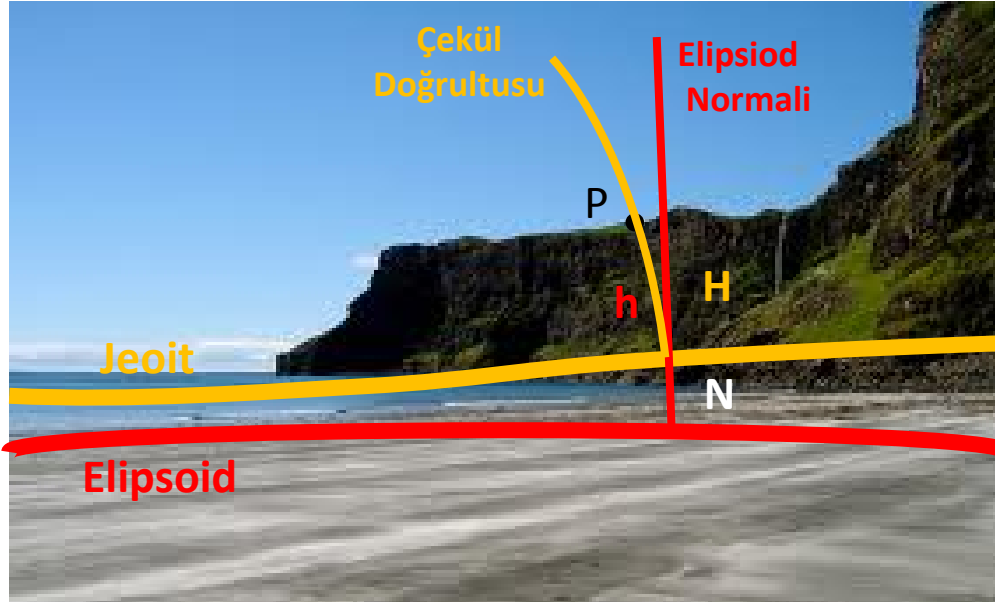
Johann Benedict Listing (1808-1882)

- ➔ *Geometrik anlamda yeryuvarının şekli dediğimiz şey, kısmen okyanus yüzeyi ile çakışan ve her noktasında çekül doğrultularını dik açılarla kesen yüzeyden başka bir şey değildir (Gauss, 1828).*
- ➔ *Daha önce yeryuvarının matematiksel yüzeyinin bir parçası olarak tanımladığımız okyanus yüzeyine bundan böyle yeryuvarının jeoidal yüzeyi ya da kısaca jeoit diyeceğiz (Listing, 1873).*

Yeryuvarının fiziksel şekli



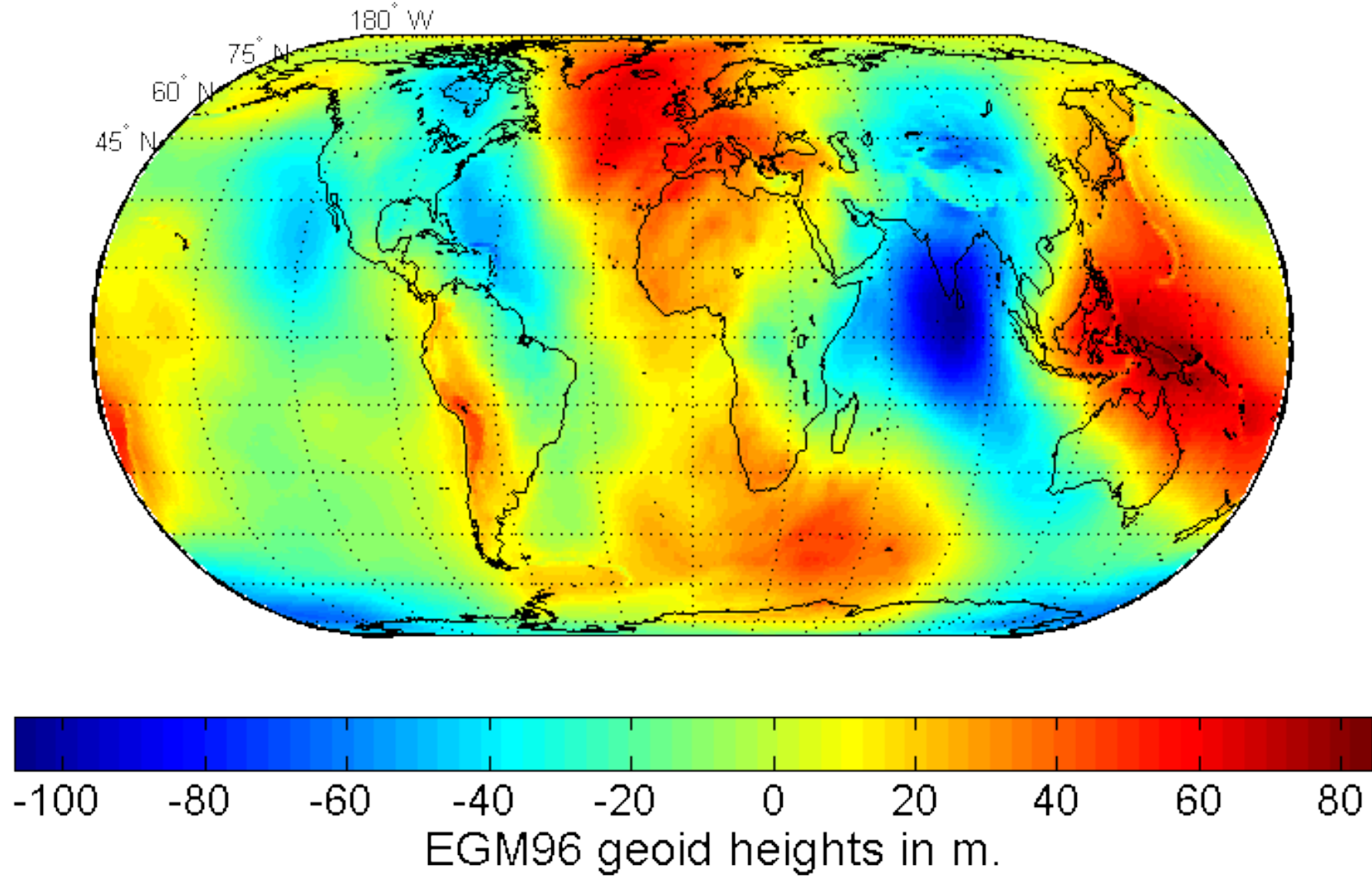
Yeryuvarının matematiksel şekli



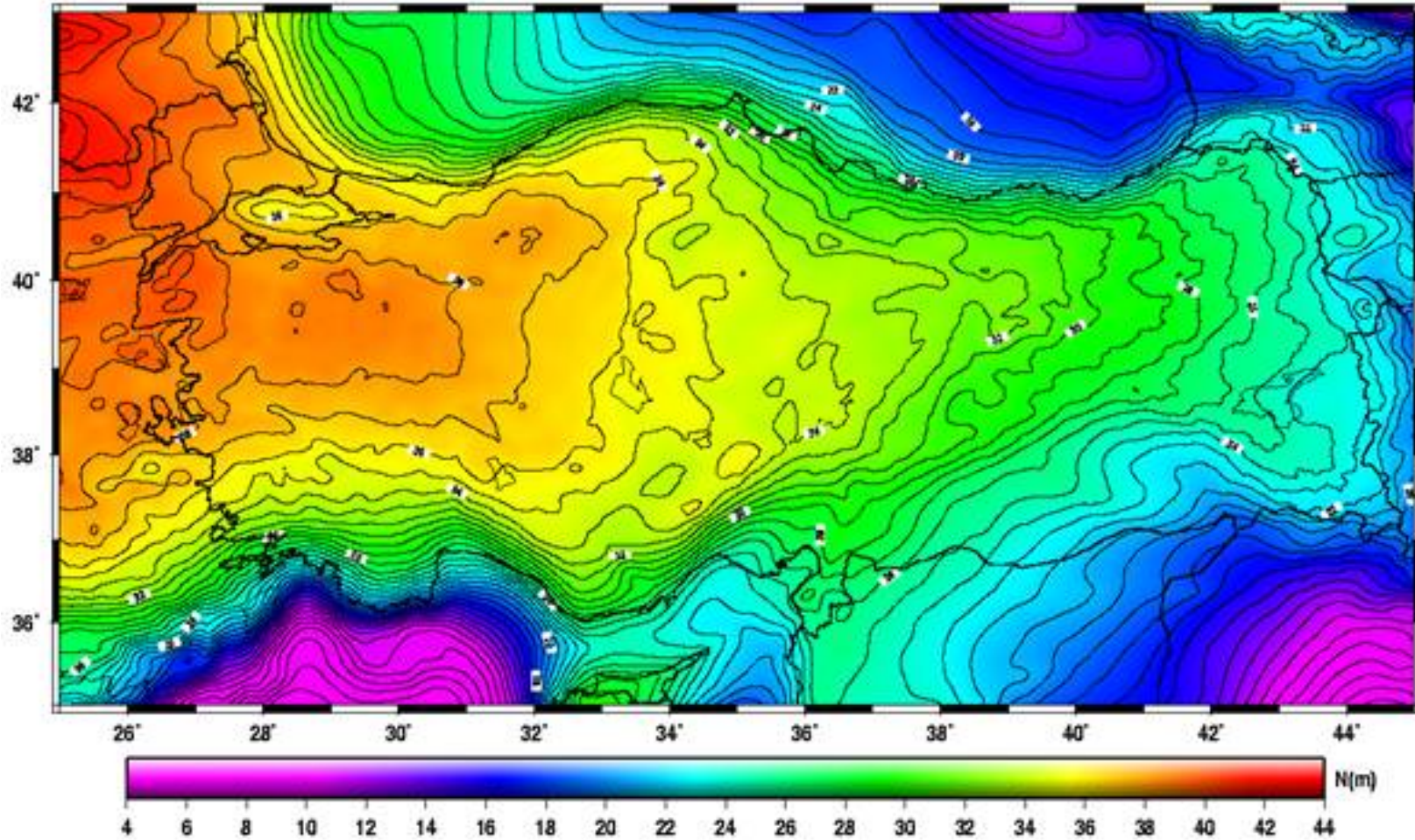
H: Ortometrik Yükseklik
h: Elipsoidal yükseklik
N: Jeoit yüksekliği

$$h = H + N$$

DÜNYA JEOİT MODELİ-1996 (EGM-96)



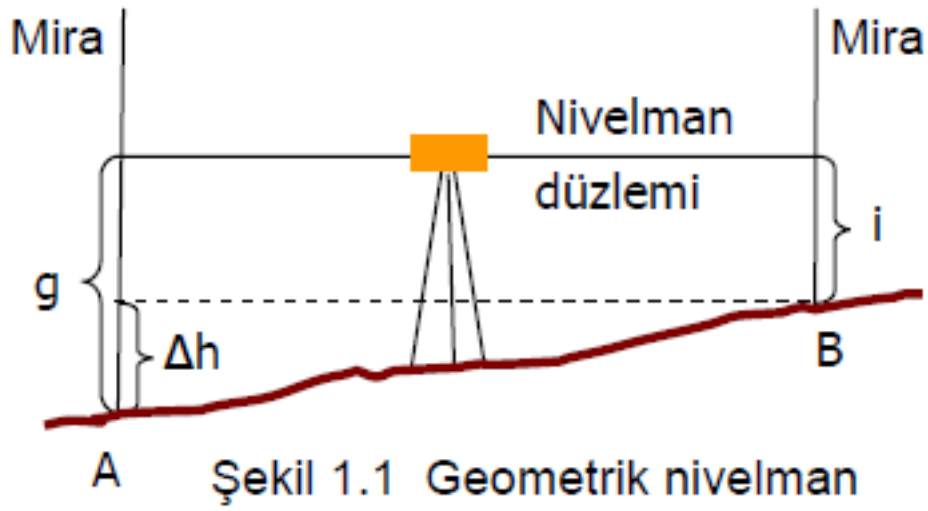
TÜRKİYE HİBRİD JEOİT MODELİ-2009 (THG-09)



Nivelman

Noktalar arasındaki yükseklik farklarının ölçülmesi işi **Nivelman** olarak adlandırılır.

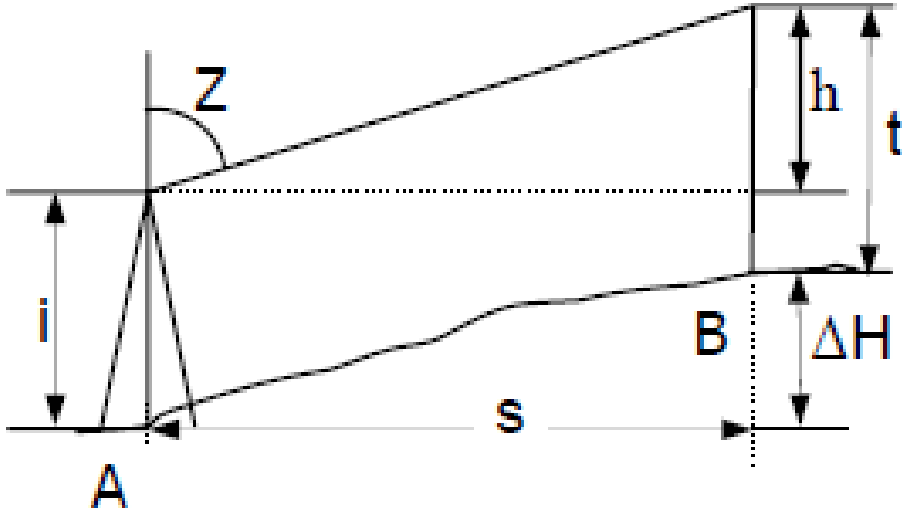
GEOMETRİK NİVELMAN



$$\Delta h = H_B - H_A = \text{geri-ileri} = g - i$$
$$\Delta h = g - i$$



TRİGONOMETRİK NİVELMAN

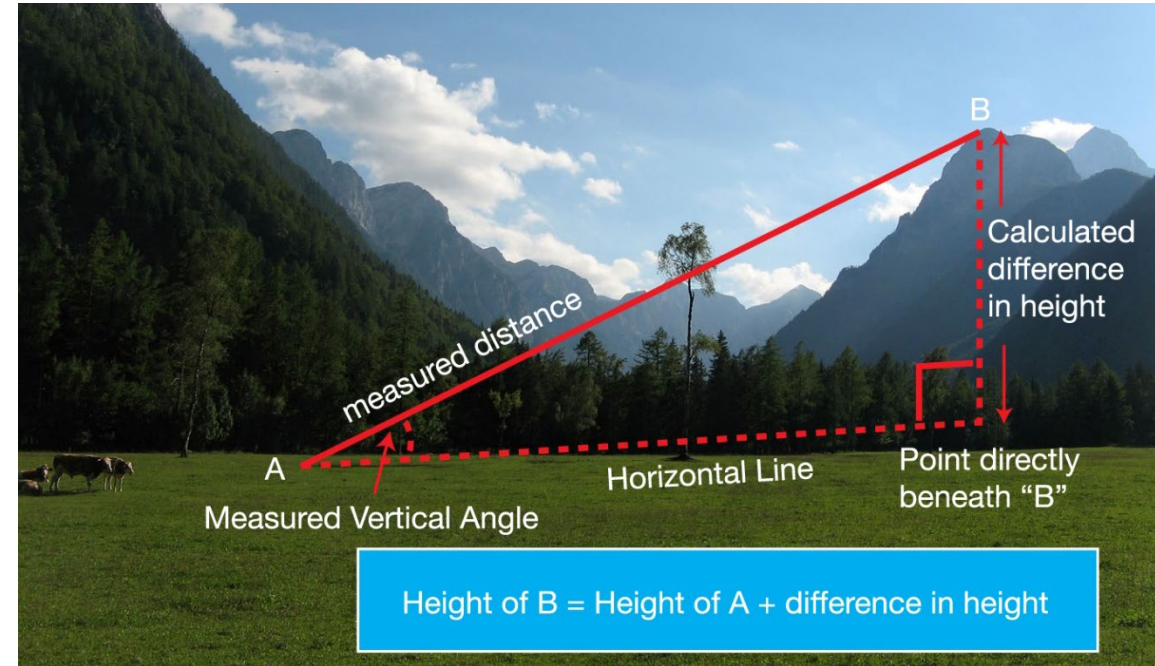


$$H_B = H_A + i + h - t$$

$$h = S \cdot \cot Z$$

$$H_B = H_A + i + S \cdot \cot Z - t$$

- İki nokta arasındaki uzunluk ve düşey açı ölçümleri
- 1 km de 1cm – 10cm
- Geometrik nivelmanın uygulanamadığı dağlık bölgelerde
- Doğruluğun yeterli olduğu mühendislik projelerinde



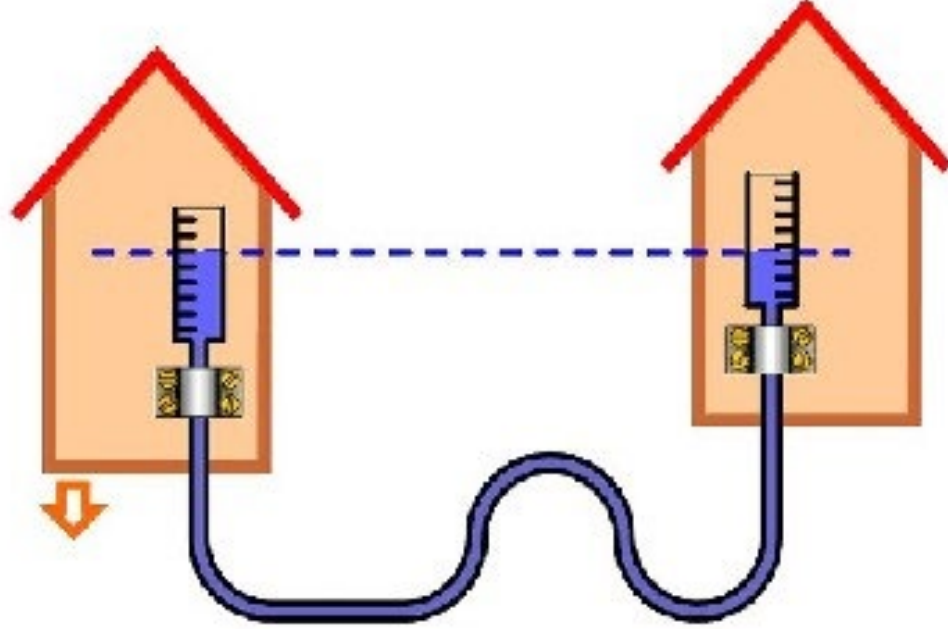
BAROMETRİK NİVELMAN



- Doğruluk 1m – 2m
- İstikşaf amaçlı kullanılabilir.

Hava basıncı deniz seviyesinden yukarılara doğru çıkıldıkça düşmektedir.
Hava basıncı ölçülerek barometrik yükseklik elde edilebilir.

HİDROSTATİK NİVELMAN

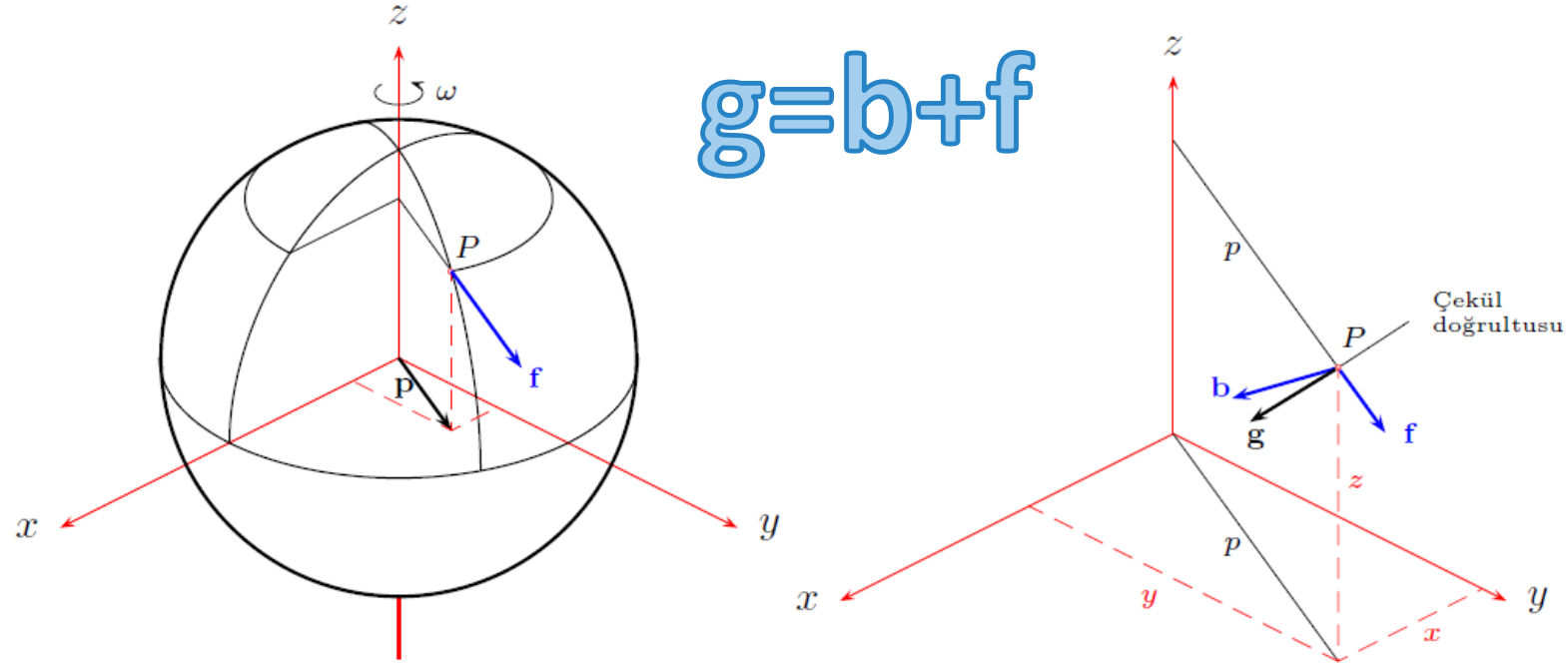


- Noktalar arasındaki yükseklik farkı 0.01mm doğruluk ile belirlenebilir.
- Yüksek doğruluk gerektiren makine uygulamalarında
- Kapalı bölgelerde düşey deformasyonların belirlenmesinde

Fizikteki **birleşik kaplar** ilkesinden yararlanılarak geliştirilen hortumlu su düzenci denilen aletlerle, noktalar arasındaki yükseklik farkları belirlenebilir.

Yükseklik Sistemleri

Gravite, yeryüzündeki bir cisme etkiyen yerçekimi ve merkezkaç kuvvetlerinin toplamı olarak tanımlanır.



Yükseklik Sistemleri

Gravite vektörünün büyüklüğüne «**gravite**», doğrultusuna ise «**çekül doğrultusu**» denir.

Gravitenin birimi «**ivme**» birimidir ve adını Galileo Galilei'den aldığı için «**gal**» ile ifade edilir.

Gravitenin konuma bağlı değişmesinin en önemli nedeni yeryuvarının basıklığıdır. Ekvatorda: 978 gal, kutuplarda 983 gal'dır.

Yeryüzünde gravite değerleri «**gravimetre**» adı verilen aletler ile gözlenir.

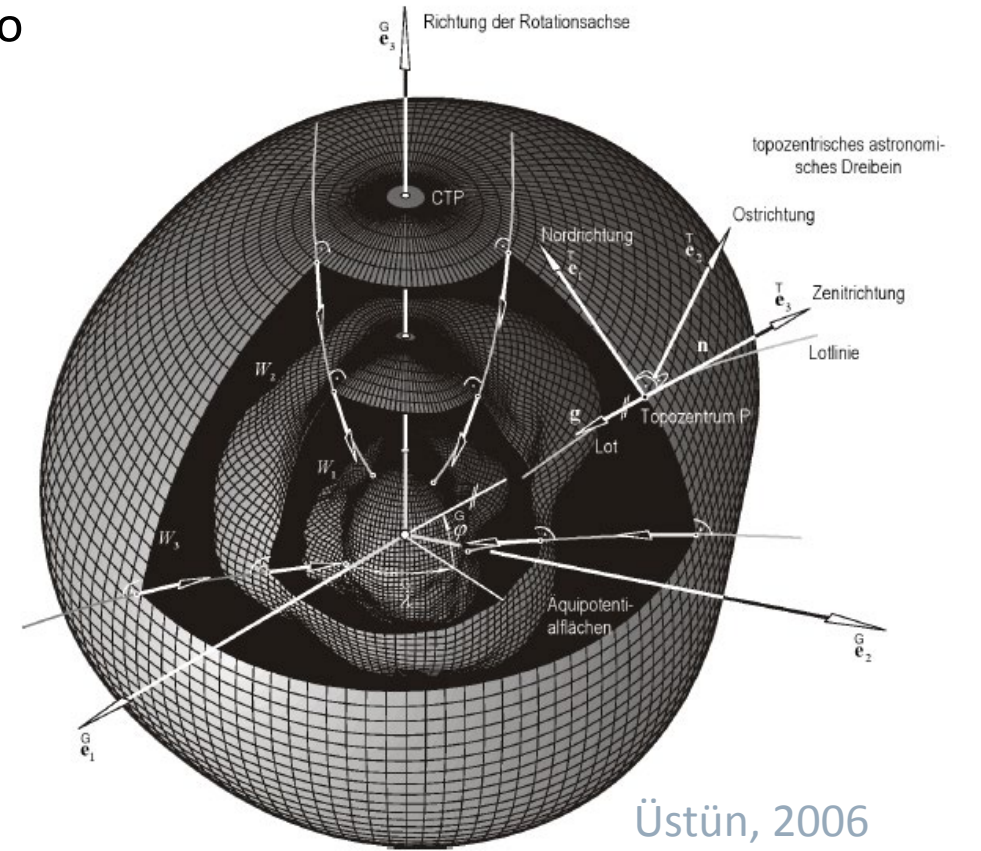


Yükseklik Sistemleri

Yeryuvarının gravite alanının geometrik özellikleri, nivo yüzeylerinin ve çekül eğrilerinin geometrisiyle açıklanır.

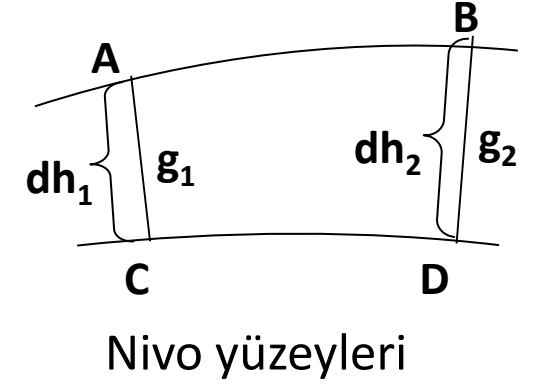
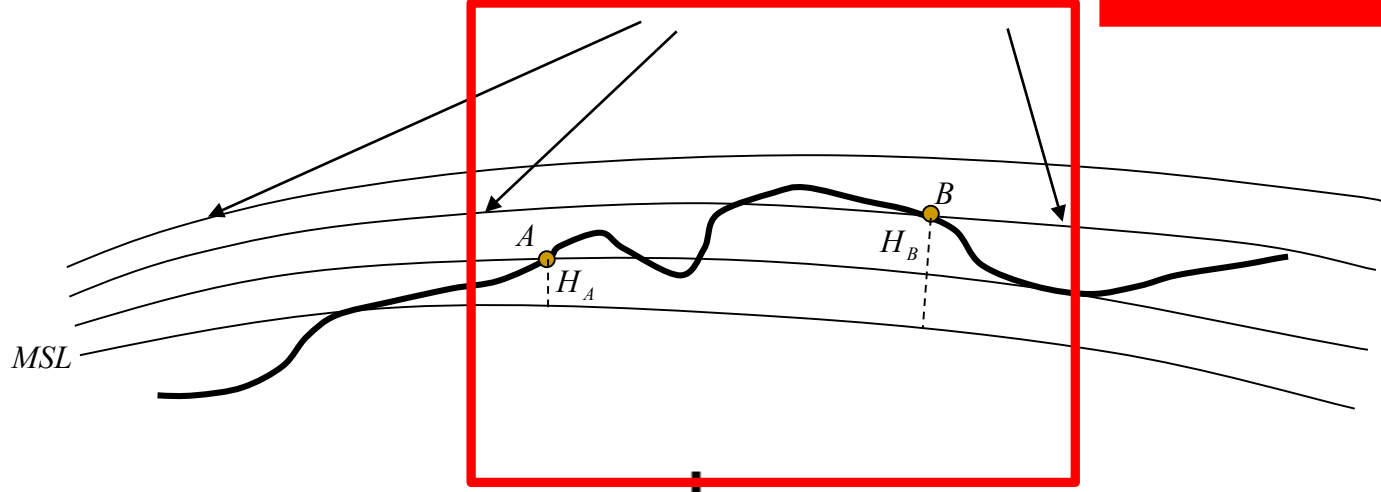
Gravite potansiyeli sabit noktaların oluşturduğu geometrik yüzeye «**eş potansiyel yüzey**» veya «**nivo yüzeyleri**» adı verilmektedir.

$$W=W(x,y,z)=\text{sabit}$$



Üstün, 2006

Eşpotansiyel Yüzeyler

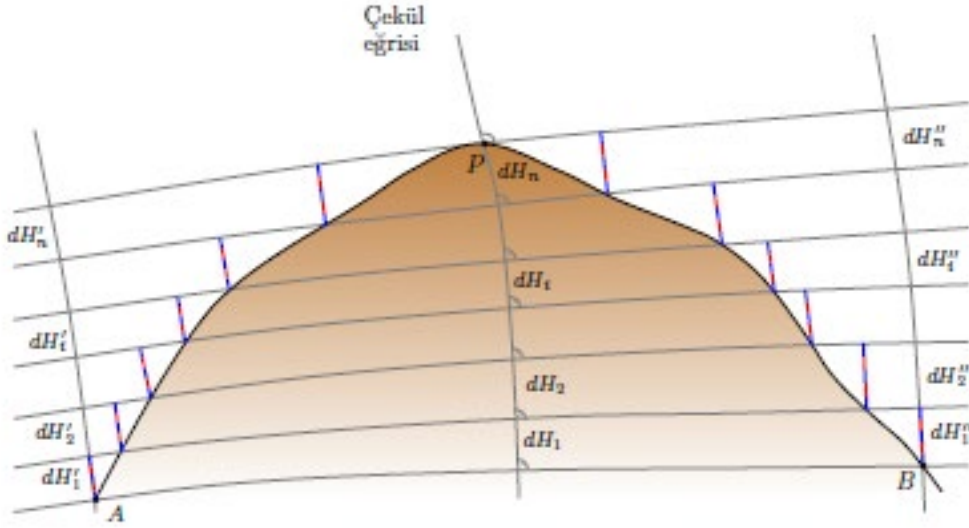


Başka bir deyişle, bir **m** kütleinin üzerinde taşınmasıyla hiçbir iş yapılmayan yüzey sıfır yükseltili bir yüzeydir.

Bu şekilde sonsuz sayıda yüzey bulunabilir ve bunlara **nivo yüzeyi** denir.

m kütlei, bir nivo yüzeyinden başka bir nivo yüzeyine taşınırsa, hangi yoldan gidilirse gidilsin aynı iş yapılır.

Yeryüzünde yerçekimi ivmesi sabit olmayıp, coğrafi enlem ve yüksekliğe bağlıdır. Bir nivo yüzeyinin değişik noktalarında yerçekimi ivmeleri farklı yani $g_1 \neq g_2$ olduğundan $dh_1 \neq dh_2$ olur. Bu da bize, **iki nivo yüzeyinin birbirine paralel olmadıklarını gösterir.**



- A ve B noktalarından aynı **eşpostansiyel** yüzey geçmektedir.
- P noktasından geçen çekül eğrisi boyunca nokta ile başlangıç yüzeyi arasındaki uzunluk (diferansiyel yükseklik farklarının toplamı) P noktasının yüksekliği olarak algılanır.
- Farklı yoldan gidilirse başlangıç yüzeyi ile P noktasından geçen eşpostansiyel yüzey arasındaki fark aynı değildir.

Nivelman yola bağımlıdır.

- Nivelmanı yoldan bağımsız duruma getirmek için **eşpostansiyel yüzeyler** arasındaki farkların belirlenmesi gerekir.
- Bunun için nivelman ölçüleri ile birlikte **gravite** ölçülerinin yapılması gerekir.
- Düz arazide 2km – 3km sıklıkla,
- Eğimli arazide 1km – 2 km sıklıkla,
- Eğimin fazla olduğu bölgelerde daha sık.

Yükseklik Sistemleri

Yükseklik denildiğinde, yeryüzü üzerindeki bir noktanın bir başlangıç yüzeyi ile olan ilişkisi anlaşılır. Bu ilişki geometrik veya fiziksel esaslara göre kurulabilir.

- Jeopotansiyel Yükseklik
- Dinamik Yükseklik
- Ortometrik Yükseklik
- Normal Yükseklik
- Normal-Ortometrik Yükseklik

Yükseklik Sistemleri

Uygulamada gravite alanı ile ilişkili yükseklik türlerinin geometrik (elipsoidal) yüksekliklere tercih edilmesinin nedeni, fiziksel yasalardır.

Başka bir deyişle, su her zaman aşağıya doğru akar; durgun su yüzeyi eşpotansiyel yüzeyin bir parçasıdır.

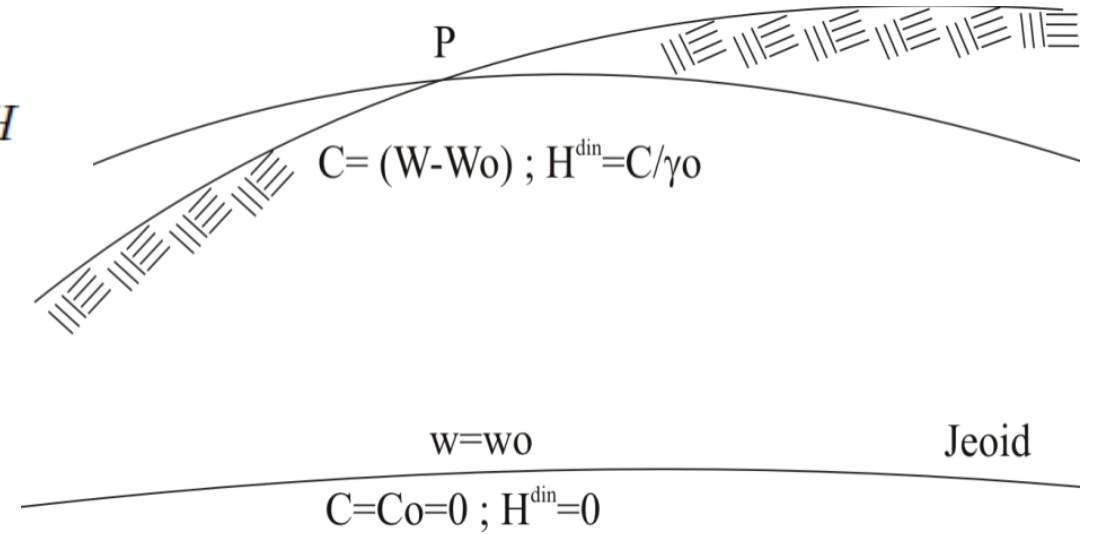


Jeopotansiyel Yükseklik

Yeryüzündeki bir P noktasından geçen nivo yüzeyinin W_P potansiyeli ile jeoidin W_0 potansiyeli arasındaki $kgal \times metre$ biriminde verilen potansiyel farka, o noktanın **potansiyel yüksekliği** adı verilir.

$$C_P = W_0 - W_P = \int_0^P dW = \int_0^P g dH \approx \sum_0^P g \Delta H$$

Jeopotansiyel yükseklikler, $1kgal$ e bölünürse metre biriminde yükseklik değeri elde edilir. Jeopotansiyel yükseklikleri metre biriminde düşünmek onların fiziksel niteliğini değiştirmez.



Jeopotansiyel Yükseklik

P noktasının jeopotansiyel yüksekliği; P_0 dan P 'ye olan geçki üzerinde belirli aralıklı noktalar arasındaki jeopotansiyel yükseklik farkları (ΔC_i) nın toplamıyla elde edilir.

$$C_P = \sum_{i=1}^K \Delta C_i \quad , \quad \Delta C_i = \bar{g}_i \cdot dh_i$$

dh_i iki nokta arasındaki geometrik nivelman ile bulunan yükseklik farkı, söz konusu iki yeryüzü noktası arasındaki ortalama gerçek gravitedir. Noktaların jeopotansiyel yükseklikleri belirlendikten sonra istenen yükseklik sisteminde nokta yükseklikleri belirlenebilir. Ayrıca geometrik nivelman ölçülerine uygun düzeltmeler (ortometrik düzeltme, normal düzeltme, dinamik düzeltme) getirilerek; düzeltmeye karşılık gelen yükseklik sisteminde noktalar arasındaki yükseklik farkları doğrudan da elde edilebilir.

Dinamik Yükseklik

Jeopotansiyel yükseklik C , sabit bir gravite değerine bölünmesiyle **Dinamik Yükseklik** elde edilir. Sabit gravite değeri için genellikle 45° enlemindeki normal gravite değeri kullanılır. (GRS80 için $\gamma_0=980.6199203$ gal)

$$H^D = \frac{C}{\gamma_0}$$

A ve B noktaları arasındaki yükseklik farkı,

$$\Delta H = \frac{1}{\gamma_0} (C_B - C_A) = \frac{1}{\gamma_0} \int_A^B g \cdot dh = \frac{1}{\gamma_0} \int_A^B (g - \gamma_0 + \gamma_0) dh = \int_A^B dh + \int_A^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh$$

Nivelman yüksekliklerinden dinamik yüksekliklere geçiş için dinamik düzeltme gereklidir.

$$v_D = \int_A^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh \approx \sum_A^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh$$

Dinamik Yükseklik

Aynı nivo yüzeyi üzerindeki noktaların dinamik yükseklikleri eşittir. Fiziksel boyutu olan geopotansiyel yükseklikler sabit bir sayı ile bölünerek metrik boyutu olan dinamik yükseklikler elde edilir. Dinamik yüksekliklerin herhangi bir geometrik anlamı yoktur.

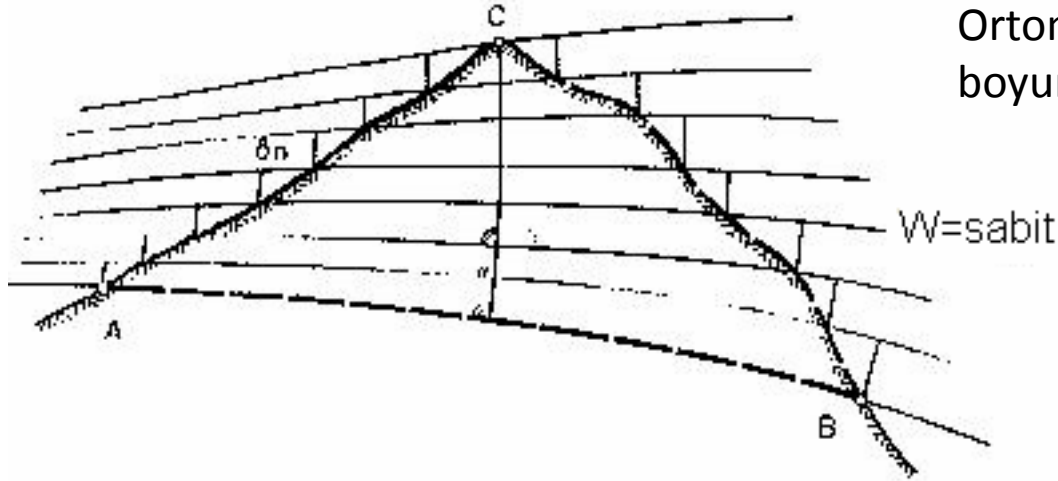
Geometrik nivelman ölçülerine dinamik düzeltme getirilerek dinamik yükseklik farkları elde edilebilir. Ağırılık ivmesi, ekvatordan kutuplara doğru 5 gal büyüklüğünde bir değişmeye uğradığından, yükseklik düzeltmeleri de büyük olabilir. Örneğin, ekvatorda 2000 metrelik yükseklik için,

$$\frac{\gamma_E - \gamma_0^{45}}{\gamma_0^{45}} \cdot 2000 \text{ m} = \frac{978.049 - 980.6294}{980.6294} \cdot 2000 \text{ m} = \frac{-2.5804}{980.6294} \cdot 2000 \text{ m} = -5.26 \text{ m}$$

olur. Dinamik yükseklik düzeltmesi özellikle **dağlık bölgelerde** büyük değerlere ulaştığından, bu yükseklik sistemi uygulama açısından uygun değildir.

$$\gamma_0^0 = 978.049 \text{ gal} \quad \gamma_0^{90} = 983.2213 \text{ gal}$$

Ortometrik Yükseklik



Ortometrik yükseklik, yeryüzündeki bir noktanın çekül eğrisi boyunca jeoide olan uzaklığıdır.

- P noktasından geçen çekül eğrisi boyunca ölçülür. Eğrinin jeoidi (W_0) kestiği noktanın yüksekliği sıfırdır.
- İdeal koşullarda yükseklik farklarının ve gravite ölçülerinin bu eğri boyunca yapılması gerekir.
- P noktasının çekül eğrisi boyunca ortalama g değeri bilinmelidir.

$\bar{g}$ Ortama gravite değeri

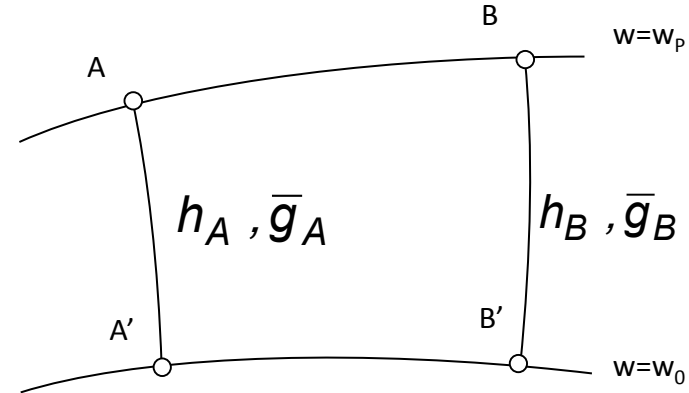
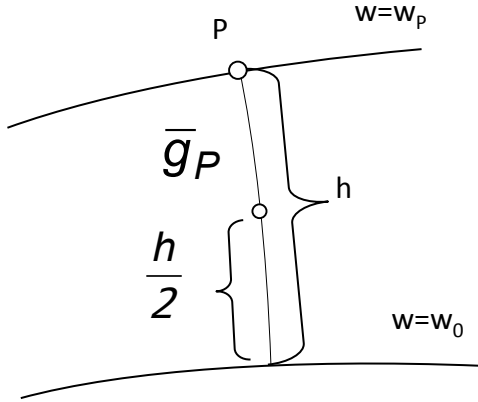
Helmert ortometrik yüksekliği

$$H = \frac{C_P}{g_P + 0.0424H}$$

gal km

Ortometrik Düzeltme

Ortometrik yükseklikler, geometrik nivelmanla bulunan yükseklik farklarına, bir düzeltme getirilerek bulunur. Deniz seviyesinden oldukça yüksek olan bölgelerde, kuzey-güney doğrultusunda bu düzeltmeler hissedilir derecede büyük değerlere ulaşabilir. Uygulamada ortometrik düzeltmelerin toplam nivelman boyu yerine, iki röper noktası arasındaki her parça için uygulanması uygundur.



Ortometrik düzeltme

Ortometrik Düzeltme

Şekildeki A ve B noktaları arasında yapılan geometrik nivelman sonucunda elde edilen $\sum \Delta h$ toplamına getirilecek düzeltmeyi hesaplamak için $\oint dh = 0$ eşitliğinden yararlanılır. Böylece,

$$\int_A^{A'} g \cdot dh + \int_{A'}^{B'} g \cdot dh + \int_{B'}^B g \cdot dh + \int_B^A g \cdot dh = 0$$

denklemini elde edilir.

Aynı yükselti yüzeyi üzerinde, $\int_{A'}^{B'} g \cdot dh = 0$ olduğundan,

$$-\int_{A'}^A \frac{g - \gamma_0 + \gamma_0}{\gamma_0} dh + \int_{B'}^B \frac{g - \gamma_0 + \gamma_0}{\gamma_0} dh - \int_A^B \frac{g - \gamma_0 + \gamma_0}{\gamma_0} dh = 0$$

$$-\int_{A'}^A \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh - H_A + \int_{B'}^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh + H_B - \int_A^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh - \sum_A \Delta h = 0 \quad H_B = H_A + \sum_A \Delta h + \sum_A \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh + \frac{\bar{g}_A - \gamma_0}{\gamma_0} H_A - \frac{\bar{g}_B - \gamma_0}{\gamma_0} H_B$$

Ortometrik Düzeltme

$$v_D = \sum_A^B \frac{g - Y_0}{Y_0} dh + \frac{\bar{g}_A - Y_0}{Y_0} H_A - \frac{\bar{g}_B - Y_0}{Y_0} H_B$$

düzeltilmesi elde edilir. Düzeltme miktarını hesaplayabilmek için önce, çekül eğrisi boyunca A noktasındaki $\bar{g}_A$ ve B noktasındaki $\bar{g}_B$ ortalama ağırlık ivmesi, örneğin Helmert'e göre hesaplanır.

Normal Yükseklik

Yeryüzünün gerçek gravite alanının normal gravite alanı olduğu, yani $\mathbf{W}=\mathbf{U}$, $\mathbf{g}=\gamma$, $\mathbf{T}=\mathbf{0}$ olduğu kabul edilsin. İşte bu varsayıma karşılık gelen ortometrik yüksekliklere *normal yükseklik* adı verilir ve $H^N = \frac{C}{\bar{\gamma}}$ eşitliği ile ifade edilir. çekül eğrisi boyunca olan ortalama gravitedir ve iteratif olarak aşağıdaki eşitlikten çözülür.

$$\bar{\gamma} = \gamma \cdot \left[1 - (1 + f + m - 2 \cdot f \cdot \sin^2 \varphi) \cdot \frac{H^N}{a} + \left(\frac{H^N}{a} \right)^2 \right]$$

$$m = \frac{\omega^2 \cdot a \cdot b}{kM}$$

Burada γ , aynı φ enleminde elipsoit üzerindeki normal gravite, φ jeodezik enlem, f basıklık, ω Yerin açısal dönme hızı, a ve b elipsoidin büyük ve küçük yarı eksenleri, kM Newton çekim sabiti ile yerin kütlesinin çarpımıdır.

Normal Yükseklik

Elipsoit üzerinde ζ yükseklik anomalileri de çizilebilir. Bu yolla okyanuslar üzerinde geoitle özdeş olan bir yüzey elde edilir. Çünkü orada $\zeta = N$ olup diğer taraflarda da geoide çok yakındır. Bu yüzeye Molodenski tarafından **kuazigeoit** denilmiştir. **Normal yüksekliklerin** başlangıç yüzeyi, okyanuslarda geoit ile çakışan, karalarda farklılık gösteren **kuazigeoit**dir. Kuazigeoitte geoidin dış yüzeyindeki kütle ve bunun yerçekimi ivmesi üzerindeki etkisi dikkate alınmaz. Bununla beraber **kuazigeoit bir nivo yüzeyi değildir ve hiçbir fiziksel anlamı da yoktur.** Bu, geoide benzer bir yüzeye çağrışım yaptırır.

Başlangıç elipsoidi ile kuazigeoit arasındaki uzaklık, **yükseklik anomalisi (kuazigeoit yüksekliği)** $\zeta = h - H_N$ olarak tanımlanır. Yüksek dağlık yerlerde kuazigeoit ile geoit arasındaki fark (uzaklık) yaklaşık 2 m yi bulabilir.

Normal Yükseklik

Elipsoitten H^N yüksekliğinde olan noktalar, **tellüroit** adı verilen yeryüzünün bir modelini oluştururlar. P noktasının gerçek çekül eğrisi boyunca geoide olan uzaklığı **ortometrik yükseklik**, normal çekül eğrisi boyunca kuazigeoide olan uzaklığı ise **normal yüksekliktir**. Ortometrik yükseklikler yer yoğunluğu ile ilgili bazı varsayımlara dayanmasına karşın, normal yükseklikler için herhangi bir varsayım söz konusu değildir.

Dinamik ve ortometrik düzeltmeler gibi, ölçülen yükseklik farkları için de bir normal düzeltme v_N vardır. yerine h ve H yerine H^N konarak **normal yükseklik düzeltmesi** elde edilir.

$$v_N = \sum_A^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} + \frac{\bar{\gamma}_A - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot H_A^N - \frac{\bar{\gamma}_B - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot H_B^N$$

$$\Delta H_{AB}^N = H_B^N - H_A^N = \Delta h_{AB} + v_N$$

Normal Ortometrik Yükseklik

Gerçek gravite değerinin bilinmediği durumlarda yerine ortalama normal gravite alınarak $\Delta C'_i$ normal geopotansiyel yükseklik farkı elde edilmekte ve böylece normal geopotansiyel yükseklik (C'_p) hesaplanmaktadır.

$$C'_p = \sum_{i=1}^K \Delta C'_i \quad , \quad \Delta C'_i = \bar{\gamma}_i \cdot dh_i$$

Normal geopotansiyel yükseklikten **normal ortometrik yükseklikler**,

$$H^{NO} = \frac{C'_p}{G} \quad , \quad G = \gamma - 0.3086 \cdot \left(\frac{H^{NO}}{2} \right)$$

eşitlikleriyle elde edilmektedir. Normal geopotansiyel yükseklikler, gerçek gravite alanına dayanmadığı için tam diferansiyel ve tek anlamlı değildir. Bunun anlamı, bir halkayı (lupu) oluşturan normal geopotansiyel yükseklik farklarının toplamı teorik olarak sıfır olmaz. Bu da bir yükseklik sisteminden beklenen temel özellikleri yansıtmamaktadır.

Normal Ortometrik Yükseklik

Ölçülen geometrik yükseklik farklarına normal graviteden yararlanla normal ortometrik düzeltme getirilerek normal ortometrik yükseklik farkları elde edilebilmektedir. Normal ortometrik düzeltme (v_{NO});

$$v_{NO} = 2\bar{H}^{NO} \cdot \alpha \cdot \sin 2\bar{\varphi} \left[1 + \left(\alpha \cdot \frac{2\beta}{\alpha} \right) \cdot \cos 2\bar{\varphi} \right] \Delta\varphi$$

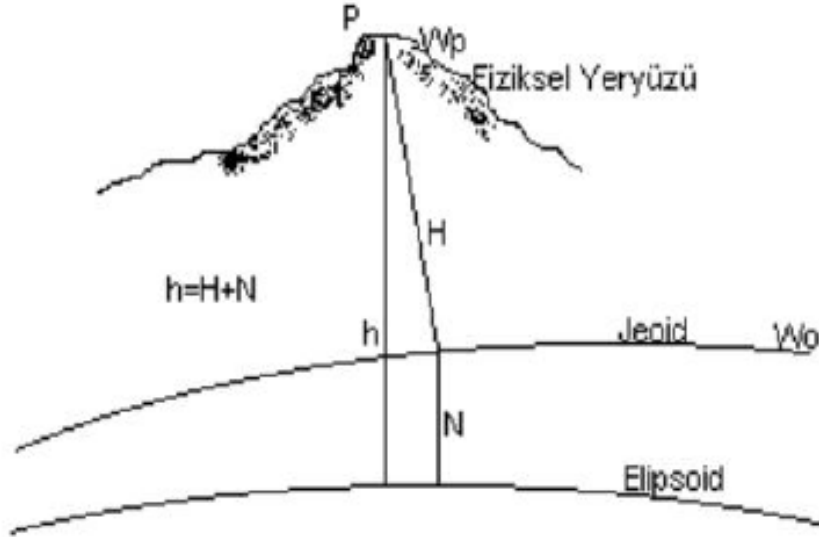
eşitliği ile hesaplanır. Burada $\bar{H}^{NO}$ ortalama yükseklik α ve β bilinen katsayılar, iki düşey kontrol noktasının ortalama enlemi, $\Delta\varphi$ ise aralarındaki enlem farkıdır. **Türkiye'de mevcut yükseklikler Normal Ortometrik Yükseklik Sistemi'nde** olup ölçülen yükseklik farkları; yukarıdaki eşitlikte $\alpha=0.002644$ ve $\beta=0.000007$ (Hayford Elipsoidi) alınarak hesaplanan normal ortometrik düzeltme ile normal ortometrik yükseklik farklarına dönüştürülmüştür.

Normal Ortometrik Yükseklik

Normal ortometrik yükseklik, NN (“normal sıfır”) yüksekliği olarak da ifade edilir. Sıfır noktası olarak **Ülkemizde Antalya Mareograf İstasyonundaki** röper noktası alınmıştır. NN-başlangıç yüzeyi, bir elipsoit yüzeyidir. NN-yüzeyi, normal ağırlık ivmesinin etkisinin dikkate alındığı bir v_{NO} normal ortometrik indirgemesiyle NN-yüksekliği belirlenerek elde edilir.



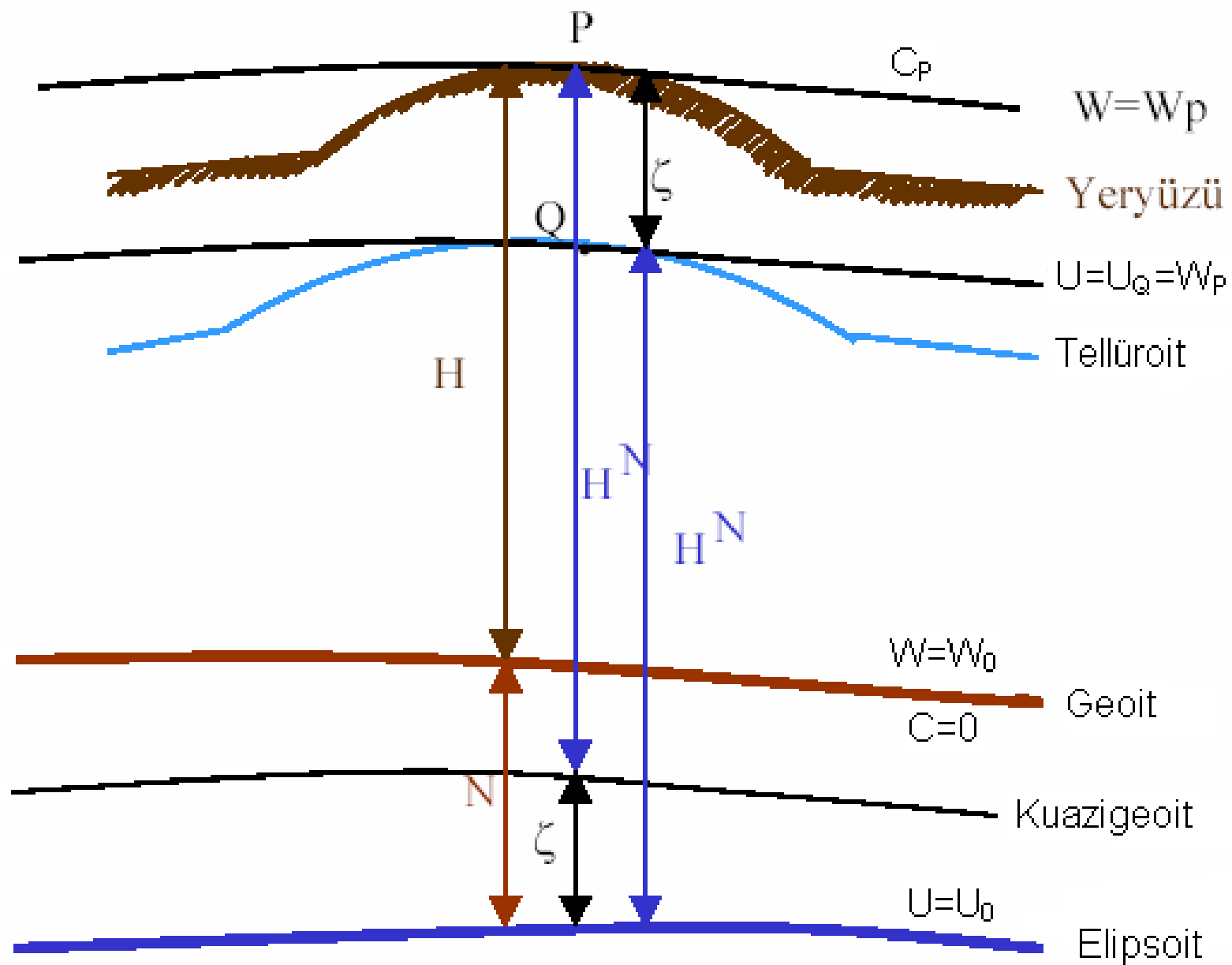
Elipsoidal Yükseklik



- Uygulamada geometrik nivelman ve gravite ölçülerine dayalı olarak hesaplanan ortometrik yükseklikler kullanılır.
- GPS ölçüleri ile, başlangıç olarak seçilen elipsoide göre h elipsoidal yükseklikleri belirlenir.
- Ortometrik yükseklik ile elipsoidal yükseklik arasında;

$$h=H+N$$

- Elipsoidal yükseklikler yerim çekim alanında bağımsızdır.
- GPS ile elde edilen yüksekliklerin uygulamada kullanılabilmesi için N jeoit yüksekliklerine gereksinim vardır.
- GPS gözlemlerinde türetilen ortometrik yükseklik doğruluğu N jeoit yüksekliği doğruluğuna bağlıdır.



NİVELMAN AĞLARI

2. BÖLÜM

NİVELMAN AĞLARI



— I'inci Derece Nivelman Hattı — II'nci Derece Nivelman Hattı

Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA-99)

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği

Madde-8 SINIFLANDIRMA

c) TUDKA99 ve buna dayalı olarak oluşturulan düşey kontrol ağlarının derecelendirilmesi aşağıda belirtilmiştir.

- 1) I. ve II. derece nivelman ağı ve noktaları: Ülke nivelman ağı ve noktaları.
- 2) III. derece nivelman ağı ve noktaları (ana nivelman ağı): En çok 40 km uzunluğundaki luplarla üst dereceli ağlara dayalı sıklaştırma ağı ve noktaları.
- 3) IV. derece nivelman ağı ve noktaları (ara nivelman ağı): En çok 10 km uzunluğundaki luplarla üst dereceli ağlara dayalı sıklaştırma ağı ve noktaları.
- 4) V. derece nivelman ağı ve noktaları: Poligon ve tamamlayıcı nivelman ağı ve noktaları.

BÜYÜK ÖLÇEKLİ HARİTA VE HARİTA BİLGİLERİ ÜRETİM YÖNETMELİĞİ, NİSAN 2018

TÜRKİYE'DE ULUSAL NİVELMAN AĞI ÇALIŞMALARI

- Türkiye' de nivelman çalışmaları 1935 yılında Antalya mareograf istasyonunun kurulmasıyla başlamıştır.
- 1936 yılında 1944 yılına kadar çalışmalara ara verilmiş.
- İlk faz ölçüleri 1970 yılına kadar tamamlanarak, ülke genelinde ana ve tali karayolları ile yer yer demiryolu güzergahları üzerinden yürütülen çalışmalarla Düşey Kontrol Ağı fiilen tesis edilmiştir.
- 1970 yılına kadar yapılan çalışmalarda gravite ölçülmemiştir.



Kaynak: Sezen, A., Türkezer A., Simav, M., Kurt, A.İ., Kurt, M., Lenk, O., 'Türkiye Ulusal Nivelman Ağı Çalışmalarına Genel Bir Bakış', Harita Genel Müdürlüğü

TÜRKİYE'DE ULUSAL NİVELMAN AĞI ÇALIŞMALARI

1935 yılında başlanan nivelman çalışmalarında, datum teşkil etmesi amacıyla İsviçre'den alınan dört adet mareograf aletlerinden biri Antalya Limanı içine tesis edilerek **08 Haziran 1935** tarihinde çalıştırılmaya başlanmıştır.

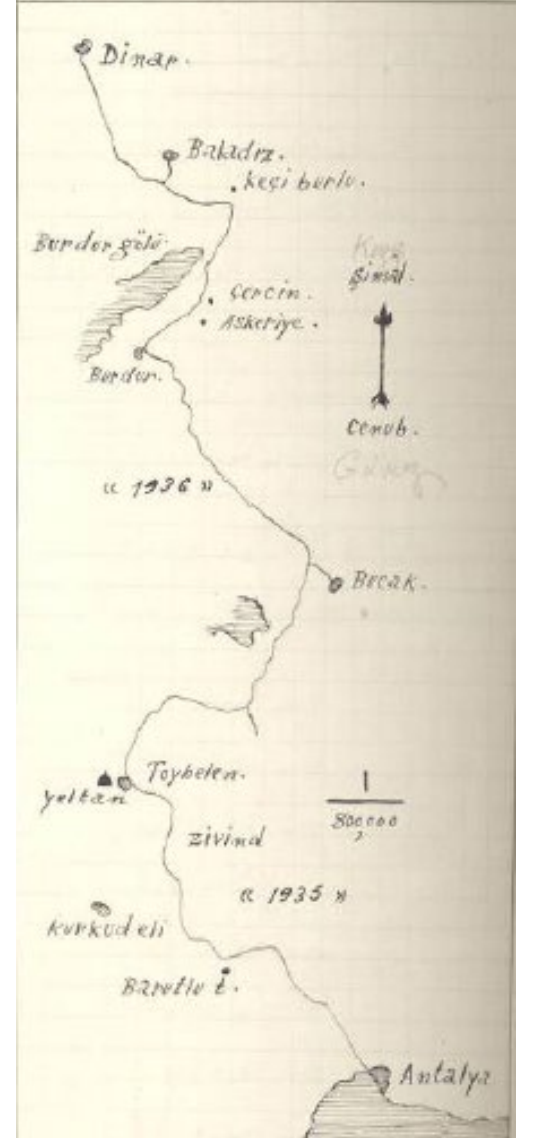


TÜRKİYE'DE ULUSAL NİVELMAN AĞI ÇALIŞMALARI

- 1936 yılına kadar nivelman çalışmalarına devam edilmiş, Antalya'dan Dinar'a kadar toplam 220 km lik bir nivelman hattı tesis edilerek hassas nivelman ölçümleri yapılmıştır.



- İkinci mareograf istasyonu İzmir Karşıyaka'da 1936 yılında kurulmuştur.
- 1944 yılından itibaren Akdeniz ve Karadeniz sahillerindeki mareograf istasyonlarının birbirine bağlanmasına karar verilmiştir.



TÜRKİYE'DE ULUSAL NİVELMAN AĞI ÇALIŞMALARI

- Nivelman hatlarındaki noktalara yükseklik vermek için deniz kenarlarına kurulan 7 adet mareograf istasyonundan içerilere doğru yükseklik taşınmış ancak ilerleyen nivelman hatlarının kesişim noktalarında yükseklik farklılıklarının (0.15 – 0.40 m) ortaya çıktığı görülmüştür.
- Ortaya çıkan bu hata miktarının kabul edilebilir sınırları aşması nedeniyle farklı deniz seviyelerinden yükseklik üretilmesine devam edilemeyeceğine karar verilmiş ve mareograf istasyonlarından taşınan yükseklikler vasıtasıyla ülke ortasında bir datum noktasının tesisine karar verilmiştir.
- Bu amaçla Ankara-Adana-Konya yol kavşağında bir «**Normal Rakım Noktası**» (N.R.N) tesis edilmiş, yüksekliği mevcut mareograf istasyonlarından nivelmanla taşınan yüksekliklerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

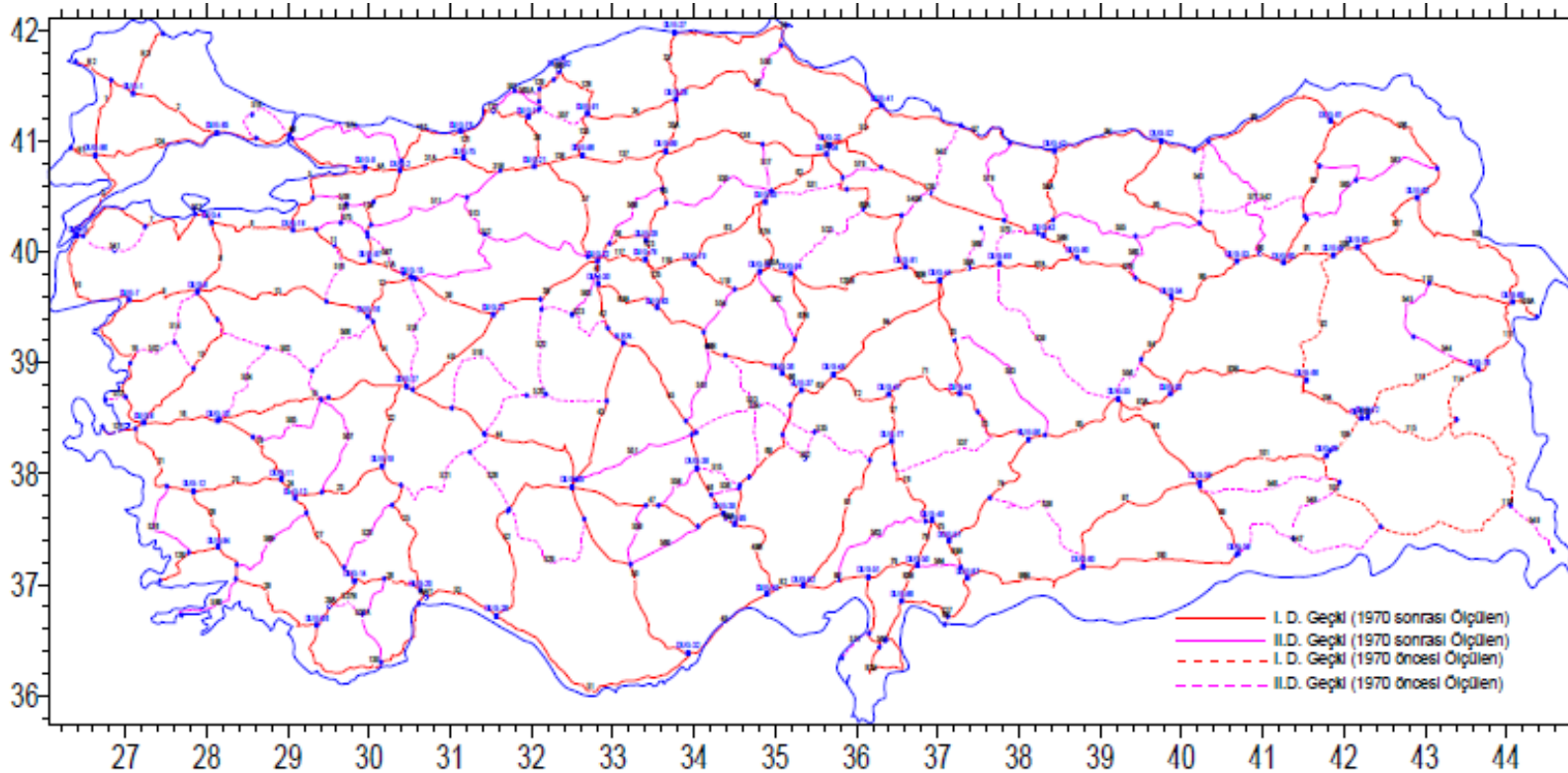
TÜRKİYE'DE ULUSAL NİVELMAN AĞI ÇALIŞMALARI



1970 yılında tamamlanan 1. Periyot ölçülerle 19800 km uzunluğunda 158 adet I. Derece, 8900 km uzunluğundan 87 adet II. Derece geçkiden oluşan düzey kontrol ağı fiilen tesis edilmiştir.

TÜRKİYE'DE ULUSAL NİVELMAN AĞI ÇALIŞMALARI

- 1991 yılında tamamlanan 2. periyot ölçümleri ile gravite değerlerinin kullanılması ile Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı – 1992 (TUDKA-92) oluşturulmuştur.
- 1999 yılında ek ölçüler ile yapılan dengeleme sonucunda 29316 km uzunluğunda, 25680 noktalı TUDKA-99 oluşturulmuştur.



TÜRKİYE'DE ULUSAL NİVELMAN AĞI ÇALIŞMALARI

Referans Sistemi	:	Türkiye Ulusal Düşey Referans Sistemi
Referans Çerçevesi	:	Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99)
Düşey Datum	:	Antalya mareograf istasyonu, 1935-1971 dönemi ortalama deniz seviyesi
Gravite Datumu	:	IGSN71
Yükseklik Sistemi	:	Ortometrik
Periyot	:	1935-2005
Nokta Sayısı	:	25680 adet
Uzunluk	:	29316 km
Düğüm Noktası Sayısı	:	274 adet
1'nci Derece Hat Sayısı	:	158 adet ($4\sqrt{S}$ mm)
2'nci Derece Hat Sayısı	:	85 adet ($8\sqrt{S}$ mm)
Ölçülen Gravite Sayısı	:	21568 adet
Kestirilen Gravite Sayısı	:	4112 adet
Dengeleme Modeli	:	$\Delta C_{ij} = \sum_{k=1}^K \frac{g_k + g_{k+1}}{2} \Delta n_k$ Gözlem: Jeopotansiyel Sayı
Ağırlık	:	$P_i = \frac{200}{t^2 S_i}$, Mesafenin tersi, $t=1.414$ (1'nci derece hat), $t=2.828$ (2'nci derece hat), t : 1 km nivelmanda yükseklik farkının standart sapması
Kaba Hata	:	Data Snooping

TÜRKİYE'DE ULUSAL NİVELMAN AĞI ÇALIŞMALARI



Nivelman duvar noktası



Nivelman zemin noktası



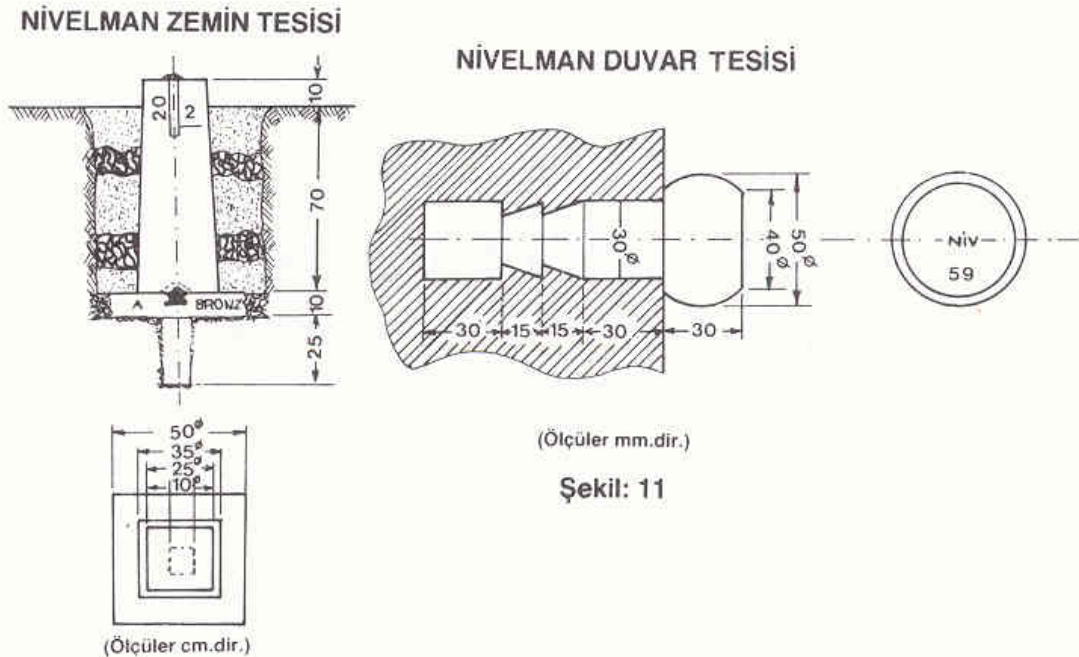
Yer altı nivelman noktası

NİVELMAN GEÇKİLERİNİN OLUŞTURULMASI

3.BÖLÜM

ANA NİVELMAN AĞI

BÖHHBÜY, Madde 31 - Ana nivelman ağı, proje alanını kapsayacak şekilde, **çevresi 40 km'yi aşmayan luplar biçiminde düzenlenir.** Nivelman geçkileri hassas geometrik nivelman yapılabilecek yollar üzerindeki C3 ve daha yüksek dereceli noktalar ve poligon noktaları ile bölgede önceden tesis edilen nivelman ağlarının yüksek dereceli noktalarını içerecek şekilde seçilir. Geçki üzerindeki nokta sıklığı en çok 1.5 km olmalıdır. Seçimi yapılan noktalar için bir seçim kanavasası düzenlenir. Seçim kanavasası onaylandıktan sonra, yeni noktalar Ek-4'teki biçimde tesis edilir ve Ek-6'daki biçimde röperlenir.



NİRENGİ VE NİVELMAN KOKTALARI RÖPER ÖLÇÜ KROKİSİ

Şehir ve Kasaba Adı : OVACIK (TUNCELİ)

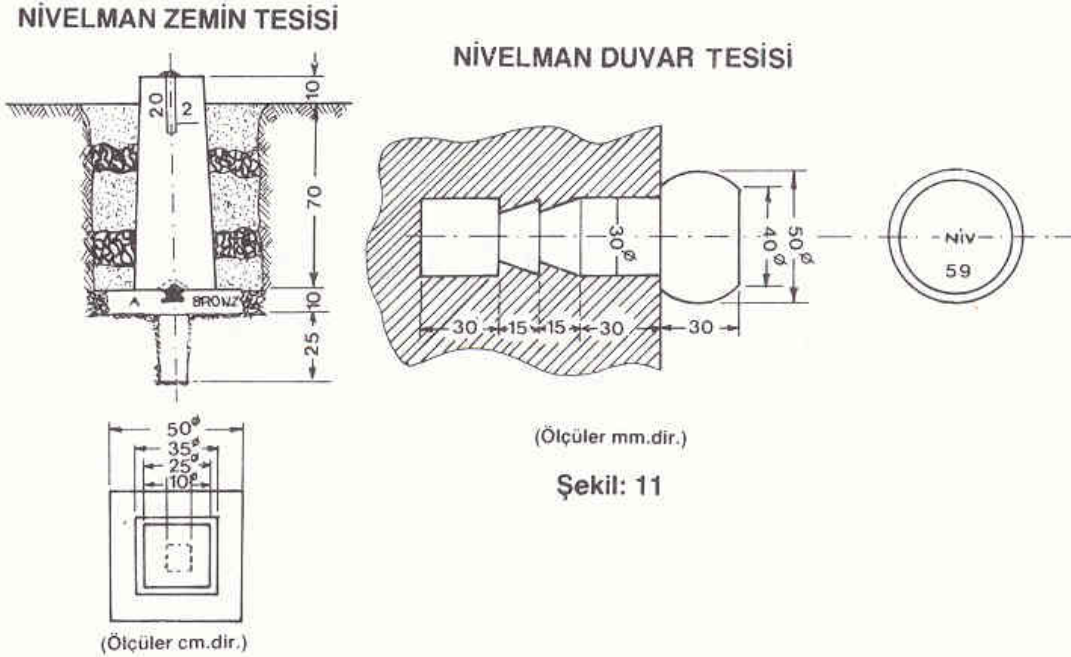
Sahife No:

NO = J423H003/420504	ADI = AN.5 / RS.4	MEVKİİ VE YARARLI NOT
Y =		Tunceli yolu üzerindeki afet evleri yanında Mercan köyü yolu kavşağından köye doğru tahmini 700m mesafede
X =		giderken yolun solunda İlçe Jandarma Komutanlığı sahası
H =		içinde yoldan tahmini 75m içeride
Zemin İşaretinin Cinsi* : T		

* Zemin işaretlerinin Cinsleri ve Kısaltmaları	Tesis Eden :
B. Demir Boru	
C. Demir Çivi	
T. Beton Taş	
Br . Bronz	
	Tarih :/...../200...

Ara Nivelman Ağı

BÖHHBÜY, Madde 32 - Ara nivelman ağı, başı ve sonu ana nivelman ağı noktalarına bağlı toplam uzunluğu **10 km'yi geçmeyen nivelman geçkileri veya en az iki ana nivelman noktasını içeren ve toplam uzunluğu 10 km'yi geçmeyen luplar biçiminde plânlanır.** Geçki üzerindeki nokta sıklığı 750 m -1000 m olmalıdır. Seçimi yapılan ana nivelman noktaları bu Yönetmeliğin 31'inci maddesinde belirtilen seçim kanavasında gösterilir. Yeni noktalar, Ek-4'teki biçimde tesis edilir ve Ek-6'daki biçimde röperlenir.



NİRENGİ VE NİVELMAN NOKTALARI RÖPER ÖLÇÜ KROKİSİ

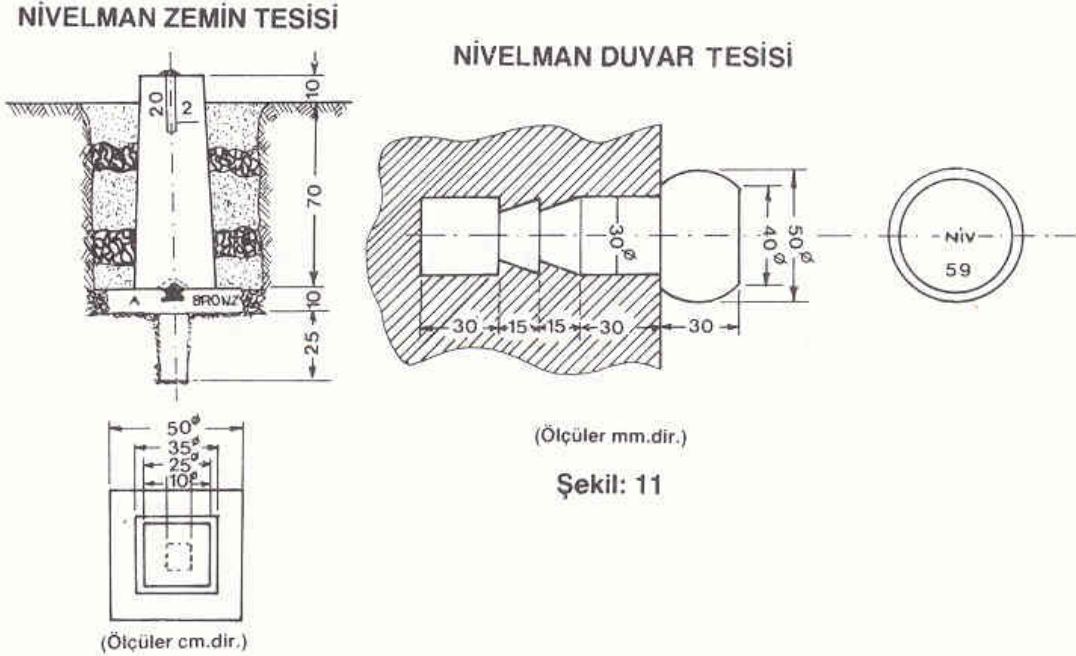
Şehir ve Kasaba Adı : OVACIK (TUNCELİ)

Sahife No: _____

NO = J423H003/420504	ADI = AN.5 / RS.4	MEVKİLİ VE YARARLI NOT
Y = _____	X = _____	Tunceli yolu üzerindeki afet evleri yanında Mercan köyü
H = _____	Zemin İşaretinin Cinsi*: T	yolu kavşağından köye doğru tahmini 700m mesafede
		giderken yolun solunda İlçe Jandarma Komutanlığı sahası
		içinde yoldan tahmini 75m içeride
* Zemin işaretlerinin Cinsleri ve Kısaltmaları B. Demir Boru C. Demir Çivi T. Beton Taş Br . Bronz		Tesis Eden : _____ Tarih :/...../200...

Yardımcı Nivelman Noktaları

BÖHKBÜY, Madde 34 - Proje alanı içinde, her dereceden nivelman noktalarının yoğunluğu yerleşim bölgelerinde ortalama 400-500 m aralıklarla ve diğer bölgelerde ortalama 700-800 m aralıklarla olmalıdır. Bu yoğunluğu yeterince sağlamak için yardımcı nivelman noktaları (RS) tesis edilir. Bu noktalar; bu Yönetmeliğin 31'inci maddesinde belirtilen seçim kanavasında gösterilir, Ek-4'e göre tesis edilir ve Ek-6'daki biçimde röperlenir.



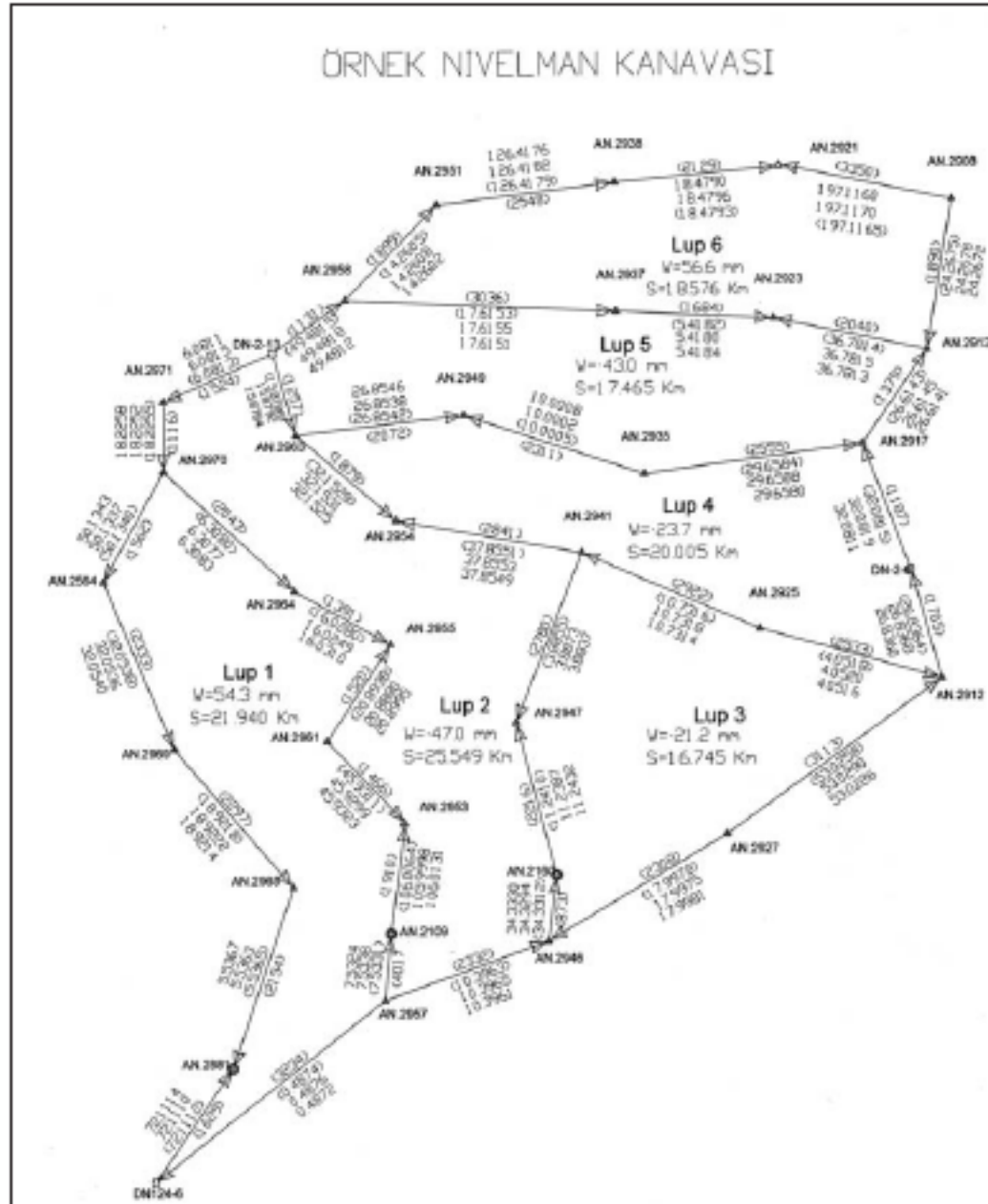
NİRENGİ VE NİVELMAN NOKTALARI RÖPER ÖLÇÜ KROKİSİ

Şehir ve Kasaba Adı : OVACIK (TUNCELİ)

Sahife No: _____

NO = J423H003/420504	ADI = AN.5 / RS.4	MEVKİLİ VE YARARLI NOT
Y = _____		Tunceli yolu üzerindeki afet evleri yanında Mercan köyü
X = _____		yolu kavşağından köye doğru tahmini 700m mesafede
H = _____		giderken yolun solunda İlçe Jandarma Komutanlığı sahası
Zemin İşaretinin Cinsi*: T		içinde yoldan tahmini 75m içeride
* Zemin işaretlerinin Cinsleri ve Kısaltmaları		Tesis Eden :
B. Demir Boru	C. Demir Çivi	
T. Beton Taş	Br . Bronz	Tarih :/200...

Nivelman Kanavası



Nivelman Ölçüsü

BÖHHBÜY, Madde 33 - Bağlantı nivelmanı, ana ve ara nivelman ağındaki yükseklik farklarının belirlenmesinde, gidiş-dönüş nivelmanı yapılır ve gidiş-dönüş nivelmanı ile yükseklik farkının ± 1.5 mm/km veya daha iyi duyarlılıkla belirleyebilen nivo ve miralar kullanılır. Ayrıca aşağıdaki hususlar dikkate alınır:

- a) Çift mira ve mira altlıkları (papuçlar, çarıklar) kullanılır.
- b) Alet kurma sayısı çift olur.
- c) Nivoların ana eksen koşulları ve miraların düzeçleri kontrol edildikten sonra ölçmelere başlanır.
- d) Mira okumaları; tek bölümlü miralarda; G I I G sırasıyla çift bölümlü miralarda G_I I_I I_{II} G_{II} sırasıyla veya benzer yöntemlere uygun yapılır. Buradaki G geri mira okunması, I ileri mira okunması, I ana mira bölümü, II yardımcı mira bölümü anlamındadır. Altı çizgili okumalarda nivo miraya yöneltildiğinde düzeç kontrol edilir.
- e) Mira okumaları 0,1 mm'ye kadar kaydedilir.
- f) Miradaki en küçük orta çizgi okuması 0,5 m alınır.
- g) Alet mira uzaklığı en fazla 50 m alınır.

Yardımcı Nivelman Noktalarının Ölçümü

BÖHHBÜY, Madde 36 - Yardımcı nivelman noktalarının yükseklikleri, ana ve ara nivelman noktalarına bağlı nivelman geçkilerinde gidiş-dönüş nivelmanı ile olabildiğince poligon noktalarından geçilerek belirlenir. Bu nivelmanda, gidiş-dönüş nivelmanı ile yükseklik farkını ± 2.5 mm/km veya daha iyi doğrulukla belirleyebilen nivo ve miralar kullanılır. Nivelman yolunun uzunluğu bağlantı noktaları arasındaki geometrik uzunluğun 2 katını geçemez.

Nivelman Gidiş – Dönüş Kapanma Değerleri

BÖHHBÜY, Madde 37 - Gidiş – dönüş nivelmanında bulunan kapanma değeri (w),

$$\text{Ana ve bağlantı nivelmanında} \quad : w_{[\text{mm}]} \leq 12 \sqrt{S}_{[\text{km}]}$$

$$\text{Ara nivelmanda} \quad : w_{[\text{mm}]} \leq 15 \sqrt{S}_{[\text{km}]}$$

$$\text{Yardımcı nivelmanda} \quad : w_{[\text{mm}]} \leq 20 \sqrt{S}_{[\text{km}]} + 0.0002 \Delta H$$

olmalıdır. Burada S, km biriminde nivelman yolunun uzunluğu, ΔH iki nokta arasındaki yükseklik farkıdır. Nivelman yolu üzerindeki ardışık noktalar arasında bu kontrol yapılır.

Nivelman Lup Kapanma Değerleri

BÖHNBÜY, Madde 38 - Gidiş–dönüş yükseklik farklarının ortalamalarından hesaplanan lup kapanmaları (w_L),

$$\text{Ana nivelmanda} \quad : \quad w_{L[\text{mm}]} \leq 15\sqrt{L_{[\text{km}]}}$$

$$\text{Ara nivelmanda} \quad : \quad w_{L[\text{mm}]} \leq 18\sqrt{L_{[\text{km}]}}$$

olmalıdır. Burada L , km biriminde nivelman lup uzunluğudur.

NİVELMAN GEÇKİLERİNİN ÖLÇÜLMESİ-HESAPLANMASI

4.BÖLÜM

Nivolar



Antika Nivolar



Kompansatörlü Nivolar



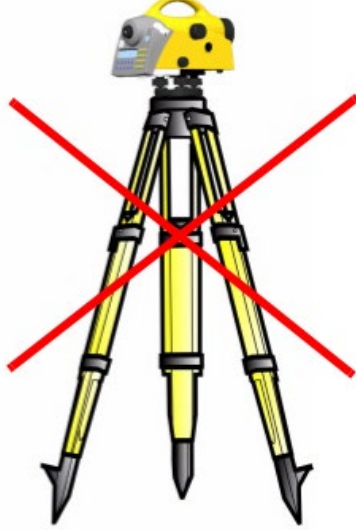
Sayısal Nivolar



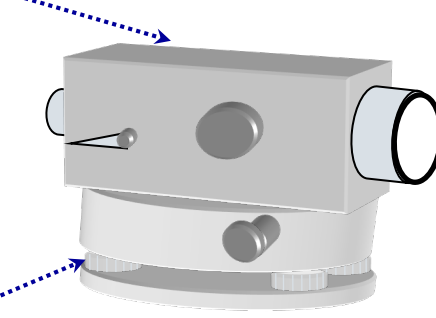
Lazerli Nivolar

Kompansatörlü Nivolar

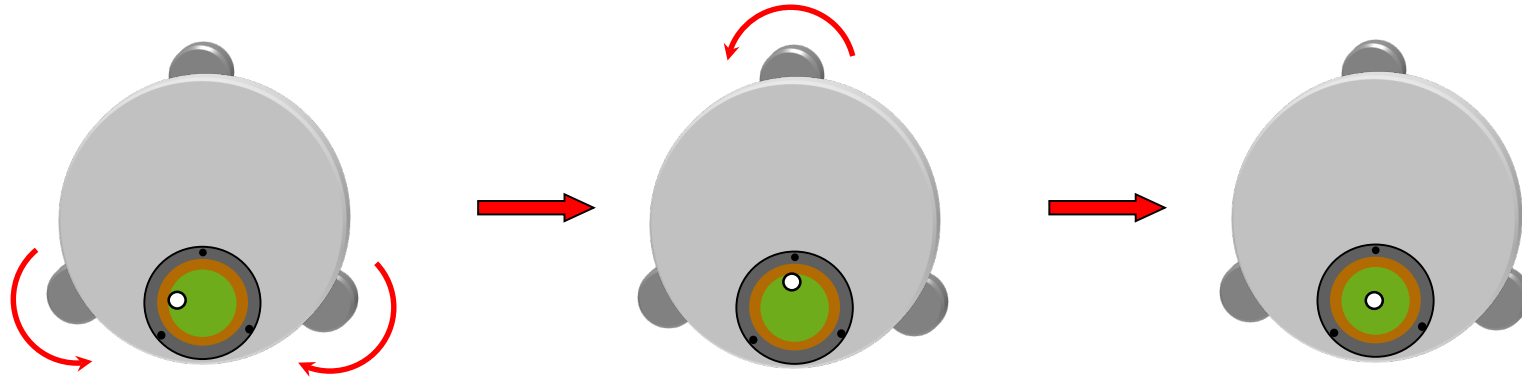
Düzeçleme



Küresel düzeç

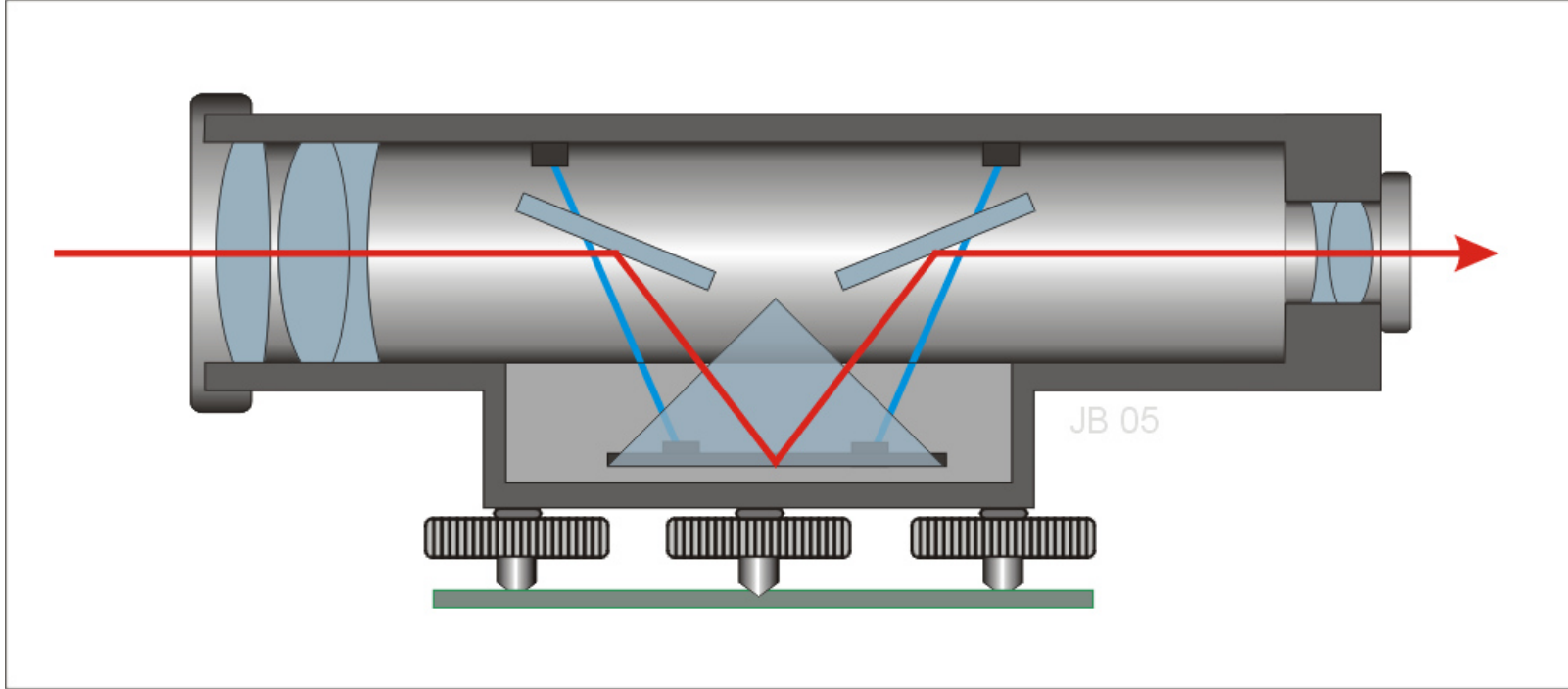


Üç ayak vidası



Kompansatör Nivolar

Kompansatör

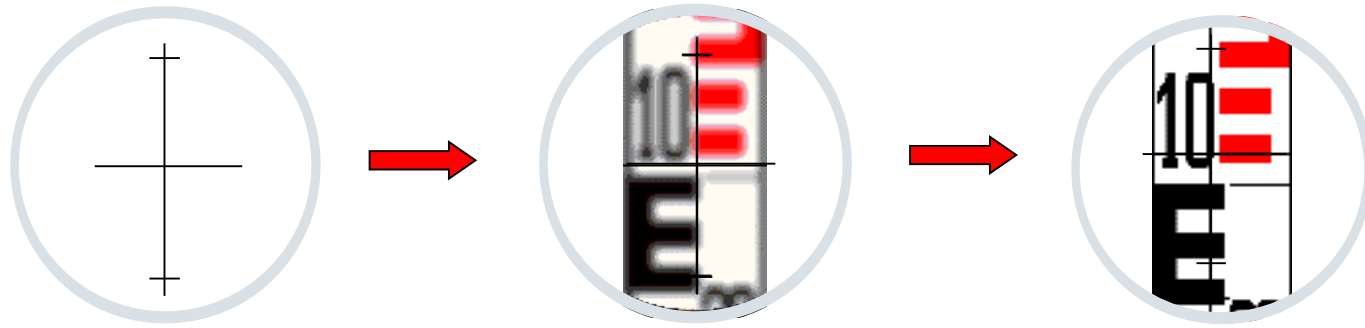
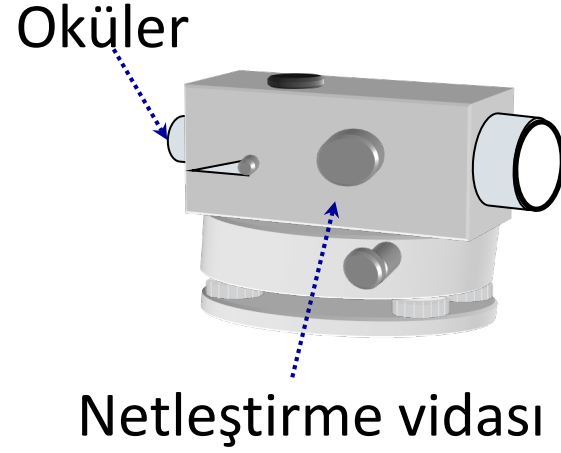


Kompansatör çalışma aralığı: $\pm 15'$

Kompansatör kesinliği: 0.5"

Kompansatör Nivolar

Netleřtirme



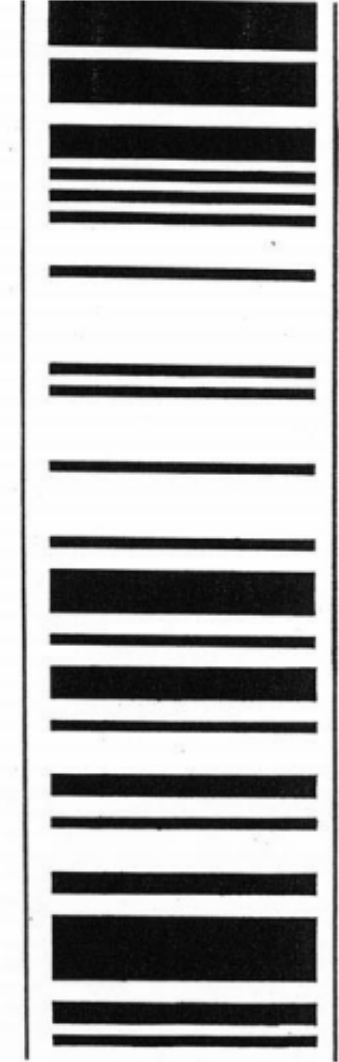
Sayısal Nivolar



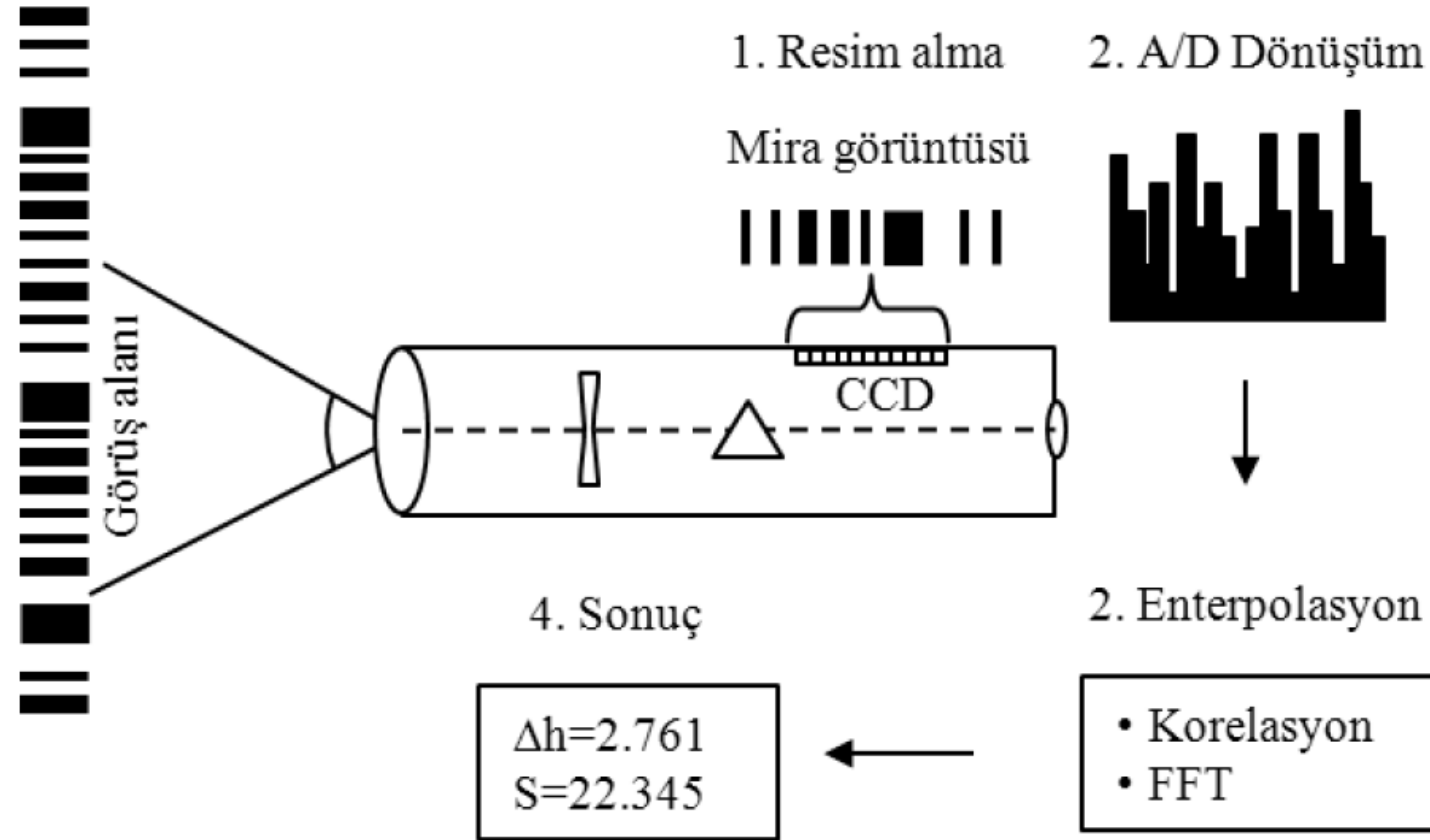
Ekran



Barkotlu Mira



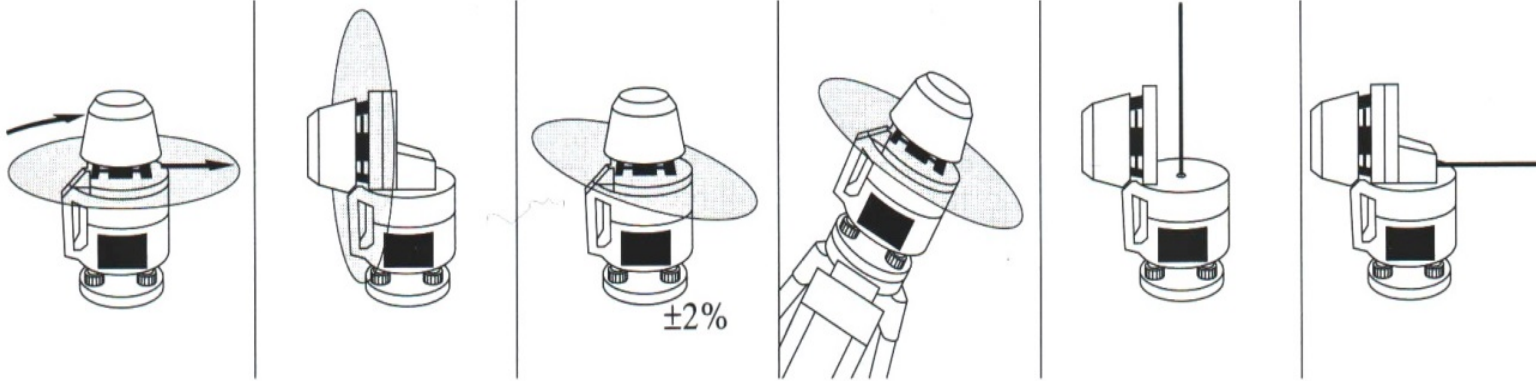
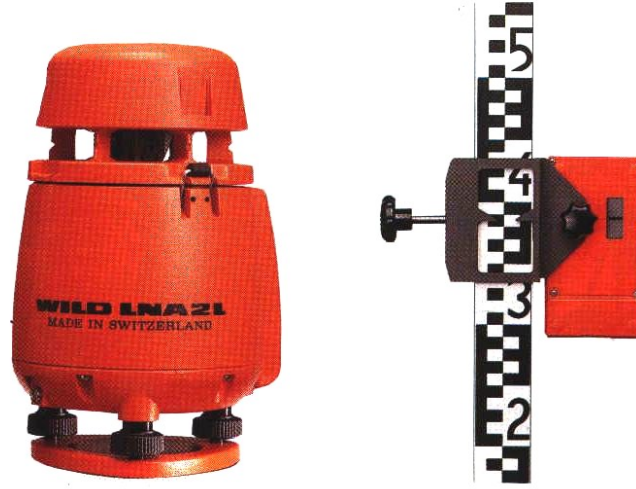
Sayısal Nivolar



Nivoların Sınıflandırması

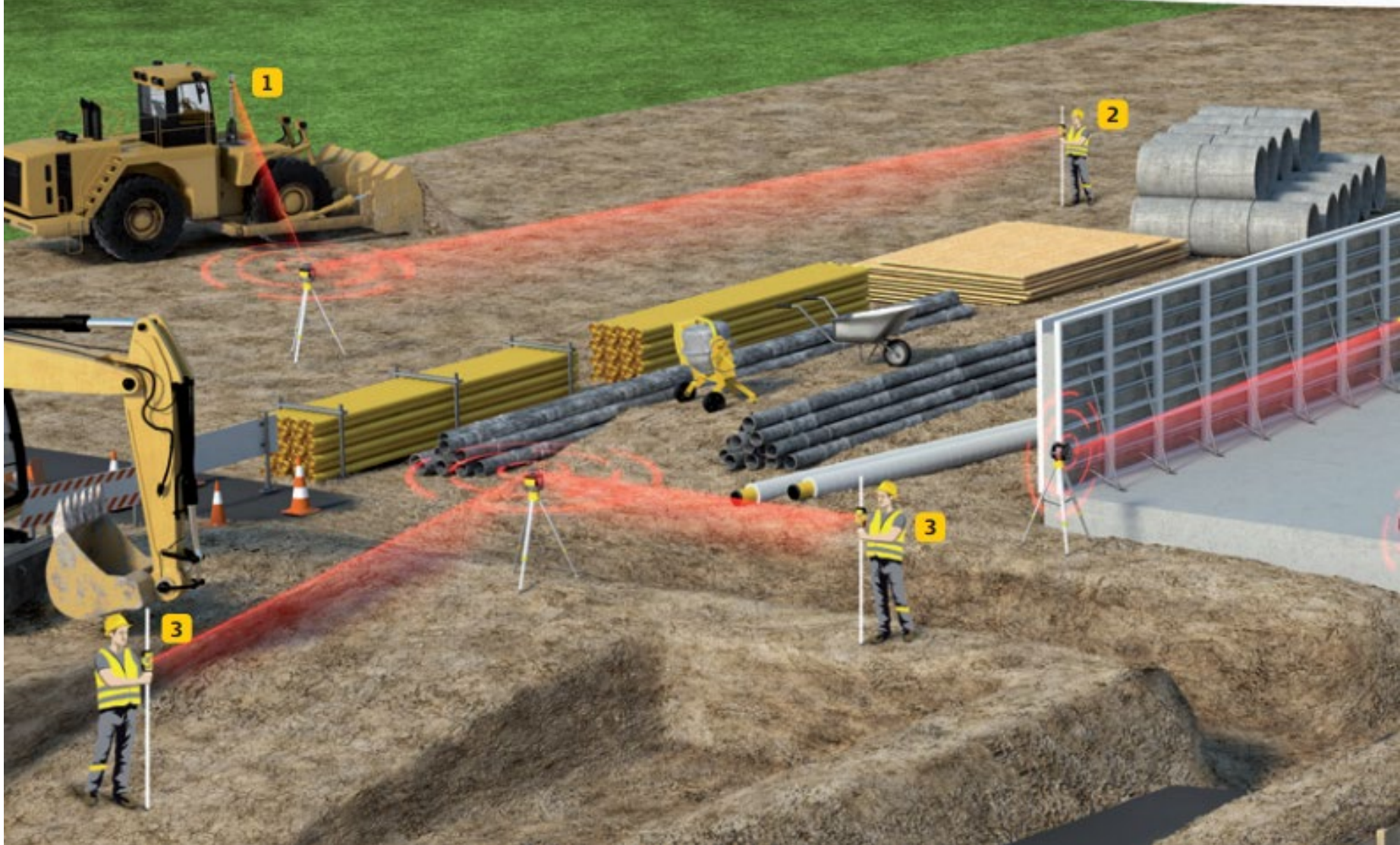
	Kesinlik	Kompansatör	Kullanım Alanı
Orta Kesinlikli	1.0-2.5 mm/km	$\pm 0.5''$	Haritacılık ve inşaat uygulamaları
Yüksek Kesinlikli	0.2-0.9 mm/km	$\pm 0.3''$	Hassas nivelman ölçüleri

Lazerli Nivolar



Kesinlik 1.5mm-3.0 mm /30m

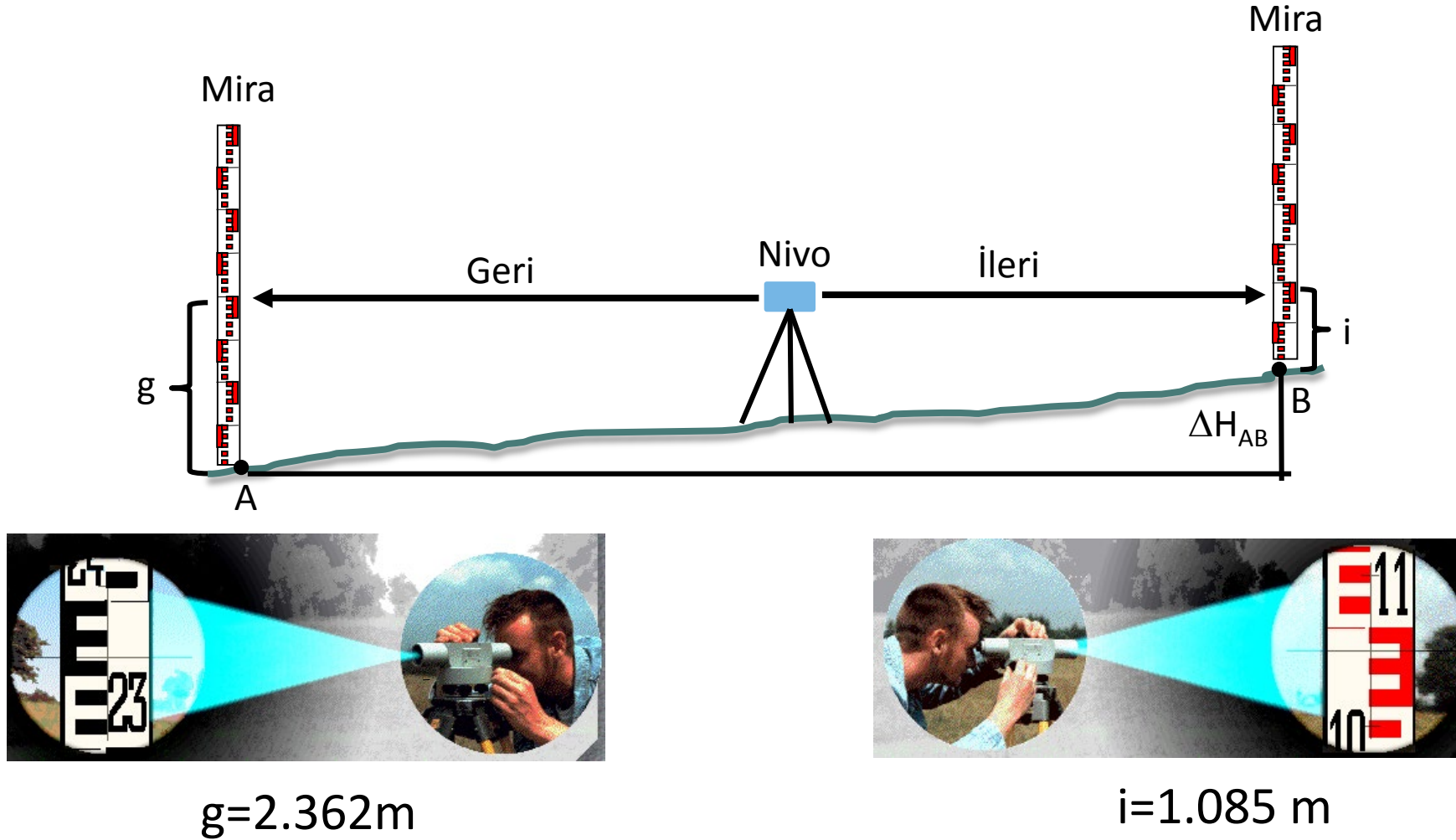
Lazerli Nivolar



Lazerli Nivolar

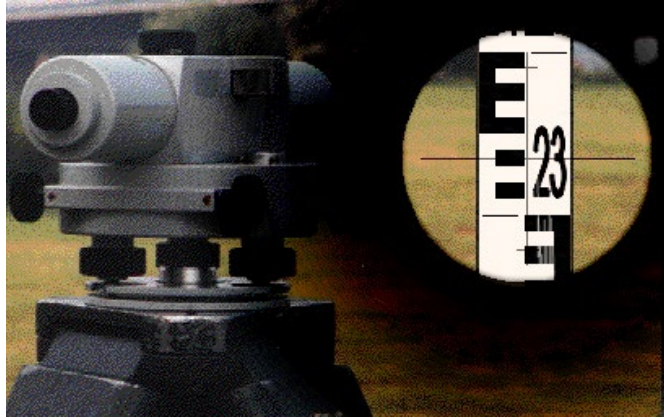


Geometrik Nivelman

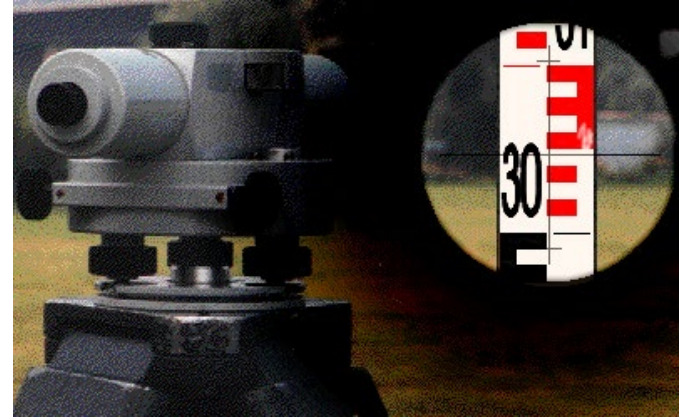


$$\Delta H_{AB} = \text{Geri} - \text{İleri} = 2.362 - 1.085 = 1.277\text{m}$$

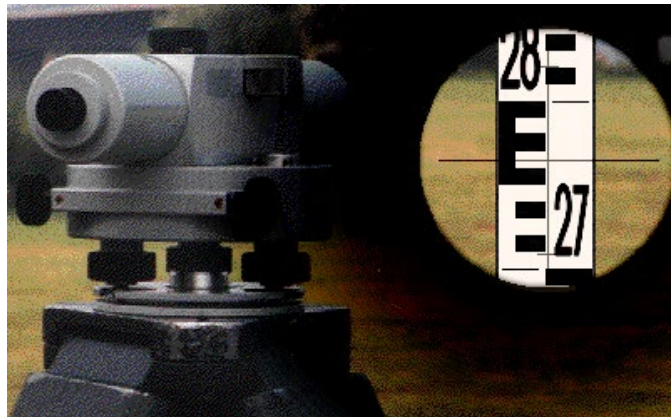
Geometrik Nivelman



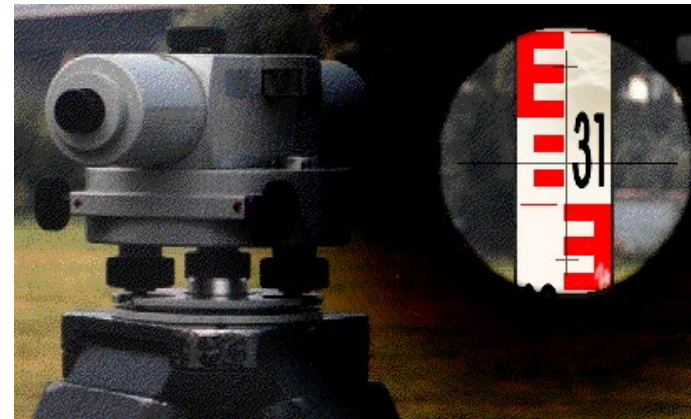
2.334m



3.049m

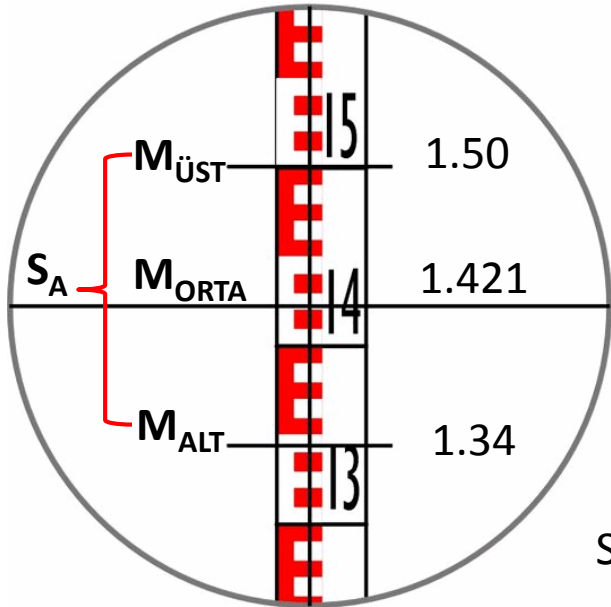
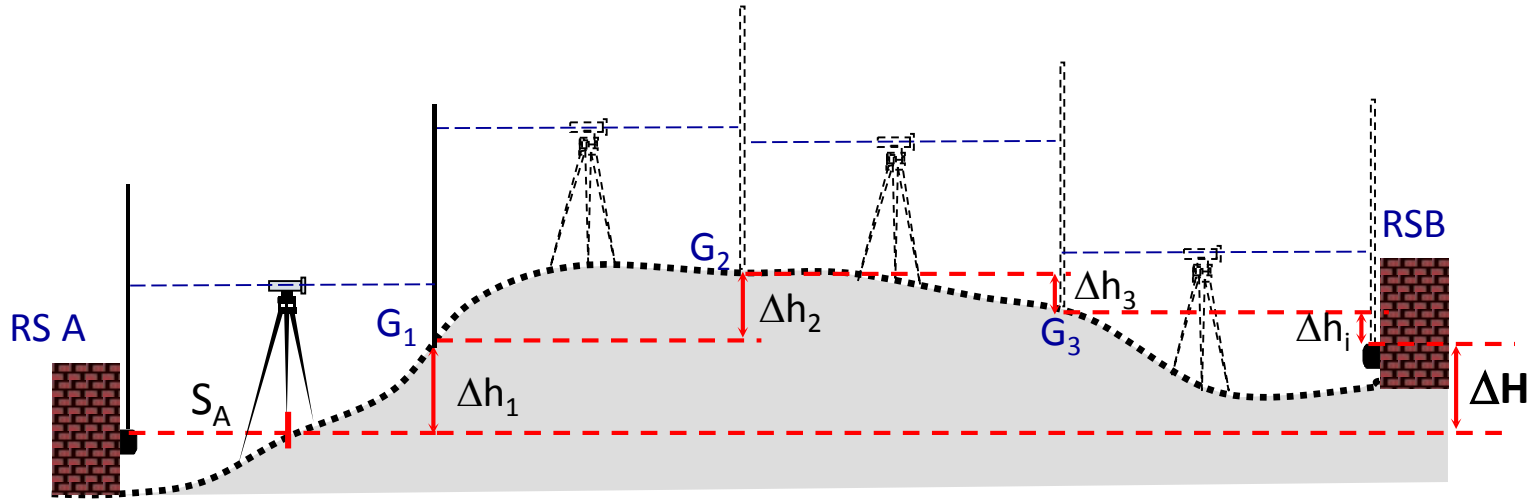


2.765 m



3.123 m

Geometrik Nivelman



$$\Delta H = \sum \Delta H_i = \sum g - \sum i$$

$$H_{RSB} = H_{RSA} + \Delta H$$

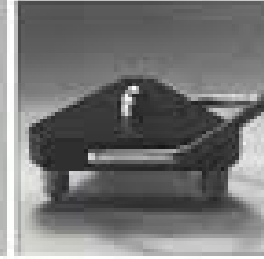
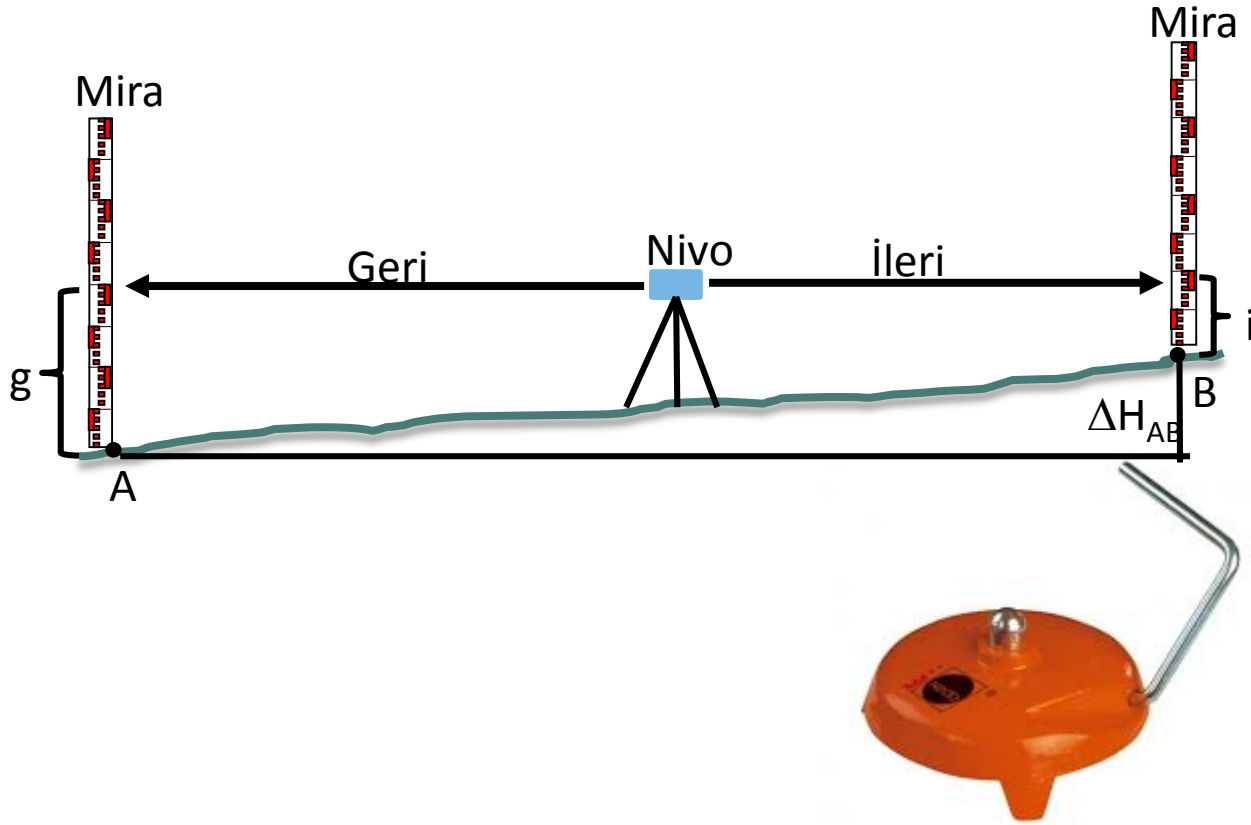
Nivelman ölçüsünde dikkat edilmesi gereken hususlar



- Miralar, mutlaka mira altlıkları üzerine tutulmalıdır.
- Aletle mira arasındaki uzaklık 50 metreden fazla olmamalıdır.
- Geri ve ileri uzaklıklar arasındaki fark 0.50 metreden fazla olmamalıdır.
- Işığın kırılmasının (refraksiyonun) etkilerini önlemek amacıyla alet mümkün olduğunca yüksek kurulmalı ve gözlem ışını yerden en az 50 cm yüksekten geçmelidir.
- Mira bölüm başlangıç hatasının etkisini önlemek amacıyla, ölçmeye hangi mira ile başlanmışsa o mira ile bitirilmelidir. Gidiş-dönüş ölçmelerine farklı miralarla başlanmalı.
- Sistemik hataların etkisini azaltmak için gidiş ve dönüş ölçmeleri mutlaka aynı yol üzerinde yapılmalıdır.
- Ölçmeler, bulutlu havalarda ya da sabah ve akşam saatlerinde yapılmalıdır. Hiçbir zaman güneşli havalarda ve öğle saatlerinde nivelman yapılmamalıdır.
- Miralar daima mira payandaları ile desteklenmeli ve mira düzeci yardımıyla tam düşey durumda tutulmalıdır.

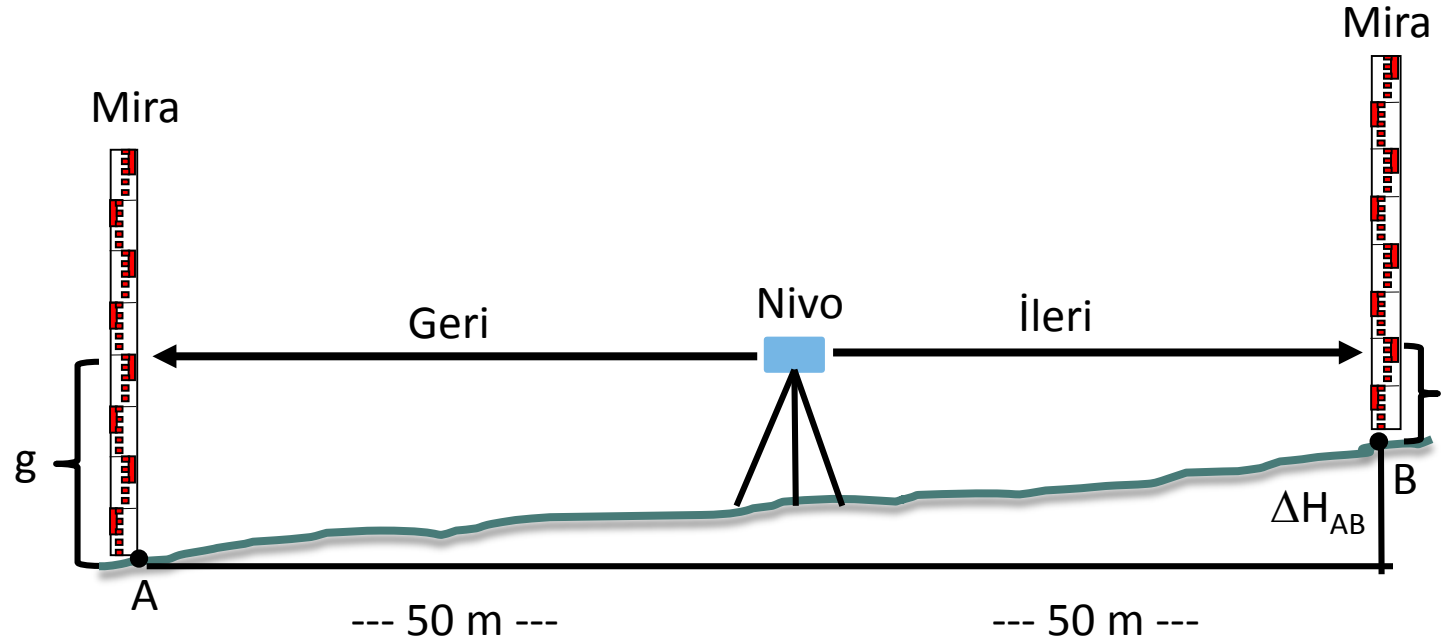
Nivelman ölçüsünde dikkat edilmesi gereken hususlar

Çift mira ve mira altlıkları (papaşlar, çarıklar) kullanılır.



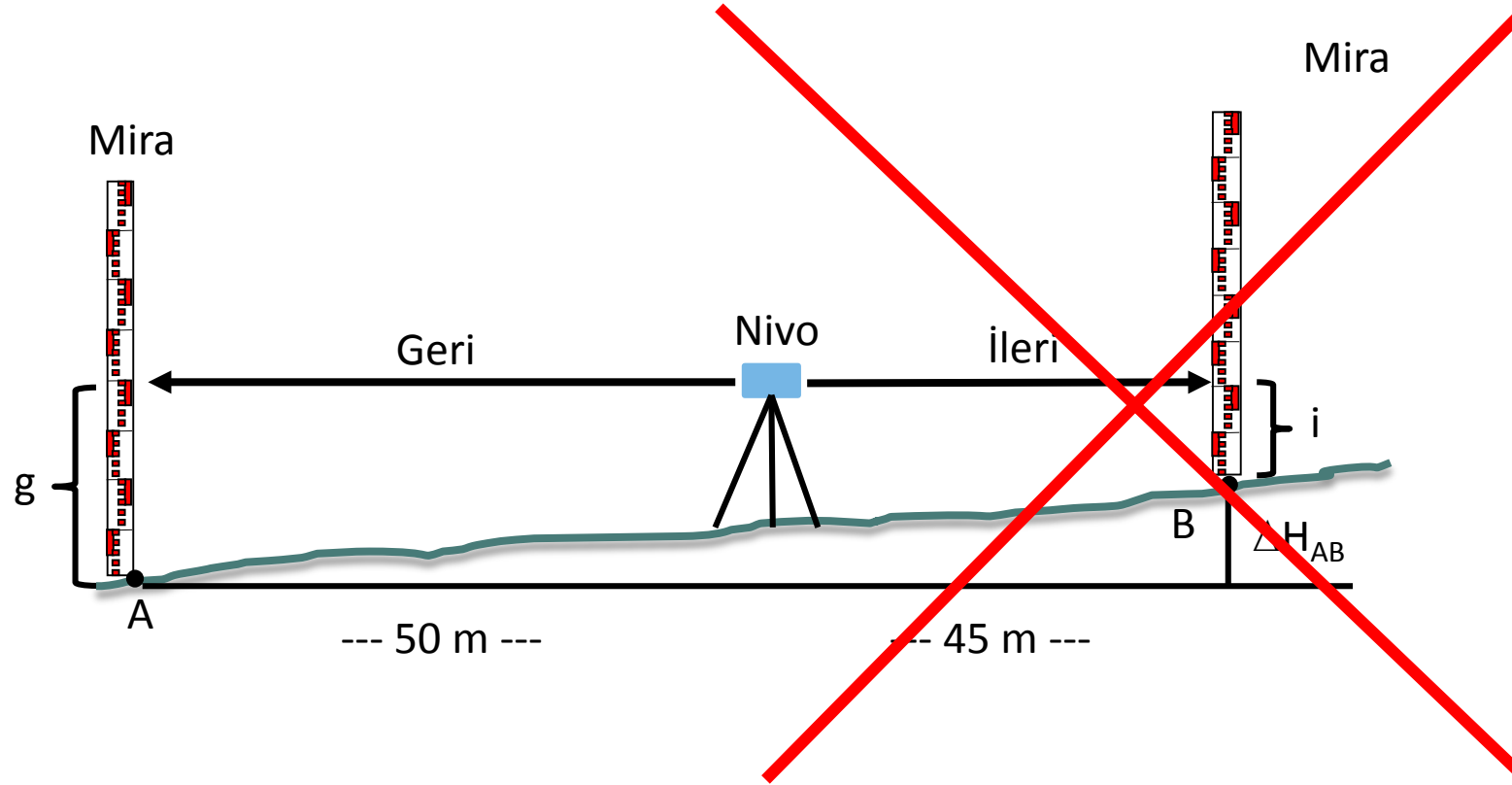
Nivelman ölçüsünde dikkat edilmesi gereken hususlar

Alet mira uzaklığı en fazla 50 m alınır.



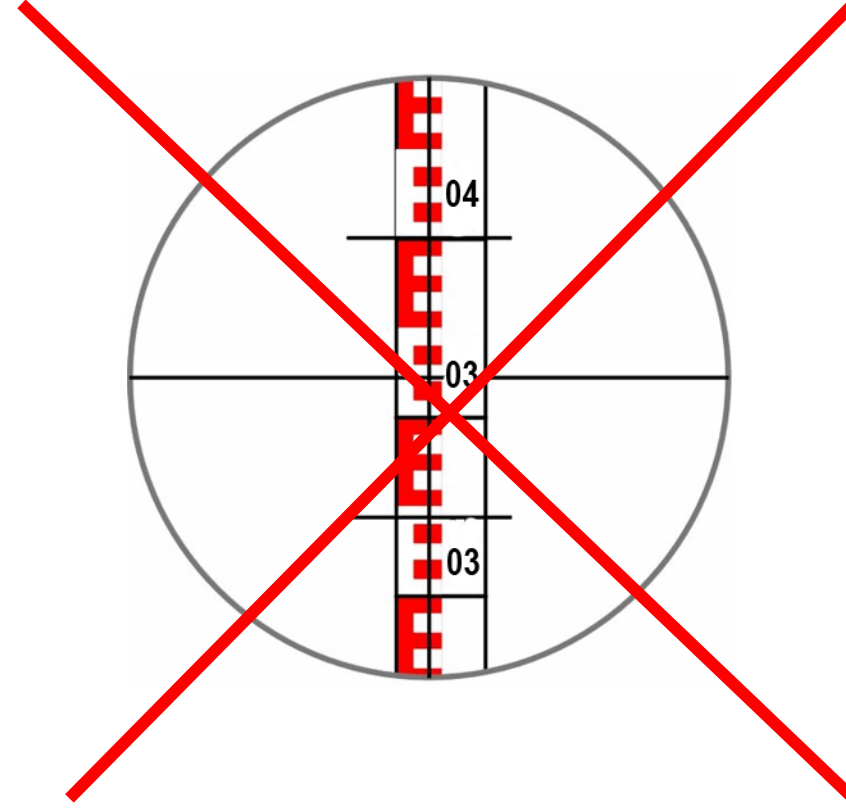
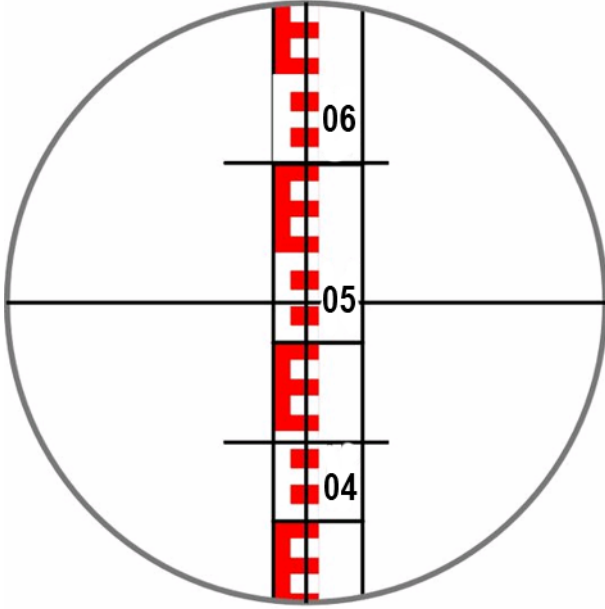
Nivelman ölçüsünde dikkat edilmesi gereken hususlar

Geri ve ileri uzaklıklar arasındaki fark 0.50 metreden fazla olmamalıdır.



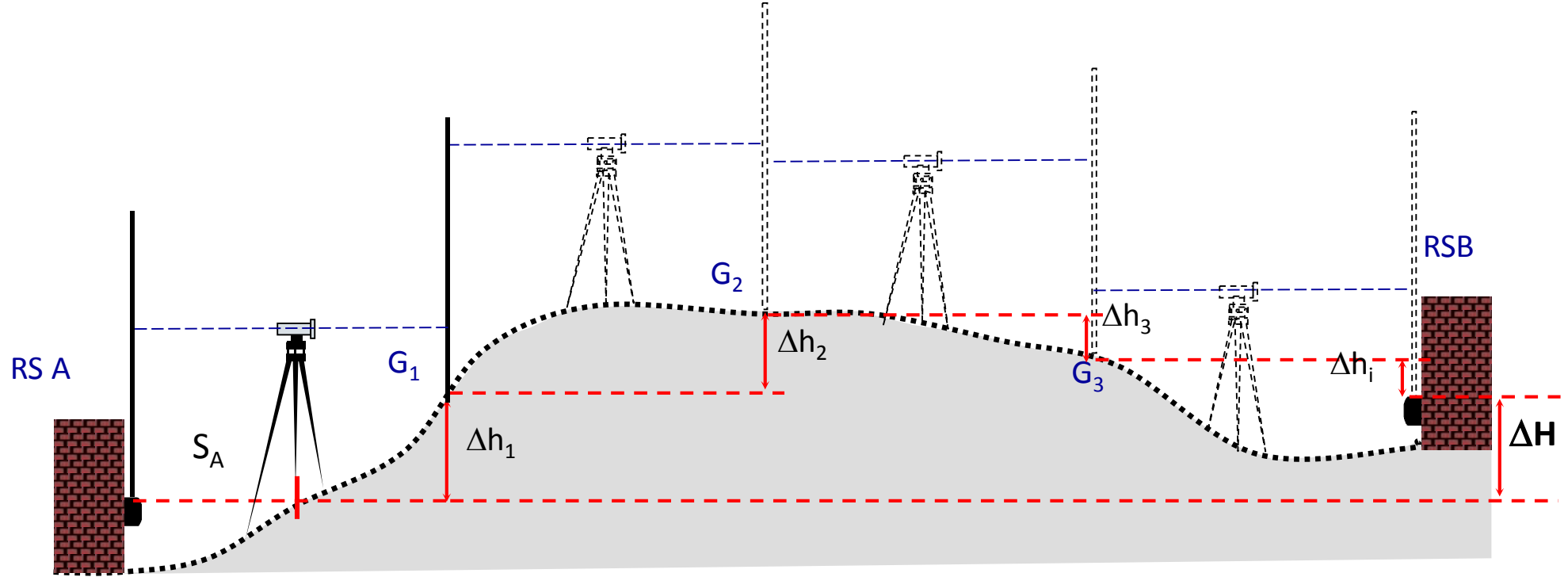
Nivelman ölçüsünde dikkat edilmesi gereken hususlar

Miradaki en küçük orta çizgi okuması 0,5 m alınır.



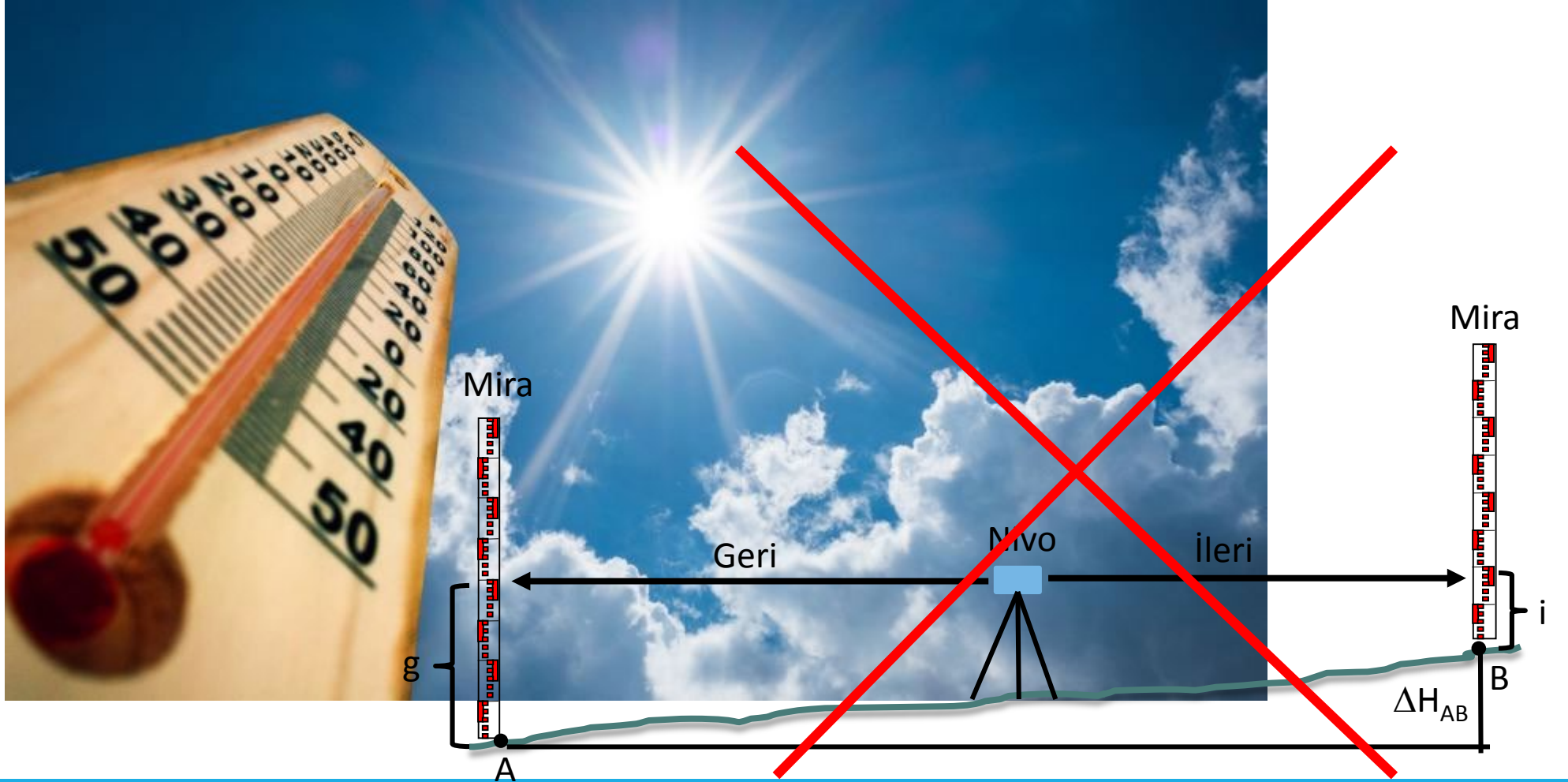
Nivelman ölçüsünde dikkat edilmesi gereken hususlar

Alet kurma sayısı çift olur.



Nivelman ölçüsünde dikkat edilmesi gereken hususlar

Hiçbir zaman güneşli havalarda ve öğle saatlerinde nivelman yapılmamalıdır.

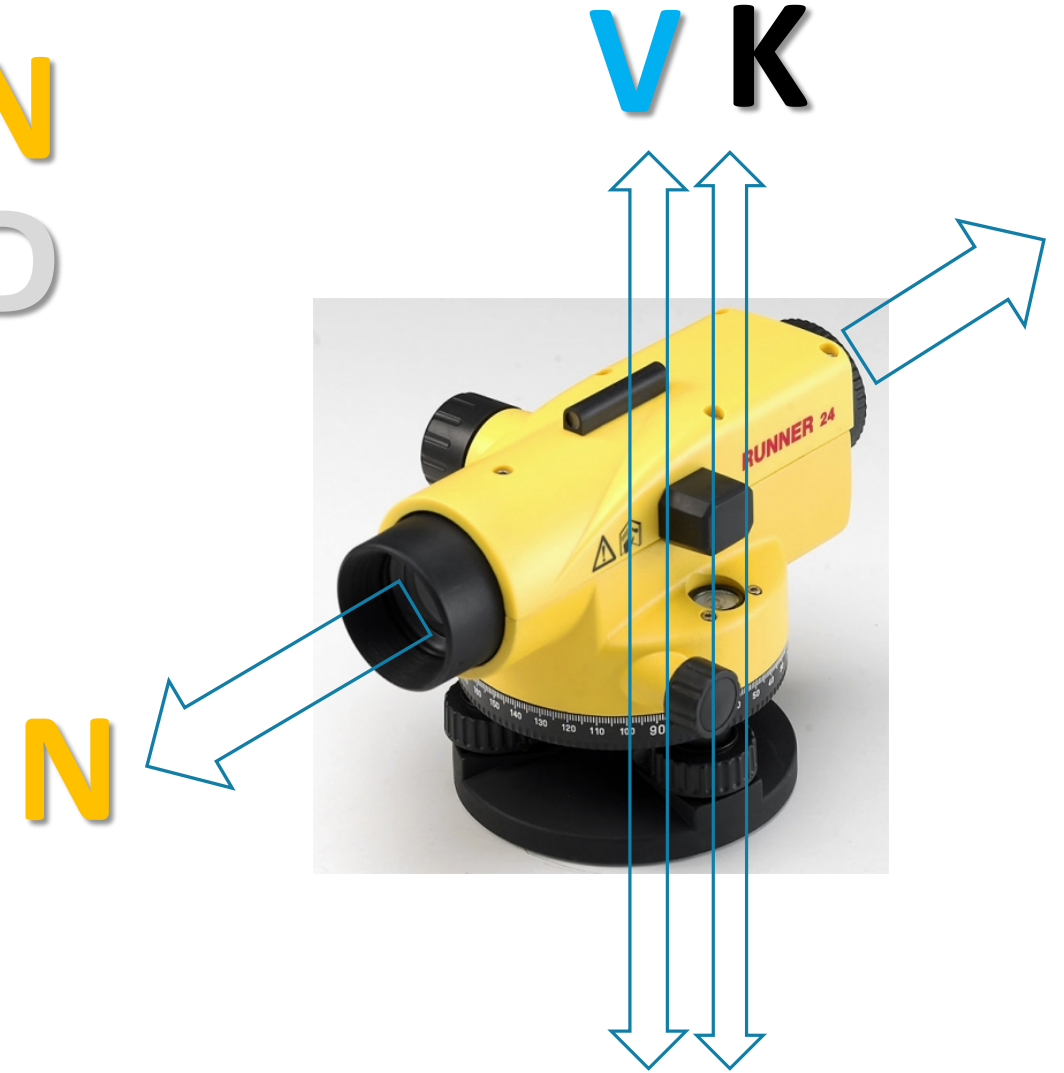
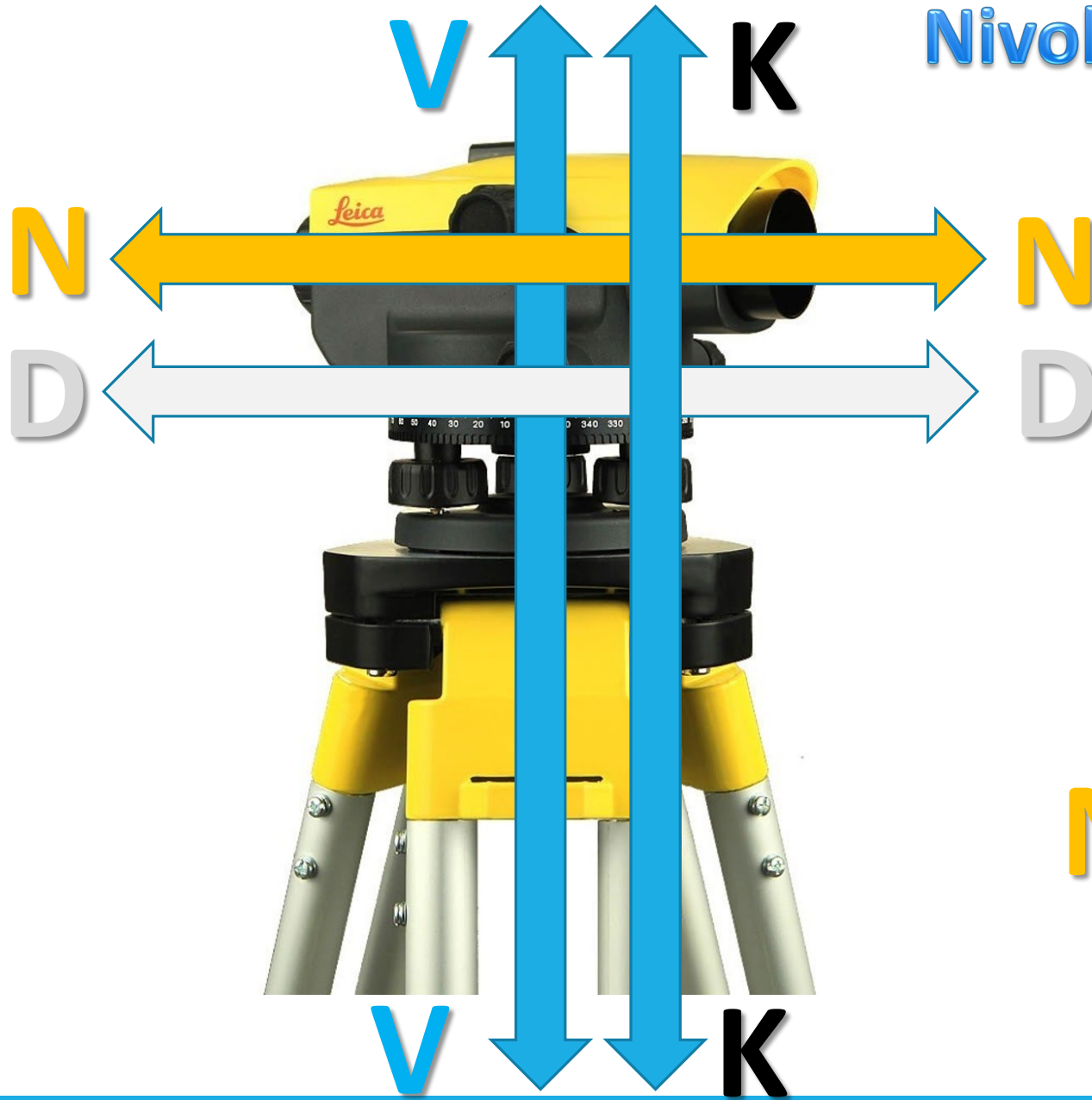


Nivelman ölçüsünde dikkat edilmesi gereken hususlar

Miralar daima mira payandaları ile desteklenmeli ve mira düzeci yardımıyla tam düşey durumda tutulmalıdır.



Nivolarda Eksenler

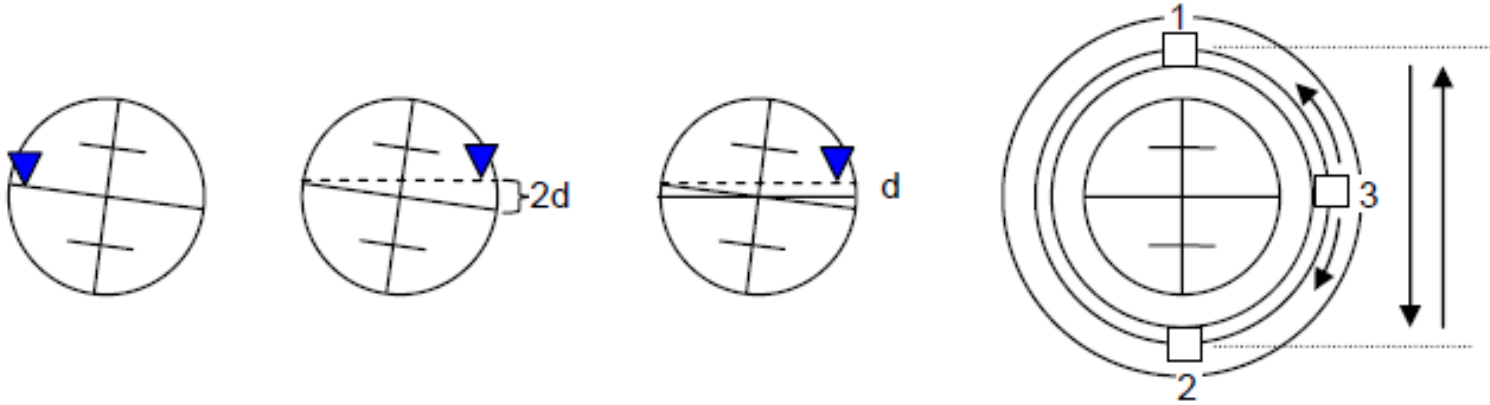


Nivolarıda Eksenler ve Kontrolü

Nivoların Yatay Gözlem Çizgisinin Yataylığının Kontrolü

Nivo düzeçlendikten sonra yatay gözlem çizgisinin bir ucu arazide net ve kesin görülebilen bir noktaya yöneltilir. Sonra dürbün yatay yönde döndürülerek yatay gözlem çizgisi üzerindeki noktanın, çizginin diğer ucuna kayması sağlanır. Eğer nokta yatay çizgi üzerinden ayrılmadan hareket ediyorsa, yatay gözlem çizgisinin yataylığının doğru olduğu anlaşılır. Eğer nokta, yatay gözlem çizgisinin diğer ucuna alındığında çizgiden ayrılmış ise ayrılma miktarı hatanın iki katı büyüklüğünde olacaktır.

Hata, gözlem çizgileri ayar vidası yardımıyla giderilir.



Nivolarda Eksenler ve Kontrolü

Küresel düzeç eksenini, düşey eksene paralel olmalıdır. (KK // VV)

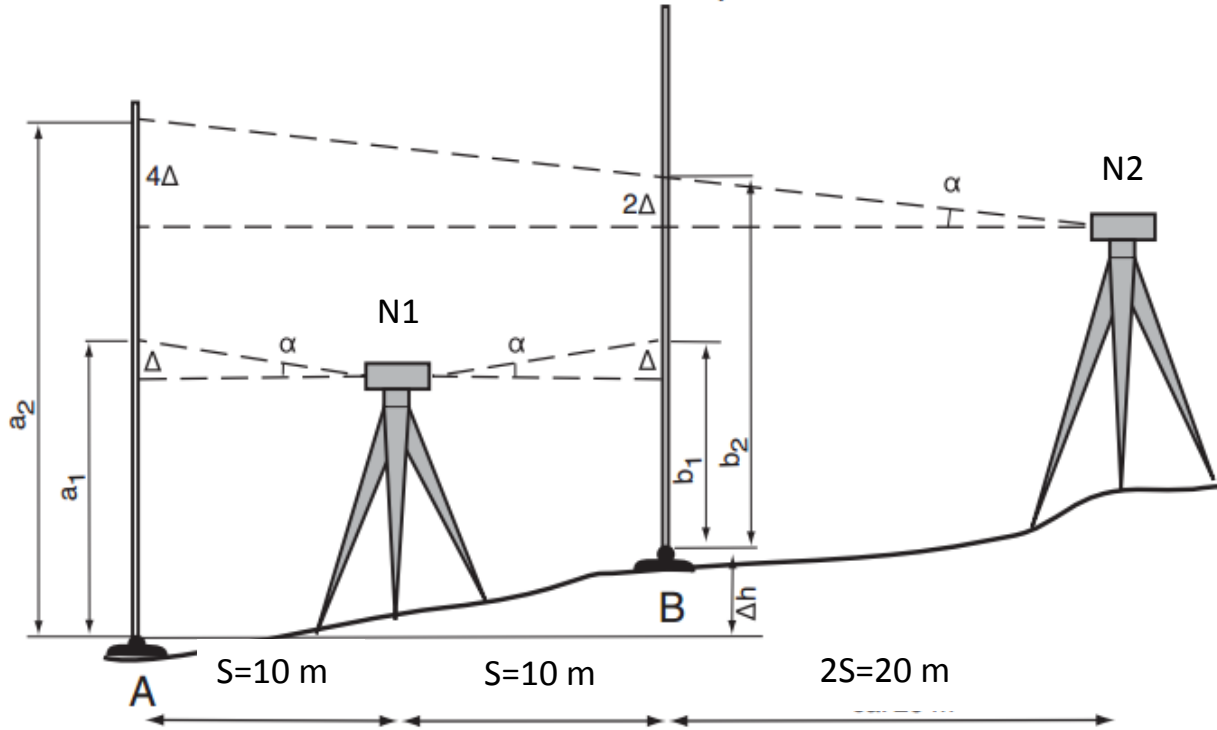
Küresel düzeç, üç ayak vidası ile ortalınır ve nivo 200 grad döndürülür. Eğer düzeç kabarcığı ortada ise küresel düzeç ekseninin düşey eksene paralel olduğu anlaşılır. Düzeç kabarcığında kayma varsa, kayma miktarı hatanın iki katı büyüklüğünde olacaktır. Hatanın yarısı üç ayak vidaları yardımıyla, diğer yarısı ise küresel düzeğin ayar vidaları yardımıyla giderilir.



Gözlem eksenini, düzeç eksenine paralel olmalıdır. (NN // DD)

Bu koşul otomatik (kompansatörlü) nivolarda; gözlem eksenini kompansatörün çalışma alanı içinde yatay olmalıdır şeklinde ifade edilir.

Nivolarda Eksen Hatası



$$\Delta h_1 = (a_1 - \Delta) - (b_1 - \Delta)$$

$$\Delta h_1 = a_1 - b_1$$

$$\Delta h_2 = (a_2 - 4\Delta) - (b_2 - 2\Delta)$$

$$\Delta h_2 = a_2 - b_2 - 2\Delta$$

$$\Delta h_1 = \Delta h_2$$

$$\Delta = \frac{(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1)}{2} \quad \alpha = \text{Arctan} \frac{\Delta}{S}$$

Nivolarıda Eksen Hatası

	$\alpha = 1''$ 0,3m gon	3'' 0,9m gon	5'' 1,5m gon	7'' 2,2m gon	9'' 2,8m gon	11'' 3,4m gon	13'' 4,0m gon	15'' 4,6m gon
$\Delta S = 1 \text{ m}$	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
2 m	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15
3 m	0,02	0,04	0,07	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22
4 m	0,02	0,06	0,10	0,14	0,18	0,21	0,25	0,29
5 m	0,02	0,07	0,12	0,17	0,22	0,27	0,32	0,36
6 m	0,03	0,09	0,15	0,20	0,26	0,32	0,38	0,44
7 m	0,03	0,10	0,17	0,24	0,31	0,37	0,44	0,51
8 m	0,04	0,12	0,19	0,27	0,35	0,43	0,50	0,58
9 m	0,04	0,13	0,22	0,31	0,39	0,48	0,57	0,66
10 m	0,05	0,15	0,24	0,34	0,44	0,53	0,63	0,73

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{\rho} \Delta S$$

Nivo iki miranın ortasına kurulmalıdır.

Nivolarda Eksen Hatası

Jeodezik Metroloji Laboratuvarı



KOLİMATÖR

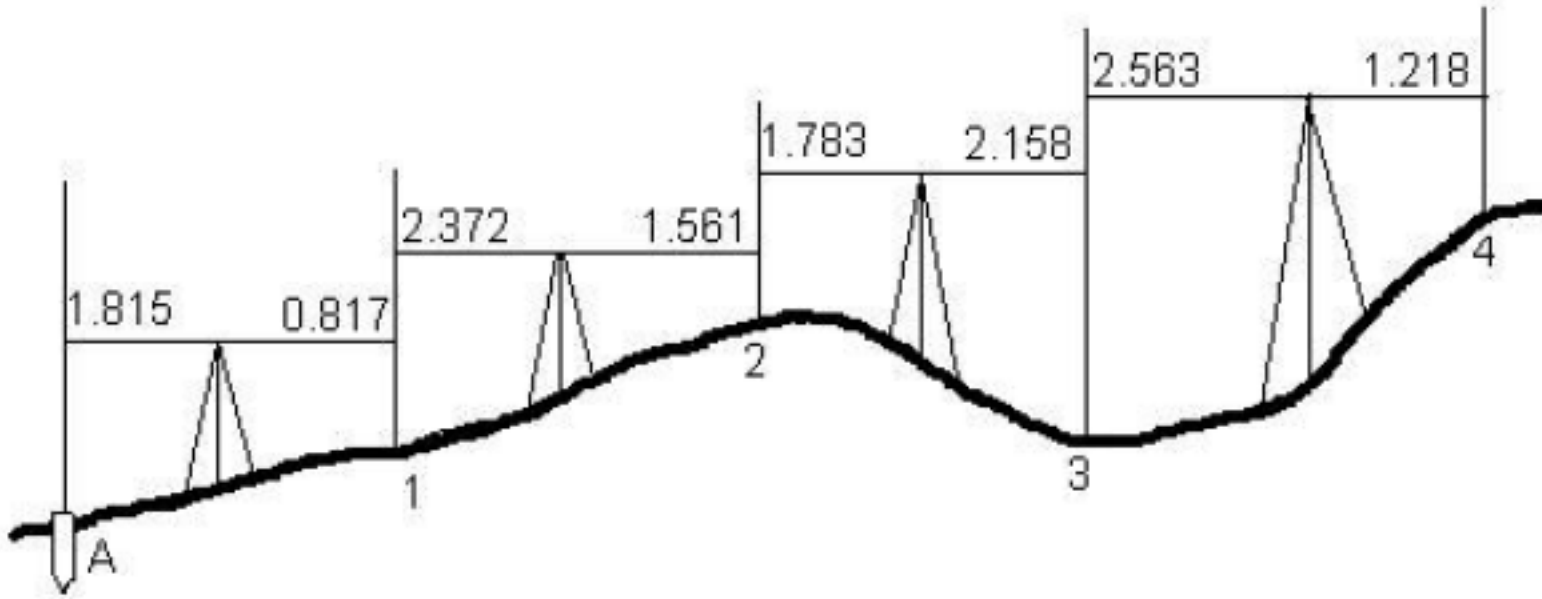


NİVO-MİRA SİSTEM KALİBRASYONU DÜZENEGİ

Geometrik Nivelman Geçkileri

Açık Nivelman

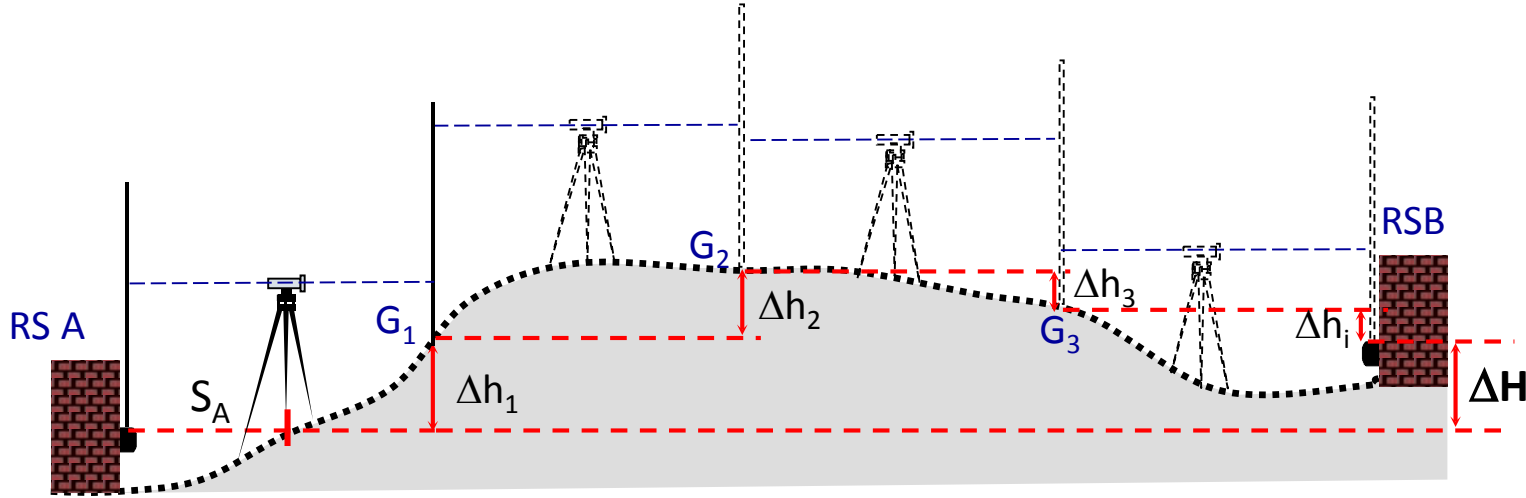
Yüksekliği bilinen bir noktadan nivelman ölçümüne başlanıp yüksekliği bilinen bir noktaya bağlanılmadan ölçüm bitirilirse açık nivelman olarak adlandırılır.



Geometrik Nivelman Geçkileri

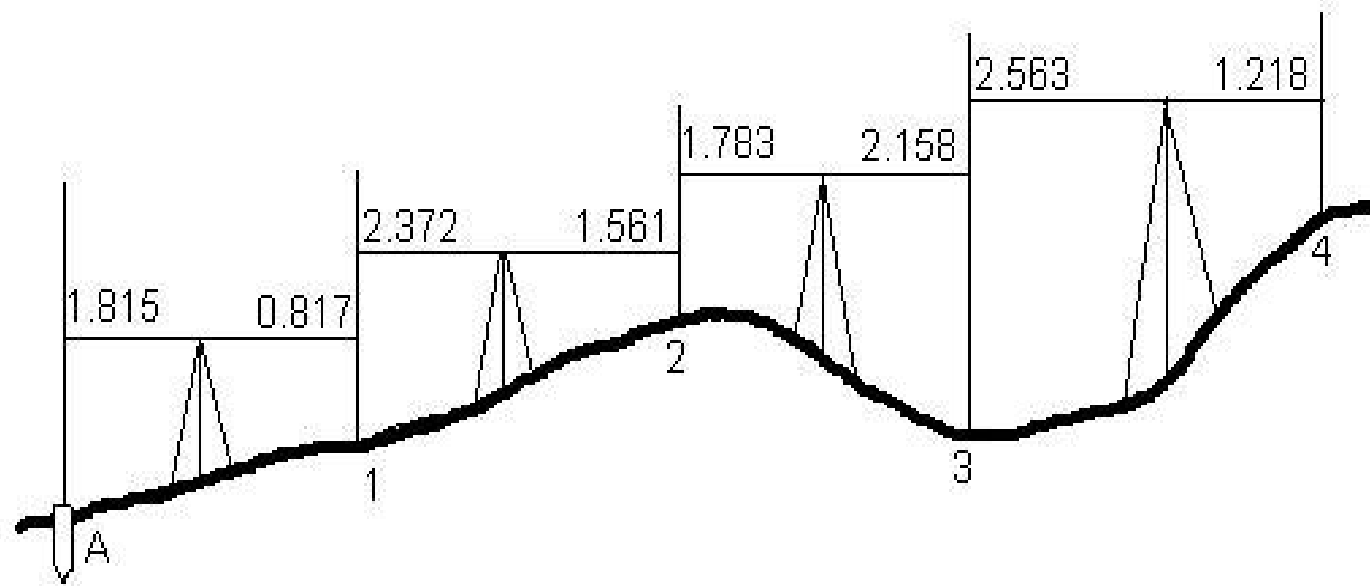
Dayalı Nivelman

Yüksekliği bilinen bir noktadan nivelmana başlanır ve yüksekliği bilinen başka bir noktaya bağlanılır. Dayalı nivelmanda yapılan ölçümler kontrol edilebilir. Noktalar arasındaki yükseklik farklarının ölçülmesinde en çok kullanılan yöntemdir.



Kapalı Nivelman: Bir noktadan nivelmana başlanır ve bir halka oluşturularak aynı noktaya bağlanılır.

Geometrik Nivelman



$$\Delta H_{A1} = g_A - i_1 = 1.815 - 0.817 = 0.998\text{m}$$

$$H_1 = H_A + \Delta H_{A1} = 100.000 + 0.998 = 100.998\text{m}$$

$$\Delta H_{12} = g_1 - i_2 = 2.372 - 1.561 = 0.811\text{m}$$

$$H_2 = H_1 + \Delta H_{12} = 100.998 + 0.811 = 101.809\text{m}$$

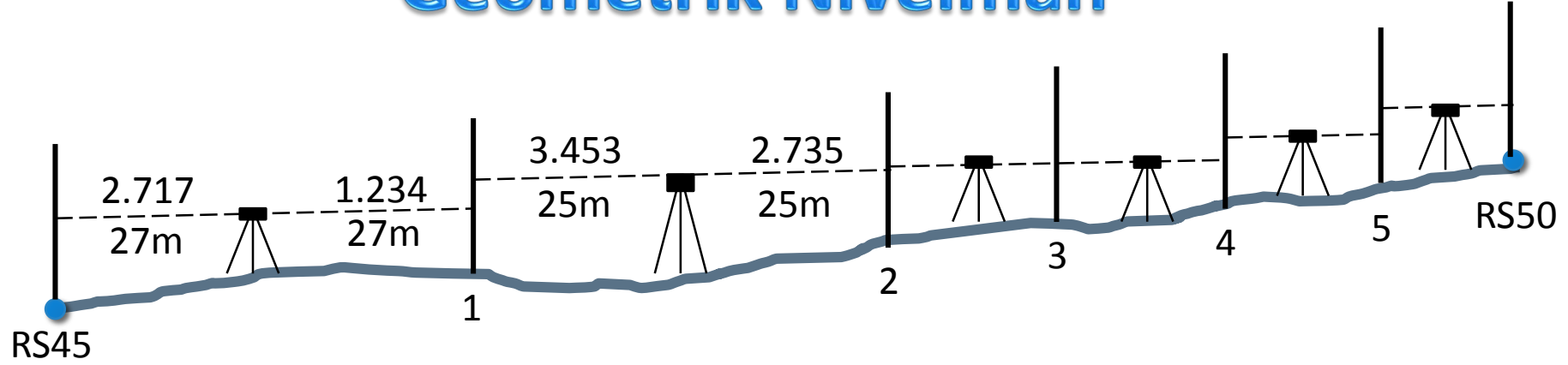
$$\Delta H_{23} = g_2 - i_3 = 1.783 - 2.158 = -0.375\text{m}$$

$$H_3 = H_2 + \Delta H_{23} = 101.809 - 0.375 = 101.434\text{m}$$

$$\Delta H_{34} = g_3 - i_4 = 2.563 - 1.218 = 1.345\text{m}$$

$$H_4 = H_3 + \Delta H_{34} = 101.434 + 1.345 = 102.779\text{m}$$

Geometrik Nivelman



GİDİŞ NİVELMANI				
N.N	Mesafe	Geri	İleri	ΔH (m)
RS 45	27-	2.717	-	
1	25-27	3.453	1.234	1.483
2	15-25	1.875	2.735	0.718
3	22-15	1.984	2.561	-0.686
4	19-22	2.385	2.816	-0.832
5	20-19	1.716	1.836	0.549
RS 50	-20	-	1.265	0.451

DÖNÜŞ NİVELMANI				
N.N	Mesafe	Geri	İleri	ΔH (m)
RS 50	20-	1.277		
5	19-20	1.756	1.729	-0.452
4	22-19	3.654	2.304	-0.548
3	15-22	2.485	2.820	0.834
2	25-15	1.736	1.800	0.685
1	27-25	2.345	2.452	-0.716
RS 45	-27		3.829	-1.484

Geometrik Nivelmanda Belirsizlik

Başlangıç	Bitiş	Mesafe (m)	Gidiş (m)	Dönüş (m)	Fark (d) (mm)	Hata Sınırı (mm)	dd/S (mm ² /km)	Ortalama ΔH (m)	$S_{\Delta H}$ (mm)
RS 45	1	54	1.483	-1.484	1	5	19	1.4835	0.7
1	2	50	0.718	-0.716	2	4	80	0.7170	0.7
2	3	30	-0.686	0.685	1	3	33	-0.6855	0.5
3	4	44	-0.832	0.834	2	4	91	-0.8330	0.6
4	5	38	0.549	-0.548	1	4	26	0.5485	0.6
5	RS 50	40	0.451	-0.452	1	4	25	0.4515	0.6
							$\Sigma=274$		

BÖHNBÜY göre hata sınırı: $w_{[mm]} \leq 20 \sqrt{S_{[km]}} + 0.0002 \Delta H$

Tek yönlü 1 km nivelmanın standart sapması:

$$s = \sqrt{\frac{[dd/S]}{2n}} = \sqrt{\frac{274}{2 \times 6}} = 5 \text{ mm}$$

Gidiş-dönüş 1 km nivelmanın standart sapması:

$$s_0 = \frac{s}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3.5 \text{ mm/km}$$

Alet broşüründe verilen değerin
3 katını geçmemeli

Her bir yükseklik farkının standart sapması:

$$s_{\Delta h} = s_0 \sqrt{S(km)}$$

Her bir yükseklik farkının belirsizliği: $u_z = \pm s_{\Delta h}$

Geometrik Nivelman Hesabı

Başlangıç	Bitiş	ΔH (m)	Kesin Yükseklik H (m)	NN
			82.3200	RS 45
RS 45	1	1.4835 ⁻¹	83.8025	1
1	2	0.7170	84.5195	2
2	3	-0.6855	83.8340	3
3	4	-0.8330 ⁻¹	83.0000	4
4	5	0.5485	83.5485	5
5	RS 50	0.4515	84.0000	RS 50
		$\Delta H_{\text{Ölçü}}=1.6820$	$\Delta H_{\text{Kesin}}=1.6800$	
$f=\Delta H_{\text{Kesin}} - \Delta H_{\text{Ölçü}}=-2\text{mm}$				

YÜZEY NİVELMANI

5.BÖLÜM

Yüzey Nivelmanı

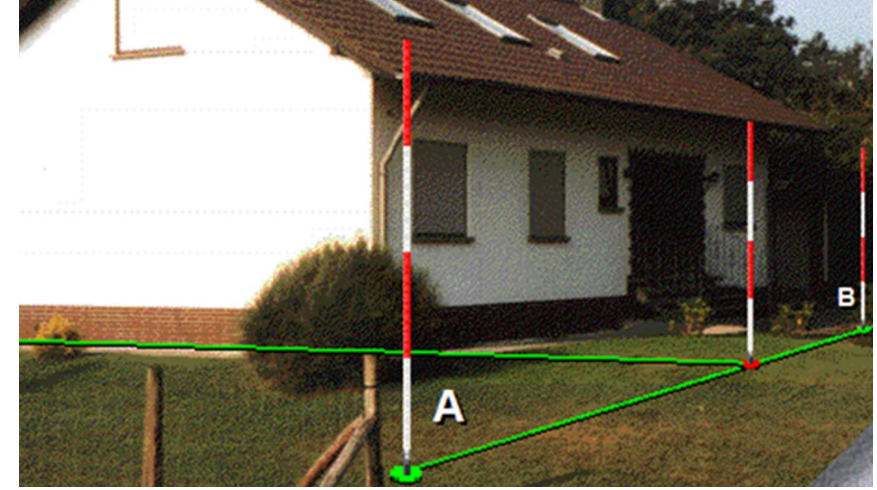
İnşaat işleri, arazi tesviyesi, spor alanları gibi projelerin uygulanmasında, özellikle kazılacak ve doldurulacak toprak miktarlarının hesaplanması için arazinin eş yükseklik eğrili planına ihtiyaç duyulur.

Arazinin topografik yapısı çok engebeli değilse **KARELER AĞI YÖNTEMİ** ile yüzey nivelmanı yapılarak arazinin plankotesi belirlenebilir.



Kareler Ağı Yöntemiyle Yüzey Nivelmanı

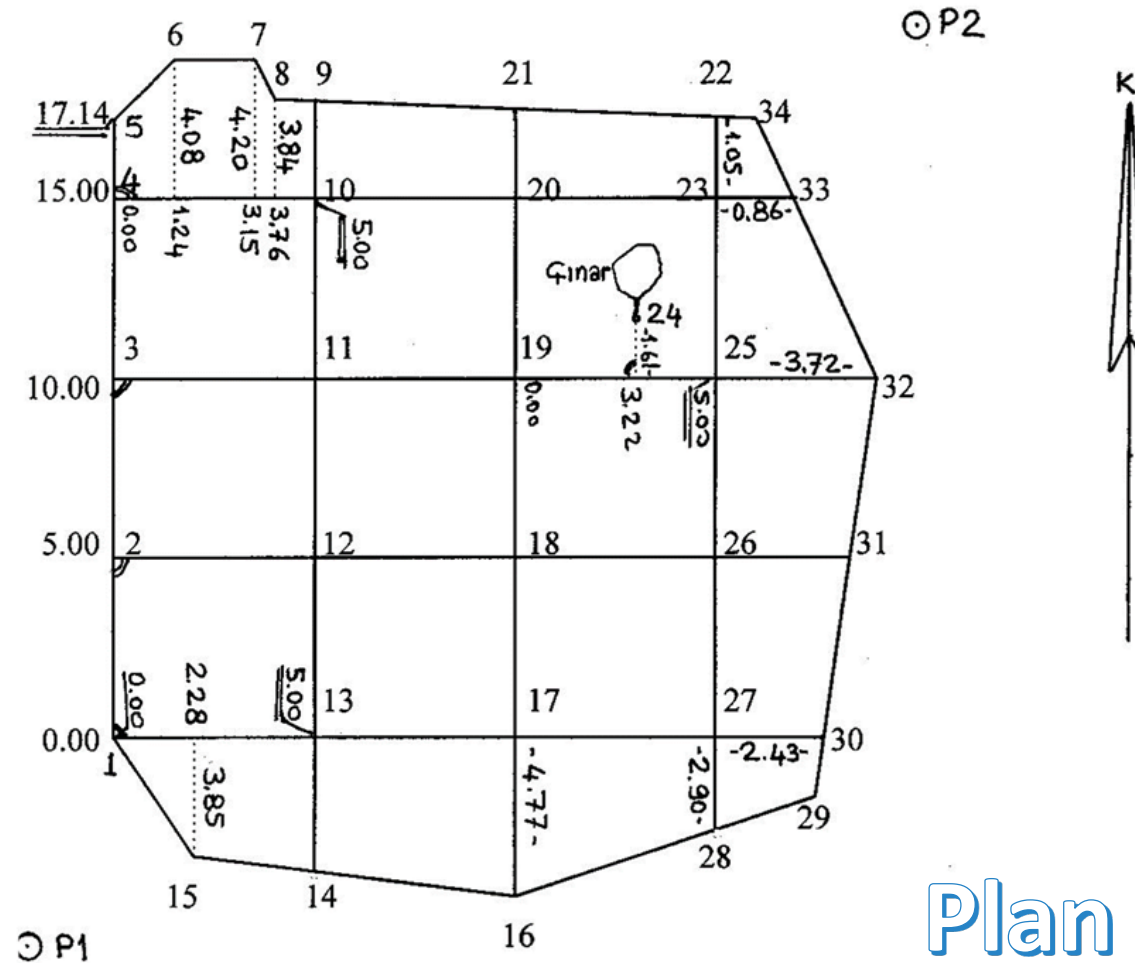
- ❑ Yüzey nivelmanı yapılacak arazide bir ölçü doğrusu belirlenir.
- ❑ Ölçü doğrusu üzerinde belirli aralıklarla, takeometre, nivo ya da prizmalarla dikler çıkılır.
- ❑ Aynı işlem bu dikler üzerinde tekrarlanarak arazi karelere bölünür.
- ❑ Kareler ağı yönteminde karelerin kenar uzunluğu, arazinin topografik yapısı ve ihtiyaca göre 5–30 m arasında seçilebilir.



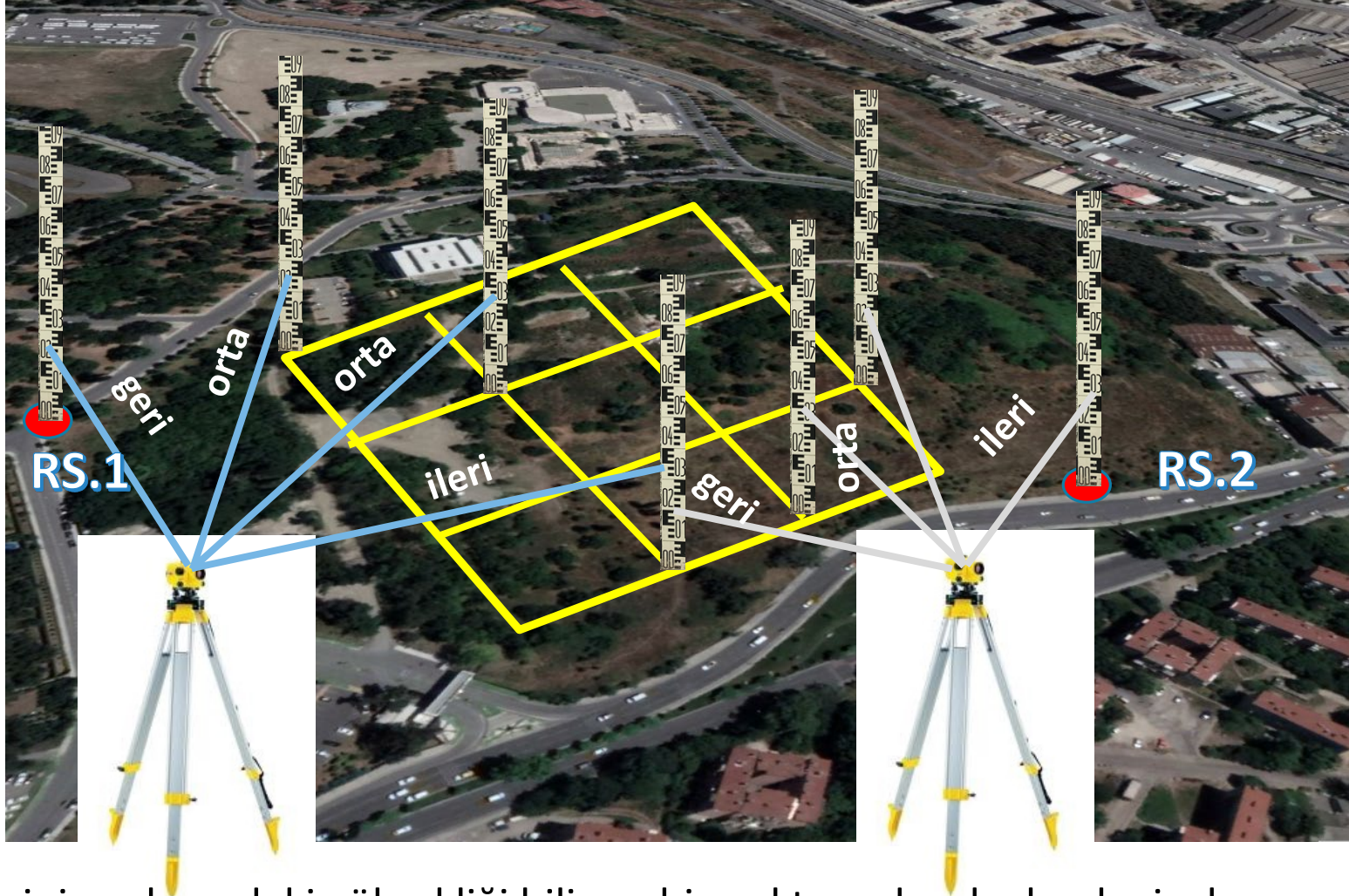
Prizma

Kareler Ağı Yöntemiyle Yüzey Nivelmanı

- ☐ Parselin çizimi için, kare uzantılarının arazi sınırını kestiği noktaya olan mesafelerden gerekli olanları çelik şerit ile ölçülür.

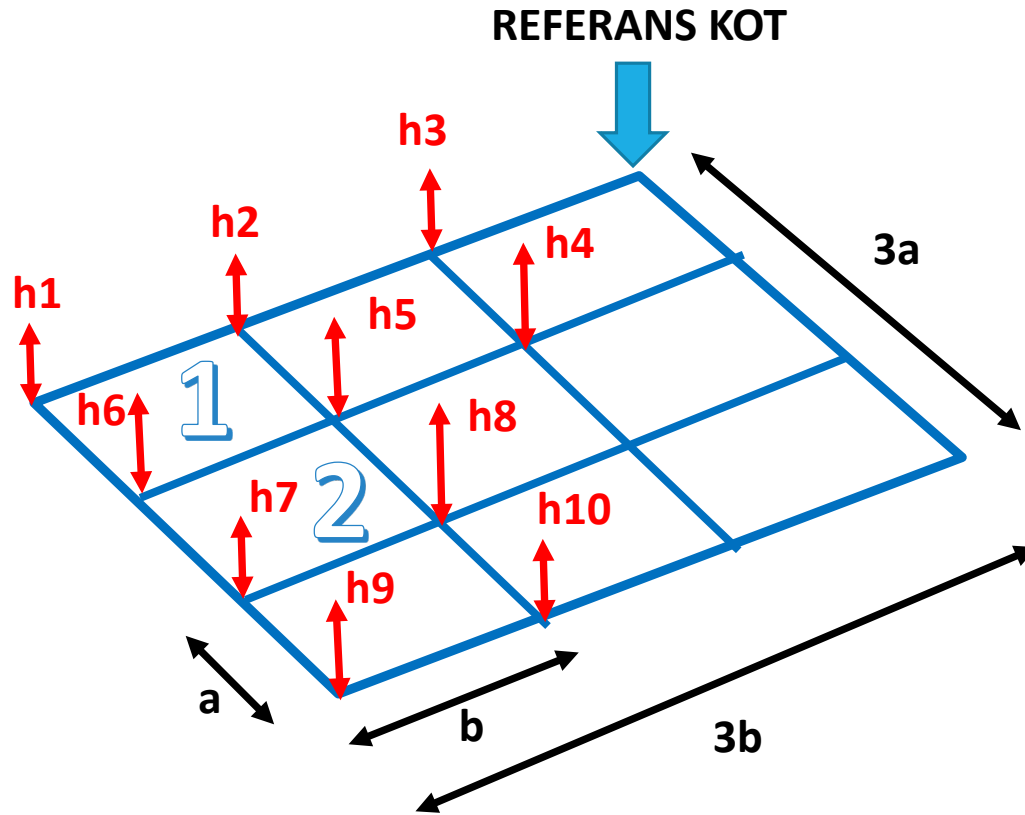


Kareler Ağı Yöntemiyle Yüzey Nivelmanı



- ❑ Arazinin yakınındaki yüksekliği bilinen bir noktaya dayalı olarak nivelman yapılır.
- ❑ Kare köşelerine ve kare kenarlarının arazi detaylarını kestiği noktalara kot verilir.

Hacim Hesabı



$$F = a \times b$$

$$hI = (h1+h2+h5+h6)/4$$

$$hII = (h5+h6+h7+h8)/4$$

ORTALAMA
KAZI YÜKSEKLİĞİ

$$V1 = hI \times F1$$

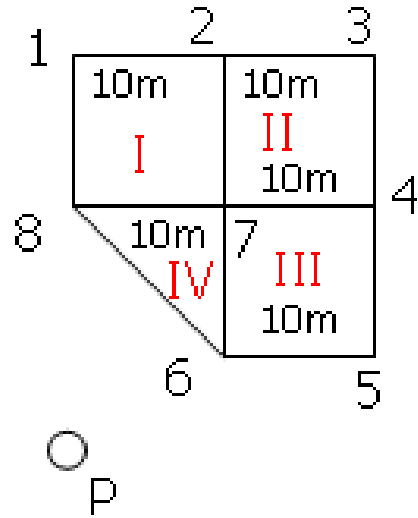
$$V2 = hII \times F2$$

HACİM

Hacim Hesabı

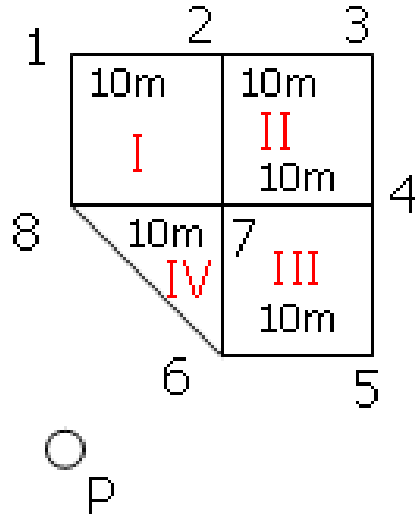
ÖRNEK

Şekildeki alan, 95.000 m yüksekliğine kadar kazılacaktır. Verilenler, P noktasının yüksekliği ve mira okumaları olduğuna göre kazı miktarını bulunuz.



Nokta	Mira Okumaları		
	Geri	Orta	İleri
P	2.345		
1		1.954	
2		2.312	
3		2.564	
4		1.988	
5	1.999		1.492
6		2.550	
7		2.300	
8			1.640

Hacim Hesabı



Nokta	Mira Okumaları			Gözleme Düzlemi Kotu	Yükseklik H	Kazı Yüksekliği (h)
	Geri	Orta	İleri			
P	2.345			102.345	100.000	
1		1.954			100.391	5.391 m
2		2.312			100.033	5.033
3		2.564			99.781	4.781
4		1.988			100.357	5.357
5	1.999		1.492	102.852	100.853	5.853
6		2.550			100.302	5.302
7		2.300			100.552	5.552
8			1.640		101.212	6.212

Hacim Hesabı

$$h_I = \frac{h_1 + h_2 + h_7 + h_8}{4} = \frac{5.391 + 5.033 + 5.552 + 6.212}{4} = \frac{22.188}{4} = 5.547m$$

$$h_{II} = \frac{h_2 + h_3 + h_4 + h_7}{4} = \frac{5.033 + 4.781 + 5.357 + 5.552}{4} = \frac{20.723}{4} = 5.18075m$$

$$h_{III} = \frac{h_4 + h_5 + h_6 + h_7}{4} = \frac{5.357 + 5.853 + 5.302 + 5.552}{4} = \frac{22.064}{4} = 5.516m$$

$$h_{IV} = \frac{h_6 + h_7 + h_8}{3} = \frac{5.302 + 5.552 + 6.212}{3} = \frac{17.066}{3} = 5.68867m$$

Hacim Hesabı

$$F_I = F_{II} = F_{III} = 10 * 10 = 100m^2$$

$$F_{IV} = 10 * 10 / 2 = 50m^2$$

$$V_I = F_I * h_I = 5.547 * 100 = 554.700m^3$$

$$V_{II} = F_{II} * h_{II} = 5.18075 * 100 = 518.075m^3$$

$$V_{III} = F_{III} * h_{III} = 5.516 * 100 = 551.600m^3$$

$$V_{IV} = F_{IV} * h_{IV} = 5.68867 * 50 = 284.433m^3$$

$$V = V_{Toplam} = V_I + V_{II} + V_{III} + V_{IV} = 1908.808m^3$$

KESİT NİVELMANI

6.BÖLÜM

Kesit Nivelmanı

Yol, kanal, yüksek gerilim hattı vb. tesislerin yapımında arazinin **boyuna ve enine** kesitleri çıkarılır. Boy kesitler güzergâh yönünde, en kesitler de bu yöne dik doğrultuda çıkarılırlar. İşin amacına ve arazinin topografik yapısına göre, boy kesit için okumalar 20, 50 ya da 100 m de bir ve ayrıca eğimin değiştiği noktalarda yapılır. En kesitlerde ise eksen üzerinde, yolun sol ve sağ bitim noktalarında ve ayrıca eğimin değiştiği noktalarda okumalar yapılır.

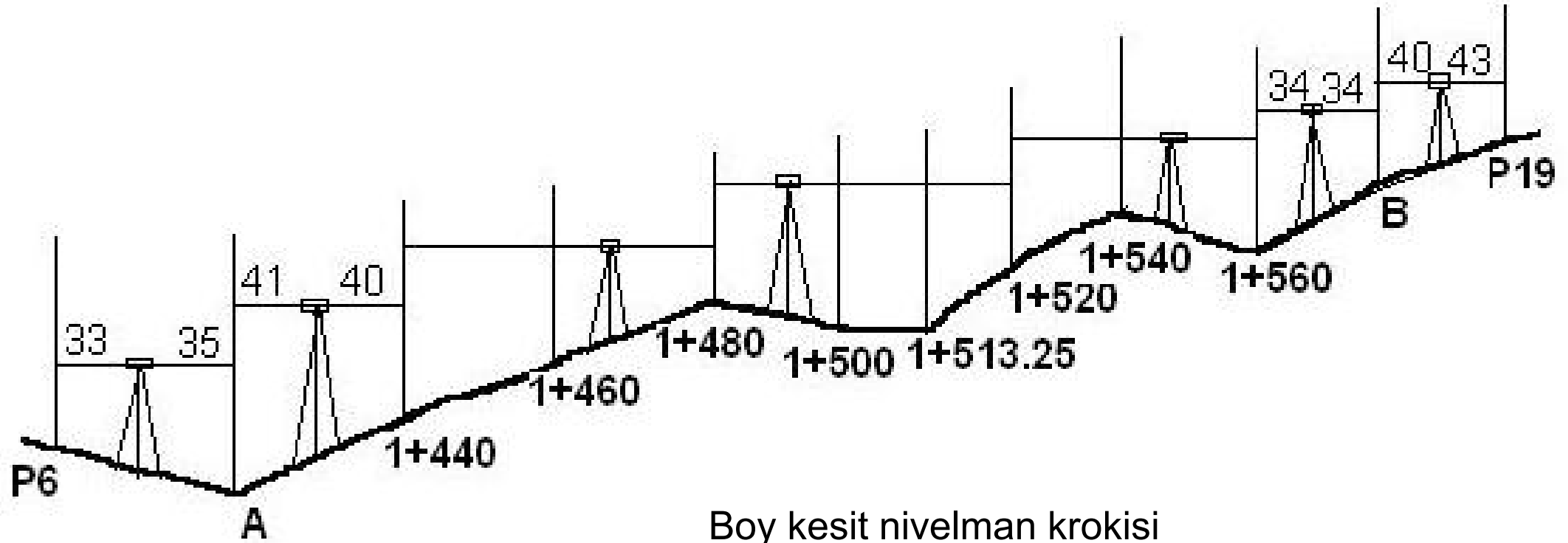
Yol Güzergahı Planlaması



Kesit Krokisi

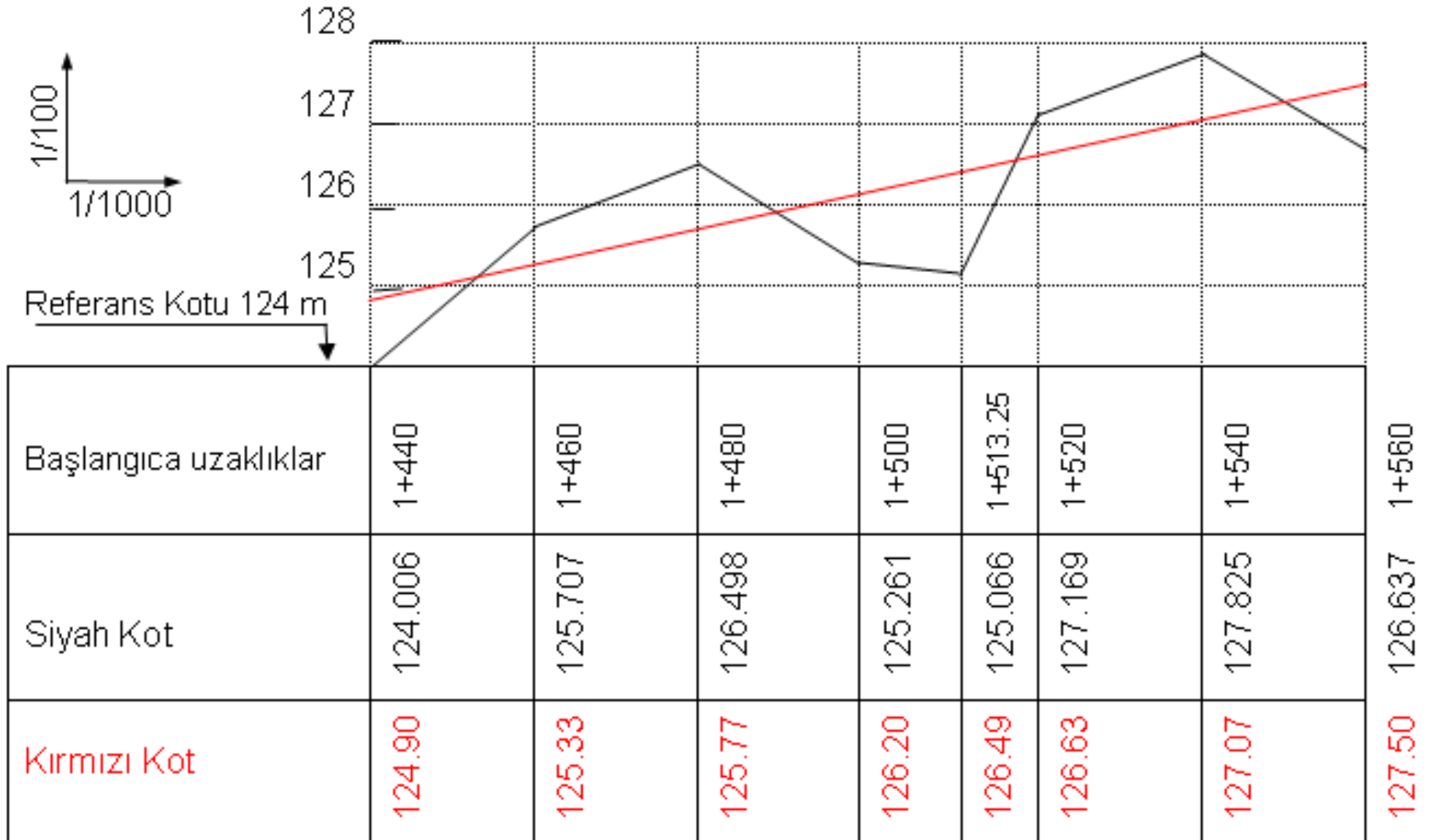


Boykesit Nivelmanı

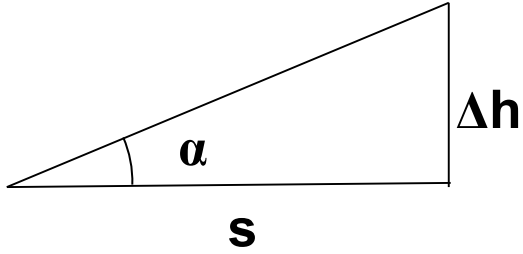


Nokta	Uzaklık	Mira Okumaları			Gözlem Düzlemi Kotu	Yükseklik H	Açıklama
		Geri	Orta	İleri			
P6	33 -	1.806 ⁺²			124.808 m	123.000 m	
A	41 - 35	3.125 ⁺²		2.594	125.341	122.214	
1+440	- 40	3.186 ⁺²		1.335	127.194	124.006	
1+460			1.487			125.707	
1+480		1.306 ⁺²		0.696	127.806	126.498	
1+500			2.545			125.261	
1+513.25			2.740			125.066	
1+520		1.445 ⁺²		0.637	128.616	127.169	
1+540			0.791			127.825	
1+560	34 -	2.865 ⁺²		1.979	129.504	126.637	
B	40 - 34	3.203 ⁺²		0.722	131.987	128.782	
P19	- 43			1.473		130.514 m	
		16.936		9436		7.514	
		9.436				7.500	
		7.500		Düzeltilme miktarı : 0.014 m = 14 mm			

Boykesit



Eğim Hesabı



$$Eğim = m = \tan \alpha = \frac{\text{yükseklik farkı}}{\text{yatay uzunluk}} = \frac{\Delta h}{s}$$

Önek :

$$\left. \begin{array}{l} s_{AB} = 120.00 \text{ m} \\ H_A = 124.90 \text{ m} \\ H_B = 127.50 \text{ m} \end{array} \right\} m_{AB} = ?$$

$$m_{AB} = \tan \alpha = \frac{H_B - H_A}{s_{AB}} = \frac{127.50 - 124.90}{120.00} = \frac{2.60}{120.00} = 0.0216667 = \%2.2$$

Kırmızı Kotların Hesabı

Aliyman şeklindeki kırmızı çizginin ilk (1+440 m) ve son (1+560) noktalarının yükseklikleri boy kesitten alınır. Yatay uzunlukla kırmızı çizginin eğiminin çarpımı ile iki nokta arasındaki yükseklik farkı hesaplanır. İlk noktaya göre hesaplanan yükseklik farkları, ilk nokta yüksekliğine eklenerek ara noktadaki kırmızı kotlar elde edilir.

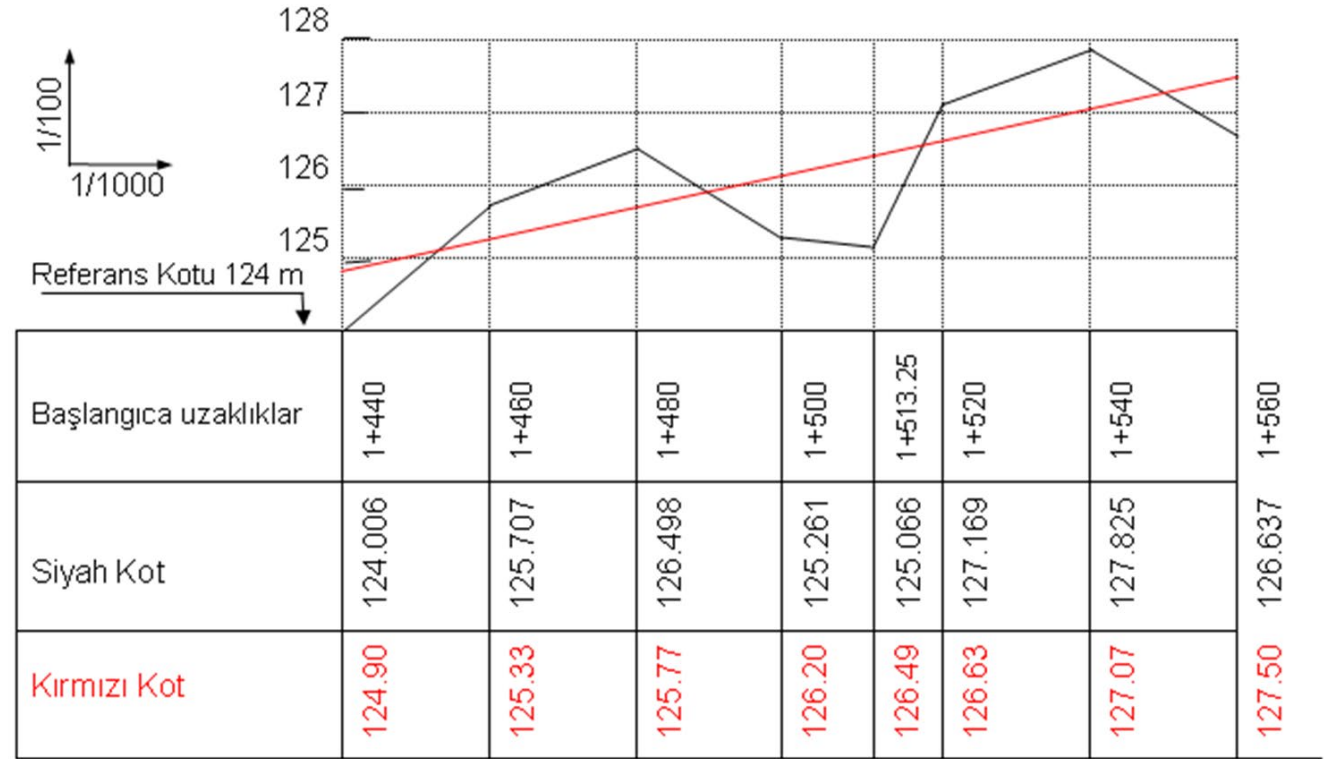
$$\Delta h_i = m \cdot s_i$$

$$\Delta h_1 = 0.0217 \cdot 20 = 0.433 \text{ m}$$

$$H_{1+460} = H_{1+440} + \Delta h_1 = 124.90 + 0.43 = 125.33 \text{ m}$$

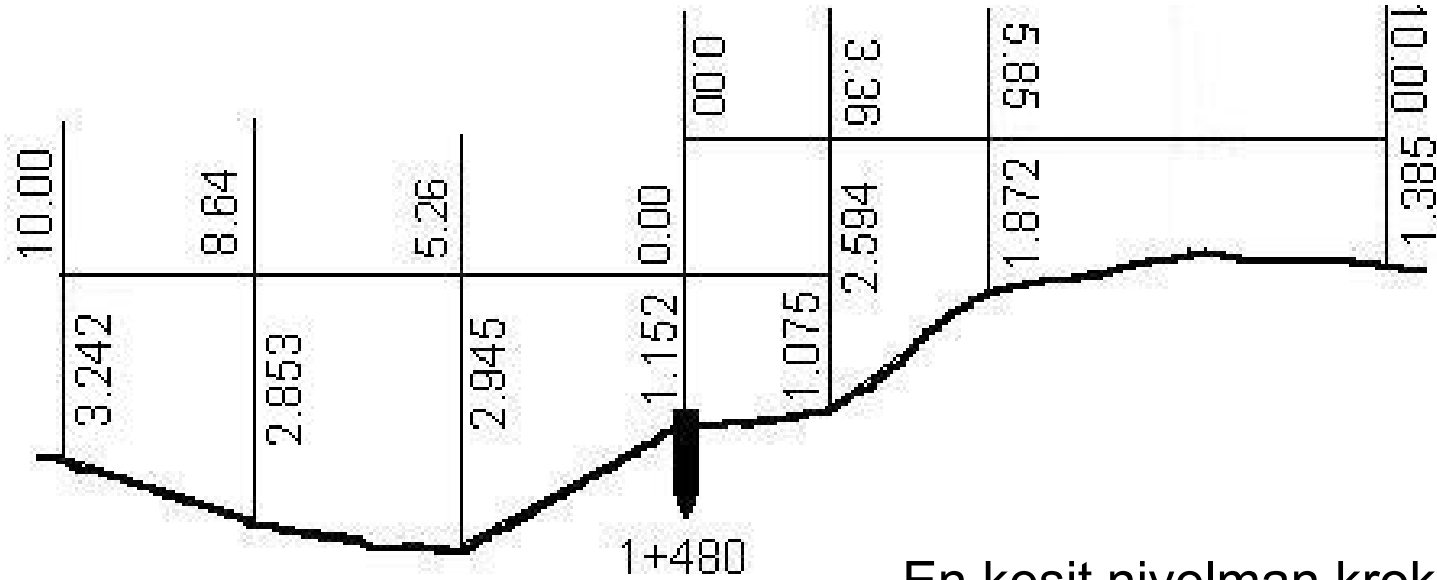
$$\Delta h_2 = 0.0217 \cdot 40 = 0.867 \text{ m}$$

$$H_{1+480} = H_{1+440} + \Delta h_2 = 124.90 + 0.87 = 125.77 \text{ m}$$



Enkesit

En kesitler genellikle hacim hesapları için kullanılır. En kesit için yapılan yükseklik ve uzunluk ölçümleri genellikle bir kroki üzerine yazılır. Eğer nivonun bir kez kurulmasıyla tüm kesit noktaları ölçülemez ve alet ikinci bir kez daha kurulmuşsa, kroki buna göre düzenlenir. En kesitlerde yatay ve düşey ölçekler aynı ve genellikle de 1/100 ya da 1/200 alınır.

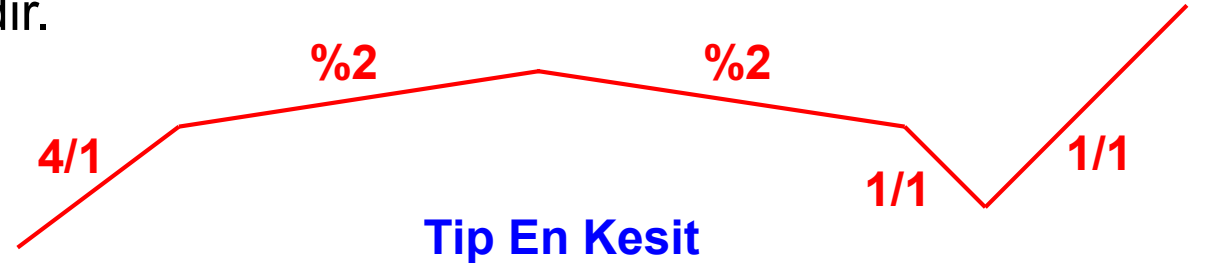


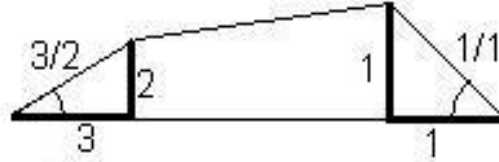
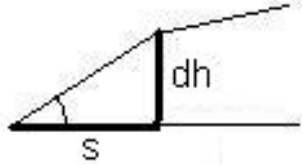
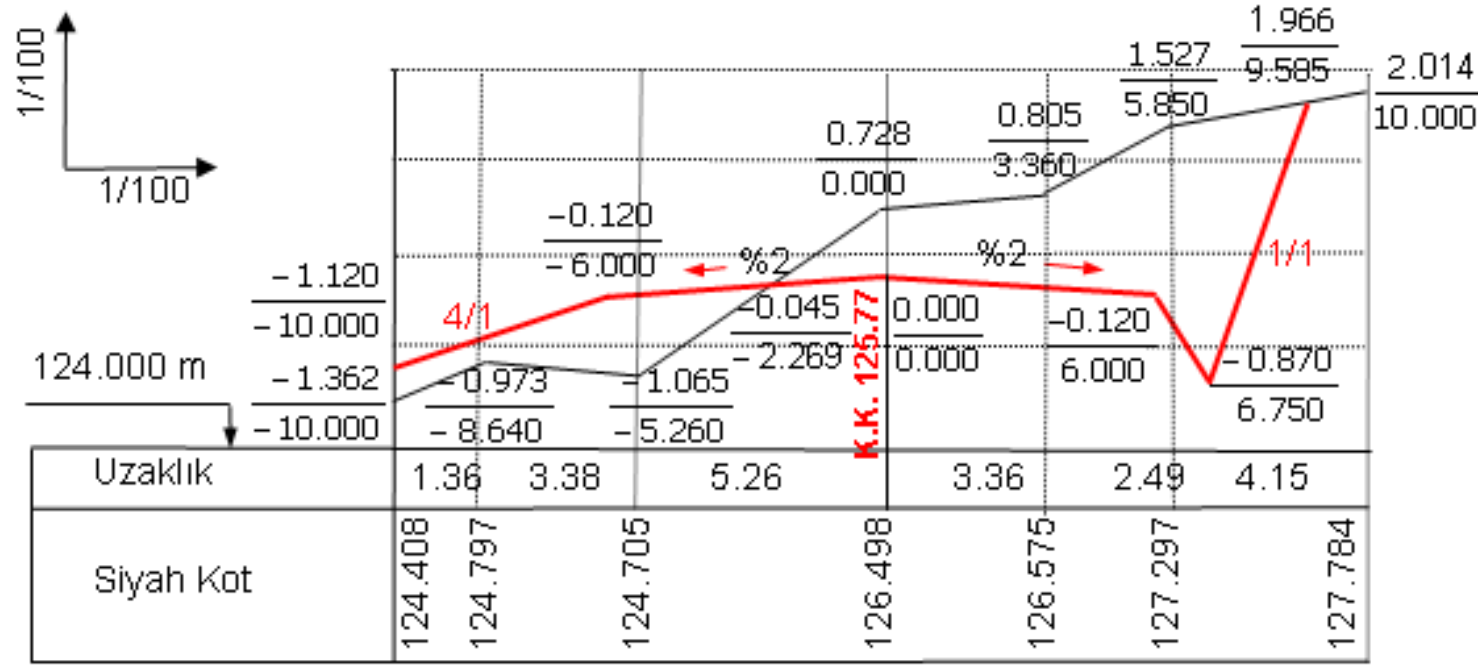
En kesit nivelman krokisi

Enkesit Nivelmanı Ölçüm ve Hesap Çizelgesi

Eksenden Uzaklık	Mira Okumaları			Gözlem Düzlemi Yüksekliği	Yükseklik H	Açıklama
	Geri	Orta	İleri			
10.00			3.242		124.408	
8.64		2.853			124.797	Sol
5.26		2.945			124.705	
0.00	1.152			127.650	126.498	
3.36	2.594		1.075	129.169	126.575	
5.85		1.872			127.297	Sağ
10.00			1.385		127.784	

En kesitler, **tip en kesite** uygun olarak ölçü değerlerine göre çizilir. Aşağıdaki şekilde bir tip en kesit örneği görülmektedir.





$$\text{Şev eğimi} = \frac{s}{dh} = \cot \alpha$$

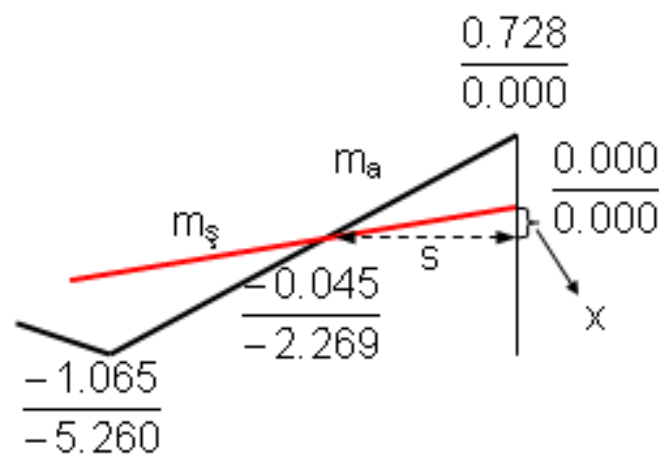
Yarmada şev eğimi, zeminin cinsine göre değişik değerler alır. Dolguda şev eğimi, dolgunun h yüksekliğine göre değişir. Karayollarının kabul ettiği değerler:

$h < 1.5 \text{ m}$ için 4/1

$3.0 \leq h < 5.0 \text{ m}$ için 2/1

$1.5 \leq h < 3.0 \text{ m}$ için 3/1

$h \geq 5.0 \text{ m}$ için 3/2



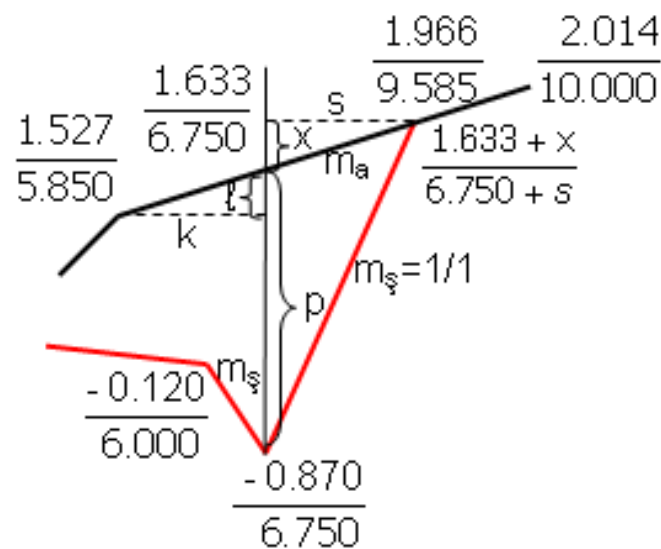
$$m_s = 0.02$$

$$m_a = \frac{0.728 - (-1.065)}{5.260} = \frac{1.793}{5.260} = 0.34087$$

$$s = \frac{p}{m_s - m_a} = \frac{0.728}{0.02 - 0.34087} = \frac{0.728}{-0.32087}$$

$$s = 2.269 \text{ m}$$

$$x = m_s \cdot s = 0.02 \cdot 2.269 = 0.045 \text{ m}$$



$$m_s = \frac{1}{1} = 1$$

$$k = 6.750 - 5.850 = 0.900 \text{ m}$$

$$\ell = 0.900 \cdot 0.11735 = 0.106 \text{ m}$$

$$1.527 + \ell = 1.527 + 0.106 = 1.633 \text{ m}$$

$$p = 1.633 - (-0.870) = 2.503 \text{ m}$$

$$s = \frac{p}{m_s - m_a} = \frac{2.503}{1 - 0.11735} = \frac{2.503}{0.88265} = 2.8353$$

$$x = m_a \cdot s = 0.11735 \cdot 2.8353 = 0.333 \text{ m}$$

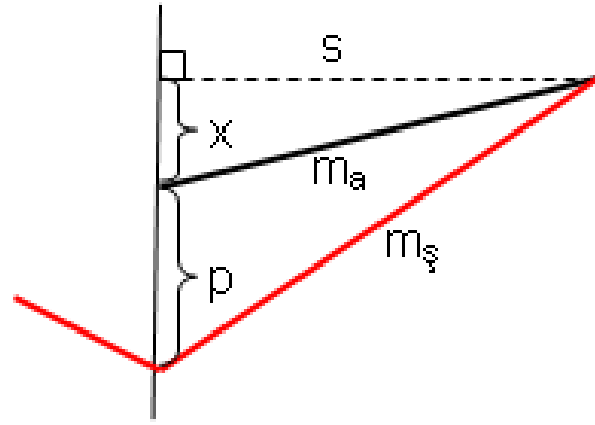
$$x = s \cdot m_s - p = 2.835 - 2.503 = 0.332 \text{ m (kontrol)}$$

$$1.633 + x = 1.633 + 0.333 = 1.966 \text{ m}$$

$$6.750 + s = 6.750 + 2.835 = 9.585 \text{ m}$$

$$m_a = \frac{2.014 - 1.527}{10.000 - 5.850} = 0.11735$$

Arazi Eğimi ve Şev Eğimi Aynı Yönde



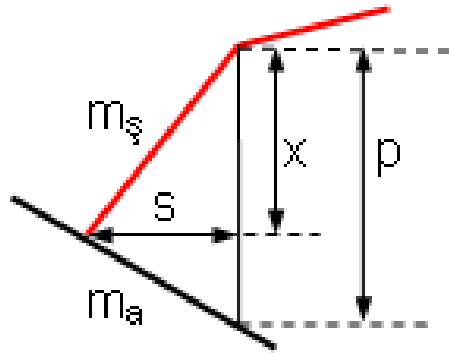
$$\text{Arazi eğimi } (m_a) = \frac{x}{s} \rightarrow x = s \cdot m_a$$

$$\text{Şevin eğimi } (m_ş) = \frac{x+p}{s} \rightarrow x+p = s \cdot m_ş \rightarrow x = s \cdot m_ş - p$$

$$s \cdot m_a = s \cdot m_ş - p$$

$$p = s \cdot m_ş - s \cdot m_a = s \cdot (m_ş - m_a) \rightarrow s = \frac{p}{m_ş - m_a}$$

Arazi Eğimi ve Şev Eğimi Ters Yönde



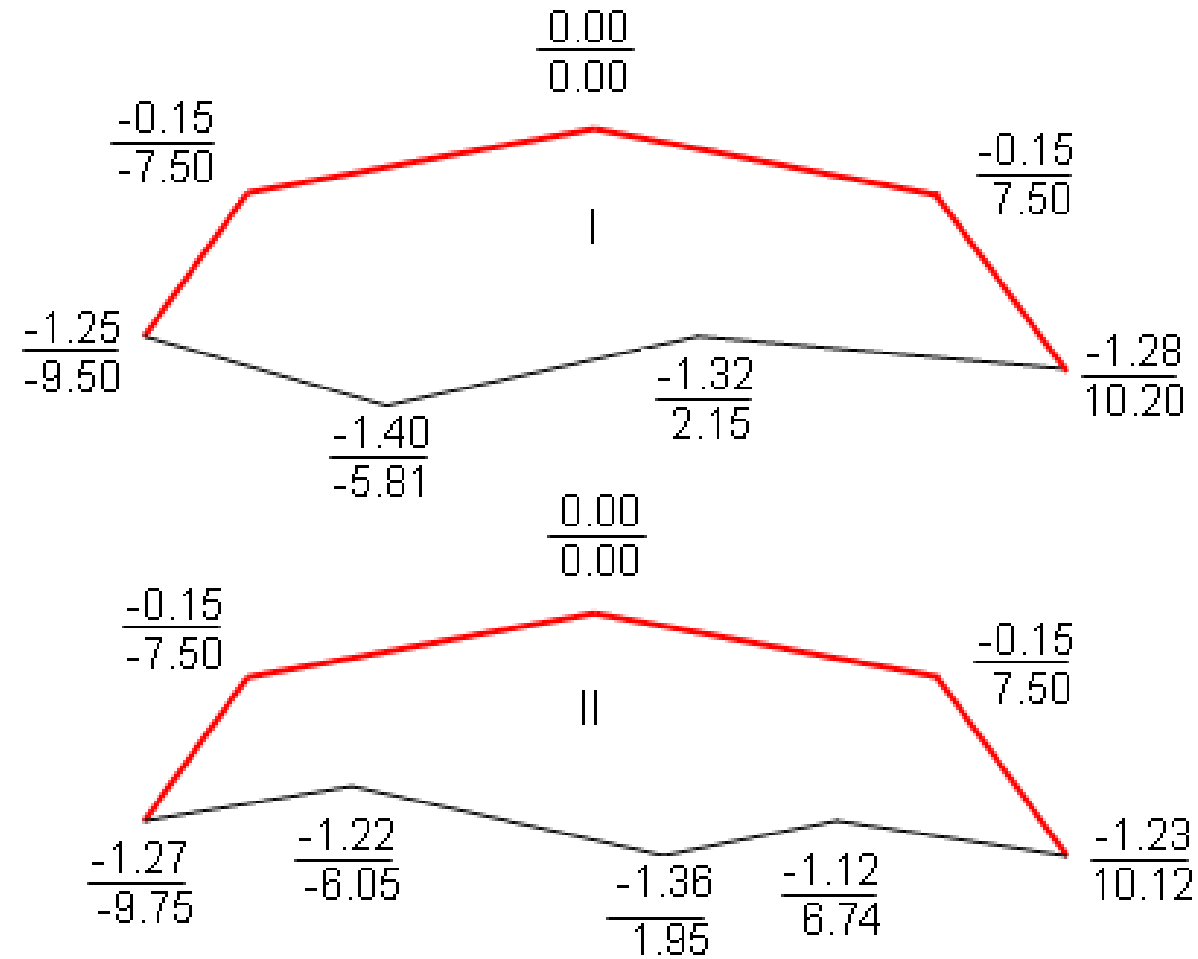
$$m_a = \frac{p-x}{s} \rightarrow m_a \cdot s = p - x \rightarrow x = p - m_a \cdot s$$

$$m_ş = \frac{x}{s} \rightarrow x = m_ş \cdot s$$

$$m_ş \cdot s = p - m_a \cdot s \rightarrow m_ş \cdot s + m_a \cdot s = p \rightarrow s = \frac{p}{m_ş + m_a}$$

Cross Yöntemine Göre Kesitlerle Alan Hesabı

(Hatırlatma)



Her hangi bir noktadan başlanarak saat ibresinin ters yönünde sırayla tüm koordinat değerleri yazıldıktan sonra, ilk noktanın koordinatları tekrar yazılır. + yönündeki okların çarpımlarının toplamından – yöndeki okların çarpımlarının toplamı çıkartılır.



$$2F_I = \frac{0.00}{0.00} \quad \frac{-0.15}{-7.50} \quad \frac{-1.25}{-9.50} \quad \frac{-1.40}{-5.81} \quad \frac{-1.32}{2.15} \quad \frac{-1.28}{10.20} \quad \frac{-0.15}{7.50} \quad \frac{0.00}{0.00} = \nearrow - \searrow$$

$$2F_I = 26.0622 - (-17.3865) = 43.4487 \Rightarrow F_I = 21.72435 \text{ m}^2$$

$$2F_{II} = \frac{0.00}{0.00} \quad \frac{-0.15}{-7.50} \quad \frac{-1.27}{-9.75} \quad \frac{-1.22}{-6.05} \quad \frac{-1.36}{1.95} \quad \frac{-1.12}{6.74} \quad \frac{-1.23}{10.12} \quad \frac{-0.15}{7.50} \quad \frac{0.00}{0.00} = \nearrow - \searrow$$

$$2F_{II} = 17.6558 - (-22.9588) = 40.6146 \Rightarrow F_{II} = 20.3073 \text{ m}^2$$

Kesitlerle Hacim Hesabı

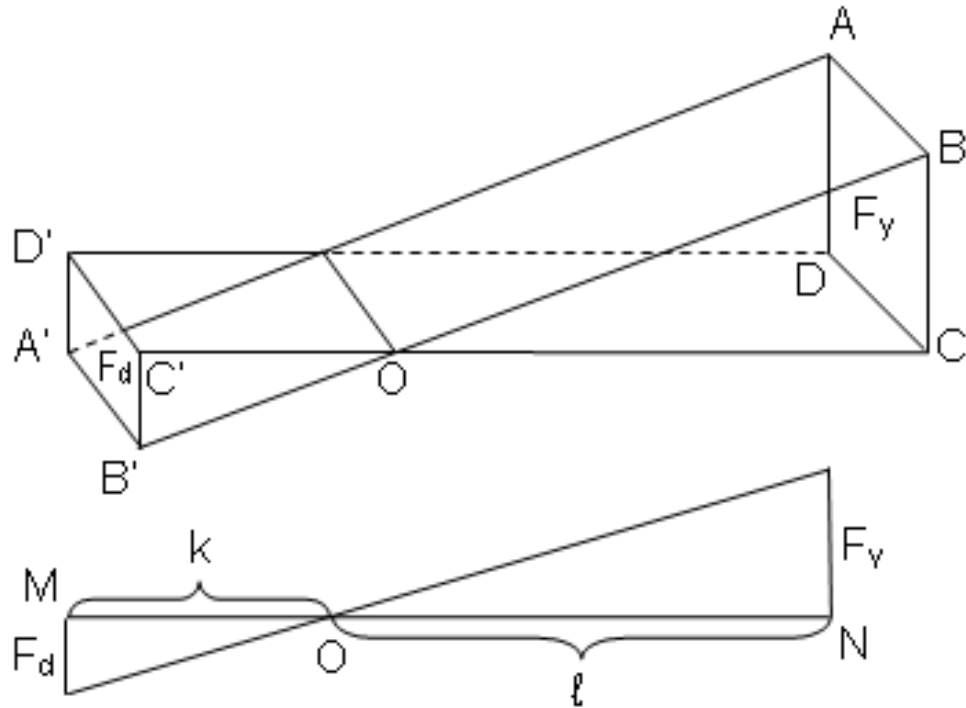
Kesitlerin İkisi de Dolgu ya da Yarma

Yukarıda alanları hesaplanan kesitlerin ikisi de dolgudur ve aralarındaki uzaklık $s=20$ m olsun. Bu iki kesit arasındaki hacim (dolgu miktarı),

$$V = \frac{F_I + F_{II}}{2} \cdot s = \frac{21.72435 + 20.3073}{2} \cdot 20.00 = 21.015825 \cdot 20.00 = 420.3165 \text{ m}^3$$

Kesitlerin Biri Dolgu Diğeri Yarma

Kesitin biri dolgu diğeri yarma ise, dolgudan yarmaya geçilen nokta bulunarak; dolgu ve yarma hacimleri ayrı ayrı hesaplanır.



$MN=s$ =iki kesit arasındaki uzaklık

$$\frac{F_d}{F_y} = \frac{k}{l} = \frac{k}{s-k}$$

$$k \cdot F_y = s \cdot F_d - k \cdot F_d$$

$$k \cdot (F_y + F_d) = s \cdot F_d$$

$$k = \frac{s \cdot F_d}{F_y + F_d}$$

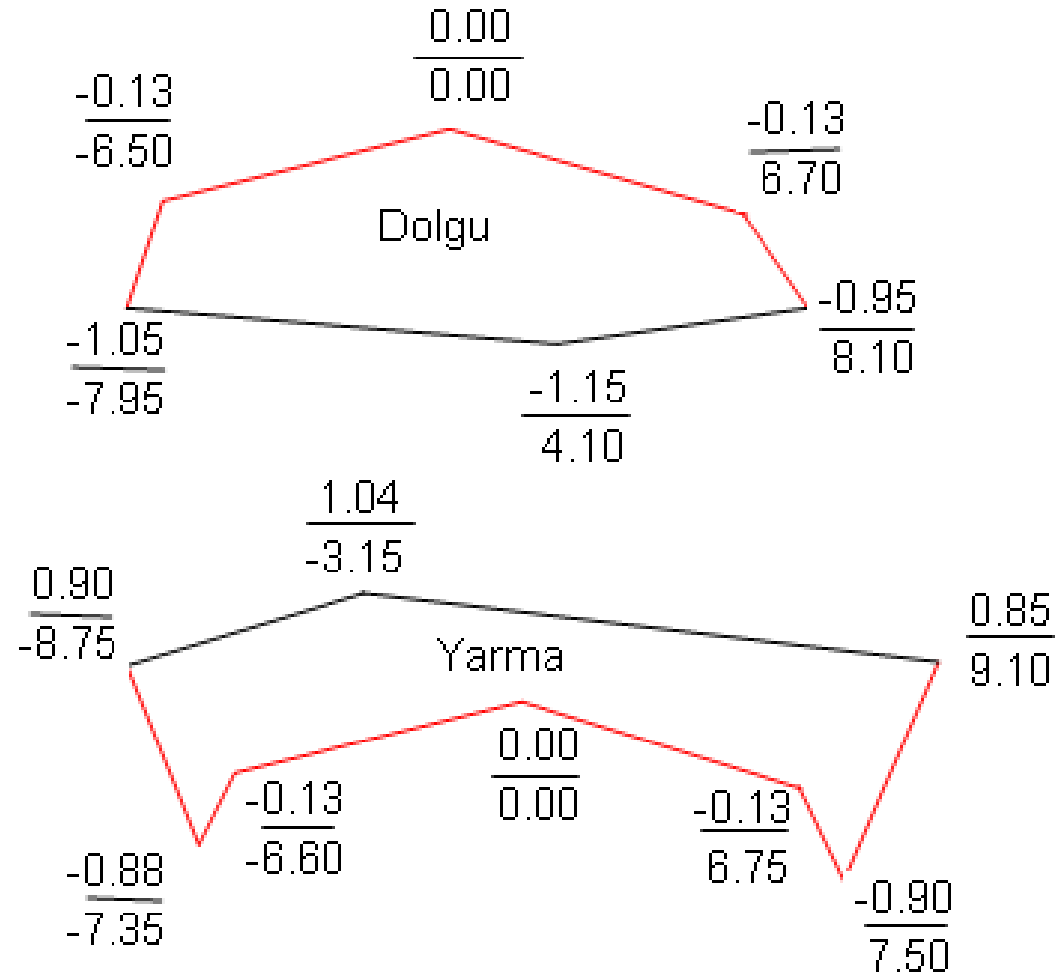
$$l = s - k$$

$$\text{Dolgu hacmi} = V_d = \frac{F_d \cdot k}{2}$$

$$\text{Yarma hacmi} = V_y = \frac{F_y \cdot l}{2}$$

ÖRNEK:

Aşağıdaki iki enkesit arasındaki uzaklık $s=20$ m olduğuna göre iki kesit arasındaki kazı ve dolgu miktarını hesaplayınız?



$$2F_d = \frac{0.00}{0.00} \quad \frac{-0.13}{-6.50} \quad \frac{-1.05}{-7.95} \quad \frac{-1.15}{4.10} \quad \frac{-0.95}{8.10} \quad \frac{-0.13}{6.70} \quad \frac{0.00}{0.00}$$

$$F_d = 11.095 - (-18.9515) = 29.971 \rightarrow F_d = 14.9855 \text{ m}^2$$

$$2F_y = \frac{0.00}{0.00} \quad \frac{-0.13}{6.75} \quad \frac{-0.90}{7.50} \quad \frac{0.85}{9.10} \quad \frac{1.04}{-3.15} \quad \frac{0.90}{-8.75} \quad \frac{-0.88}{-7.35} \quad \frac{-0.13}{-6.60} \quad \frac{0.00}{0.00}$$

$$2F_y = 15.5845 - (-21.7495) = 37.334 \rightarrow F_y = 18.667 \text{ m}^2$$

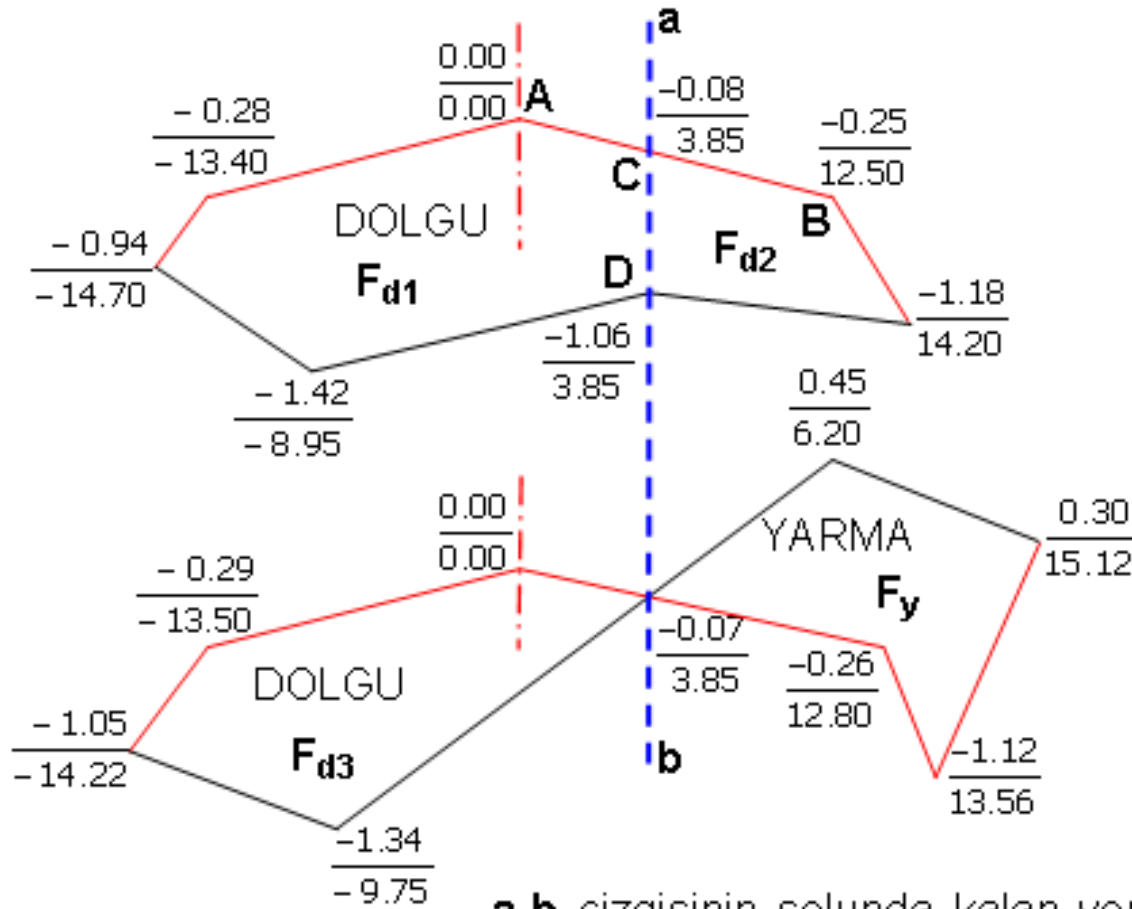
$$k = \frac{F_d \cdot s}{F_d + F_y} = \frac{14.9855 * 20.00}{14.9855 + 18.667} = \frac{299.71}{33.6525} = 8.906 \text{ m}$$

$$\ell = s - k = 20.000 - 8.906 = 11.094 \text{ m}$$

$$V_d = \frac{F_d * k}{2} = \frac{14.9855 * 8.906}{2} = 66.730 \text{ m}^3 \quad \text{dolgu miktarı}$$

$$V_y = \frac{F_y * \ell}{2} = \frac{18.667 * 11.094}{2} = 103.546 \text{ m}^3 \quad \text{kazı miktarı}$$

Kesitlerin Biri Dolgu ya da Yarma Diğeri Karışık



a-b çizgisinin solunda kalan yerlerdeki hacim hesabı, kesitlerin her ikisinin de aynı olması durumuna göre; sağında kalan yerlerdeki hacim hesabı ise kesitlerden birinin dolgu, diğerinin yarma olması durumuna göre yapılır.

F_{d1} ve F_{d2} alanlarının hesabı için öncelikle C noktasının koordinat değerlerinin hesaplanması gerekir.

$$m_{AB} = \frac{-0.25 - 0.00}{12.50} = \frac{-0.25}{12.50} = -0.02$$

C noktasının eksene uzaklığı, D noktasının eksene uzaklığı olan 3.85 m değerine eşittir. C noktasının yüksekliği ve koordinat değerleri,

$$H_C = H_A + 3.85 * m_{AB} = 0.00 + 3.85 * (-0.02) = 0.00 - 0.077 = -0.077 \text{ m} \cong -0.08 \text{ m}$$

$$\frac{-0.08}{3.85}$$

şeklinde bulunur.

$$2F_{d1} = \frac{0.00}{0.00} \frac{-0.28}{-13.40} \frac{-0.94}{-14.70} \frac{-1.42}{-8.95} \frac{-1.06}{3.85} \frac{-0.08}{3.85} \frac{0.00}{0.00} = 42.649 - 2.981 = 39.668 \text{ m}^2$$

$$F_{d1} = 19.834 \text{ m}^2$$

$$2F_{d2} = \frac{-0.08}{3.85} \frac{-1.06}{3.85} \frac{-1.18}{14.20} \frac{-0.25}{12.50} \frac{-0.08}{3.85} = -13.174 - (-31.0725) = 17.8985 \text{ m}^2$$

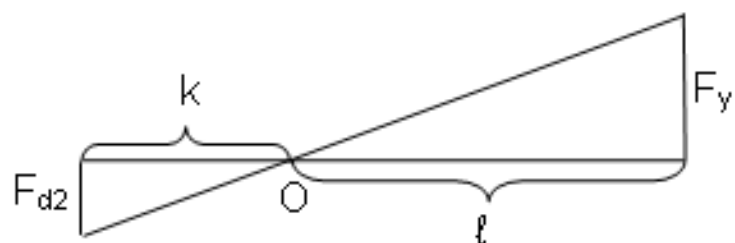
$$F_{d2} = 8.9492 \text{ m}^2$$

$$2F_{d3} = \frac{0.00}{0.00} \frac{-0.29}{-13.50} \frac{-1.05}{-14.22} \frac{-1.34}{-9.75} \frac{-0.07}{3.85} \frac{0.00}{0.00} = 33.9123 - 9.2023 = 24.71 \text{ m}^2$$

$$F_{d3} = 12.355 \text{ m}^2$$

$$2F_y = \frac{-0.07}{3.85} \frac{-0.26}{12.80} \frac{-1.12}{13.56} \frac{0.30}{15.12} \frac{0.45}{6.20} \frac{-0.07}{3.85} = -4.899 - (-17.7635) = 12.8645 \text{ m}^2$$

$$F_y = 6.43225 \text{ m}^2$$



$$k = \frac{20.00 \cdot F_{d2}}{F_{d2} + F_y} = \frac{20.00 \cdot 8.9492}{8.9492 + 6.43225} = 11.64 \text{ m}$$

$$l = 20.00 - k = 20.00 - 11.64 = 8.36 \text{ m}$$

$$V_y = \frac{F_y}{2} \cdot l = \frac{6.43225}{2} \cdot 8.36 = 26.89 \text{ m}^3 \quad \text{Kazı miktarı}$$

$$V_{d1} = \frac{F_{d1} + F_{d3}}{2} \cdot 20.00 = \frac{19.834 + 12.355}{2} \cdot 20.00 = 321.89 \text{ m}^3$$

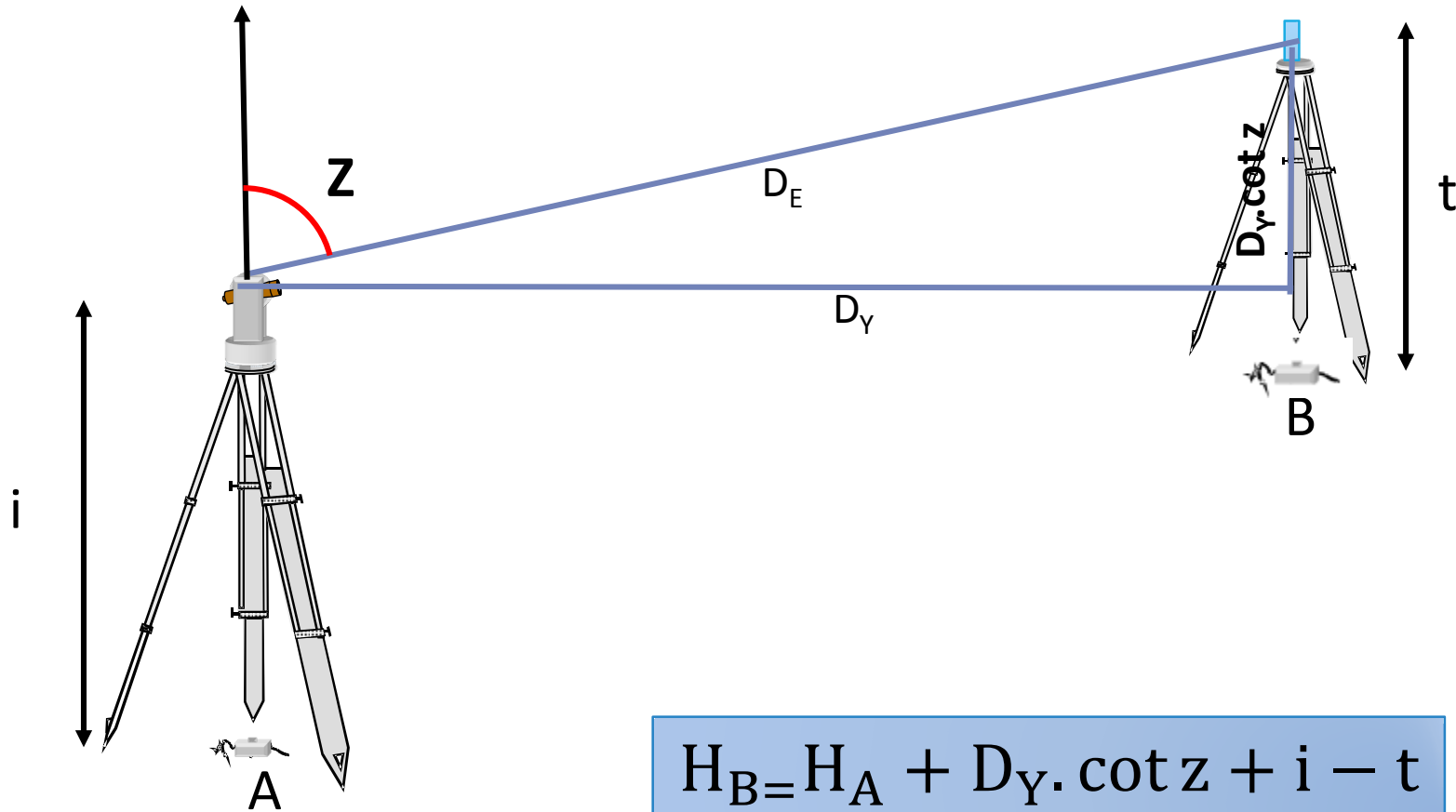
$$V_{d2} = \frac{F_{d2}}{2} \cdot k = \frac{8.9492}{2} \cdot 11.64 = 52.08 \text{ m}^3$$

$$V_d = V_{d1} + V_{d2} = 321.89 + 52.08 = 373.97 \text{ m}^3 \quad \text{Toplam dolgu miktarı}$$

TRİGONOMETRİK NİVELMAN

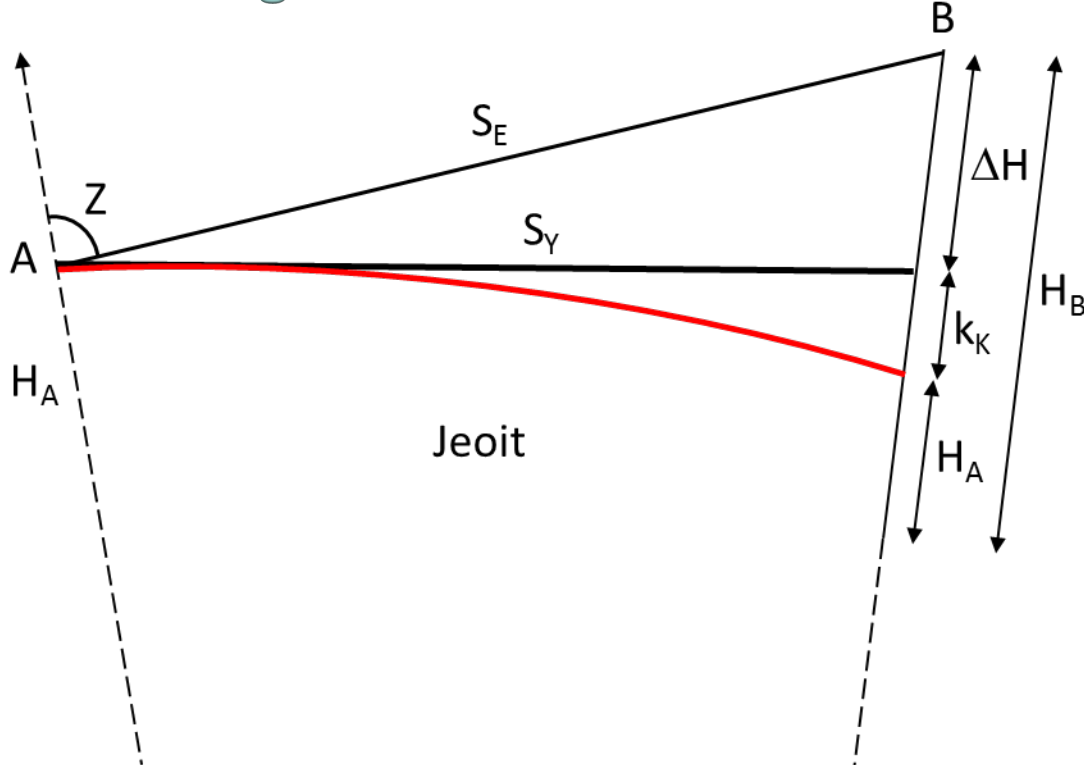
7.BÖLÜM

Trigonometrik Nivelman



Trigonometrik Nivelman

Yerin Küreselliğinin Etkisi



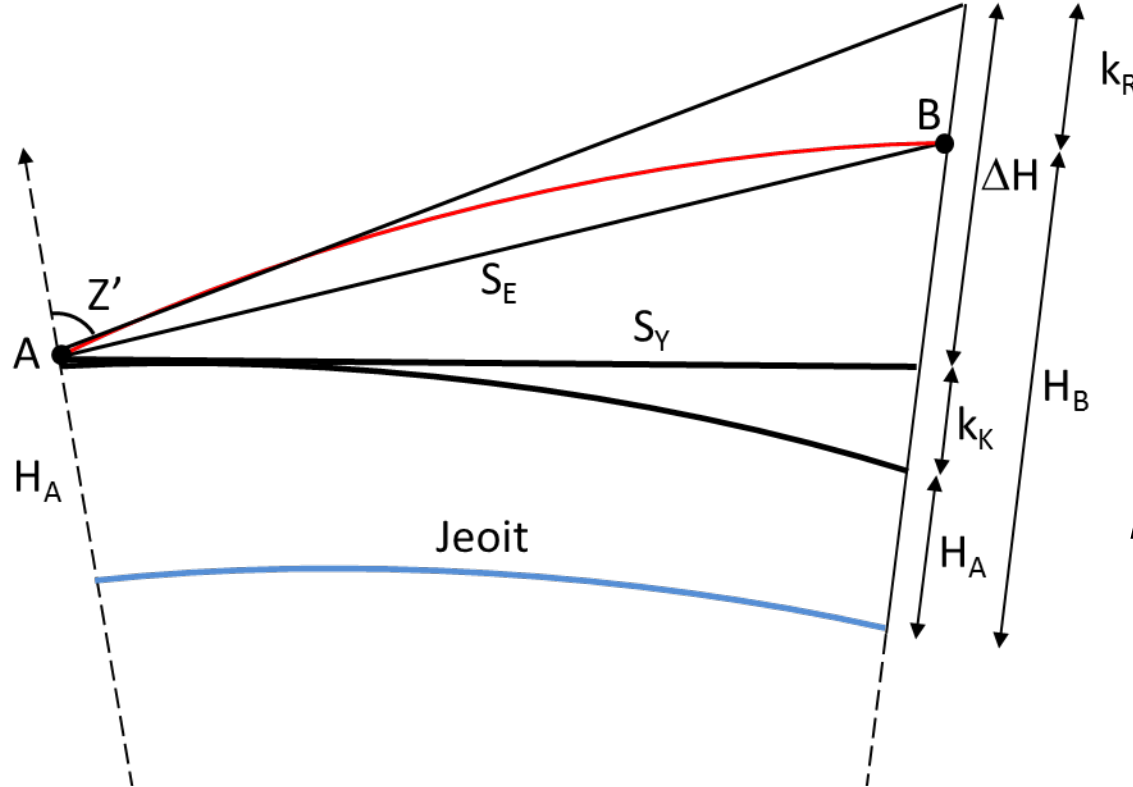
$$k_K = \frac{D_Y^2}{2 \cdot R}$$

$$H_B = H_A + \Delta H + k_K$$

	Kısa Mesafe			Uzun Mesafe			
D_Y	50m	100m	200m	300m	500m	1 km	5 km
k_K	0.2mm	0.8mm	3.1mm	7.1mm	2cm	7.8cm	1.9m

Trigonometrik Nivelman

Işığın Kırılmasının Etkisi



$$k_R = k_K \cdot k$$

$$k_R = \frac{D_Y^2 k}{2 \cdot R}$$

k: Kırılma katsayısı=0.13

$$k = 1 - \frac{R}{D_Y} \cdot \frac{Z_A + Z_B - 200^g}{\rho}$$

$$H_B = H_A + \Delta H + k_K - k_R$$

	Kısa Mesafe			Uzun Mesafe			
D _Y	50m	100m	200m	300m	500m	1 km	5 km
k _R	0.03mm	0.1mm	0.4mm	0.9mm	3mm	1cm	0.2m

Trigonometrik Nivelman

Kısa Mesafe: < 250m

$$H_B = H_A + D_Y \cdot \cot z + i - t$$

Uzun Mesafe: > 250m

$$H_B = H_A + D_Y \cdot \cot Z + \frac{(1 - k) \cdot D_Y^2}{2 \cdot R} + i - t$$

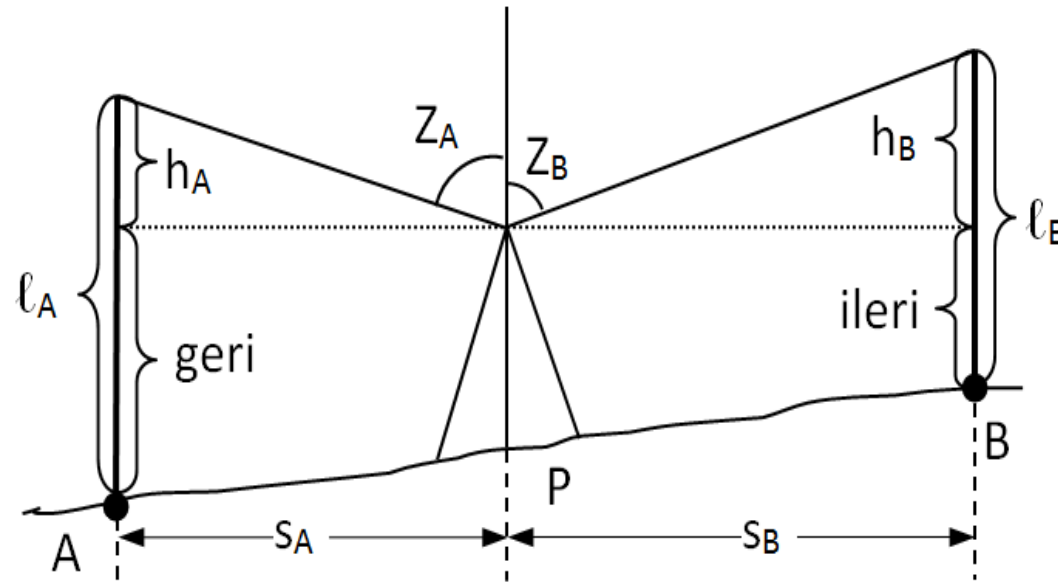
$$\Delta H_{AB} = D \cdot \cot Z_A + \frac{1 - k}{2 \cdot R} \cdot D^2 + i_A - t_B$$

$$\Delta H_{BA} = -D \cdot \cot Z_A - \frac{1 - k}{2 \cdot R} \cdot D^2 - i_B + t_A$$

$$\Delta H_{ORT} = \frac{1}{2} [D(\cot Z_A - \cot Z_B) + (i_A - i_B) + (t_A - t_B)]$$

Karşılıklı ve eş zamanlı düşey açı ölçülerinde
küreselliğin ve **kırılmanın**
etkisi **ELİMİNE** edilir.

Trigonometrik Nivelman



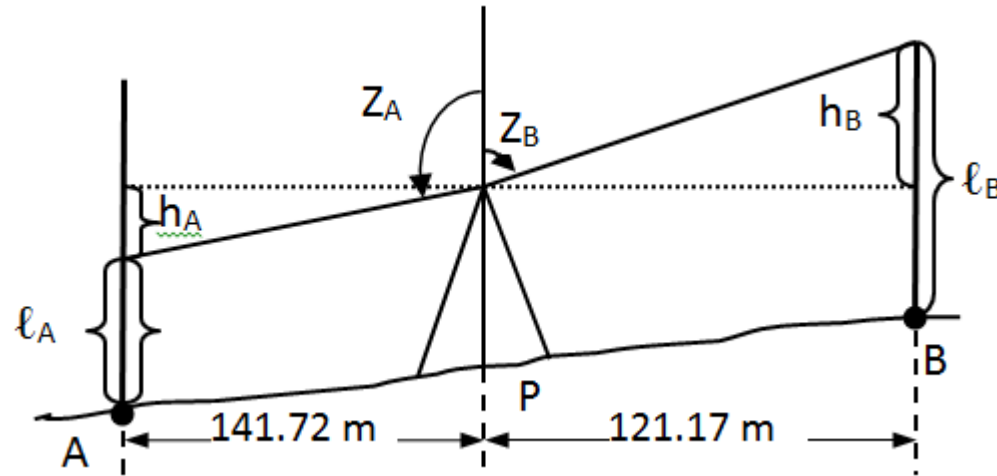
$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = \text{geri} - \text{ileri} = (\ell_A - h_A) - (\ell_B - h_B)$$

$$H_B - H_A = \ell_A - s_A \cdot \cot Z_A - \ell_B + s_B \cdot \cot Z_B$$

$$H_B = H_A + s_B \cdot \cot Z_B - s_A \cdot \cot Z_A + \ell_A - \ell_B$$

Trigonometrik Nivelman

ÖRNEK-1



Bilinen : $H_B = 1000.00$ m

Ölçülenler : $Z_A = 106^\circ.1871$

$Z_B = 95^\circ.3943$

$\ell_A = 1.20$ m

$\ell_B = 3.46$ m

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = (\ell_A - s_A \cot Z_A) - (\ell_B - s_B \cot Z_B)$$

$$H_A = H_B + s_A \cot Z_A - s_B \cot Z_B - \ell_A + \ell_B$$

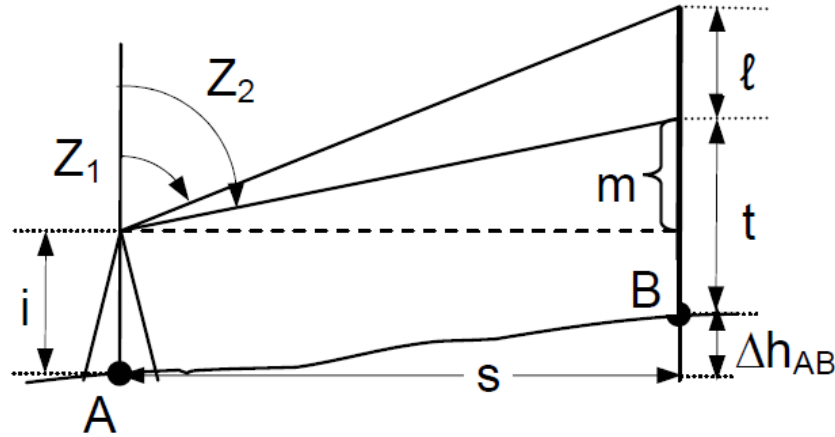
$$H_A = 1000.00 + 141.72 \cot 106.1871 - 121.17 \cot 95.3943 - 1.20 + 3.46$$

$$H_A = 1000.00 - 13.817 - 8.782 - 1.20 + 3.46 = 1000.00 - 20.339 = 979.661 \text{ m}$$

$$H_A = 979.66 \text{ m}$$

ÖRNEK-2

Trigonometrik Nivelman



Ölçülenler	$Z_1 = 96^g.7120$ $Z_2 = 97^g.9122$ $i = 1.50 \text{ m}$ $t = 1.90 \text{ m}$ $l = 2.00 \text{ m}$
Bilinen	$H_A = 101.50 \text{ m}$
İstenen	$H_B = ?$

$$s = \frac{l}{\cot Z_1 - \cot Z_2} = \frac{2.00}{\cot 96.7120 - \cot 97.9122} = \frac{2.00}{0.0188869} = 105.89 \text{ m}$$

$$H_B = H_A + 1.50 + 105.89 \cdot \cot 96.7120 - 2.00 - 1.90 = 104.57 \text{ m}$$

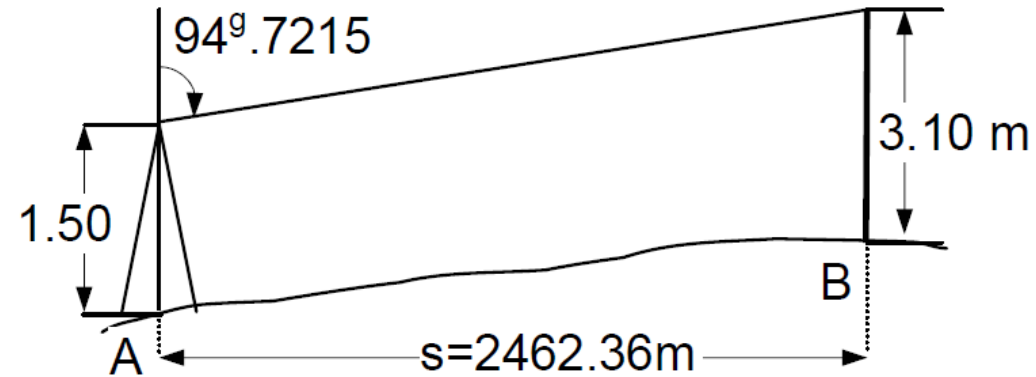
$$H_B = H_A + 1.50 + 105.89 \cdot \cot 97.9122 - 1.90 = 104.57 \text{ m}$$

ÖRNEK-3

Trigonometrik Nivelman

$$H_A = 2000.00 \text{ m}$$

$$H_B = ?$$



$$H_B = H_A + s \cdot \cot Z + \frac{(1-k)}{2R} \cdot s^2 + i - t$$

$$H_B = 2000.00 + 2462.36 \cdot \cot 94.7215 + \frac{(1-0.13)}{2 \cdot 6373394} \cdot (2462.36)^2 + 1.50 - 3.10$$

$$H_B = 2000.00 + 204.634 + 0.414 + 1.50 - 3.10 = 2203.45 \text{ m}$$

Trigonometrik Nivelmanda Belirsizlik

$$\Delta H_{AB} = D_Y \cdot \cot z + i - t$$

$$s_{\Delta H}^2 = (\cot z \cdot s_{DY})^2 + \left(\frac{Dy}{\sin^2 z} s_z \right)^2 + s_i^2 + s_t^2$$

$$s_z = 0.7 \text{ mgon}$$

$$s_D = 3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$$

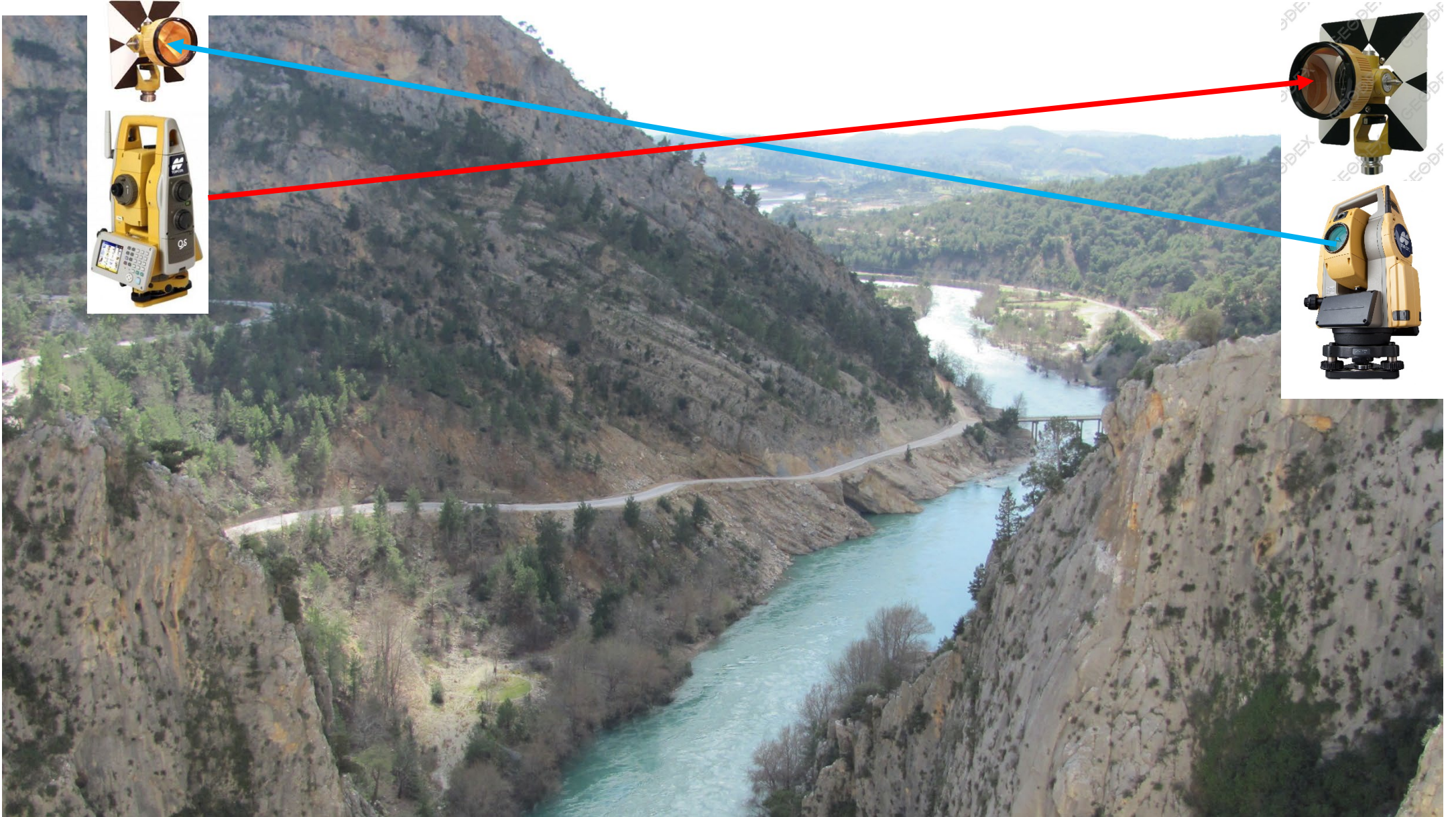
$$s_i = 2 \text{ mm}$$

$$s_t = 2 \text{ mm}$$

z (gon)	D=100m	D=200m	D=500m
90	3.1mm	3.7mm	4.4mm
70	3.6mm	4.4mm	7.8mm
50	4.9mm	6.3mm	12.2mm

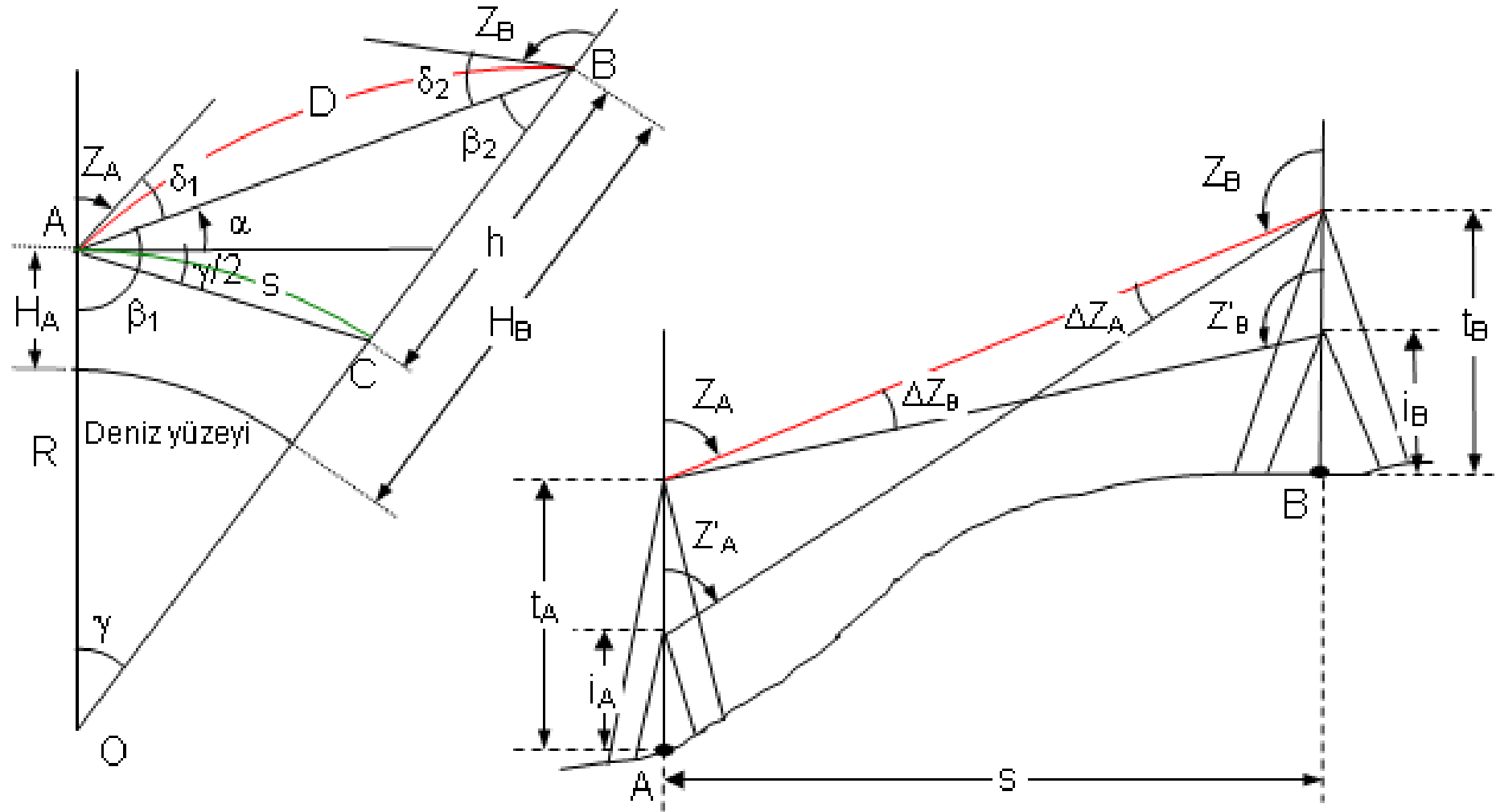
KARŞILIKLI TRİGONOMETRİK NİVELMAN

8.BÖLÜM



Karşılıklı Trigonometrik Nivelman

Karşılıklı Gözlemlerle iki Nokta Arasındaki Yükseklik Farkı



Z' : Ölçülen zenit açısı

Z : İşaret tepesine indirgenmiş zenit açısı

$$\Delta Z_A = \frac{t_A - i_A}{s} \cdot \rho \quad Z_A = Z'_A + \Delta Z_A$$
$$\Delta Z_B = \frac{t_B - i_B}{s} \cdot \rho \quad Z_B = Z'_B + \Delta Z_B$$

Tanjant teoremine göre OAB üçgeninden,

$$\frac{(R + H_B) - (R + H_A)}{(R + H_B) + (R + H_A)} = \frac{\tan \frac{\beta_1 - \beta_2}{2}}{\tan \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}}$$

$$\frac{\beta_1 + \beta_2}{2} = \frac{200^g - \gamma}{2} = \frac{\pi}{2} - \frac{\gamma}{2}$$

$$\tan \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} = \tan \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\gamma}{2} \right) = \cot \frac{\gamma}{2}$$

$$\beta_1 = 200^g - (Z_A + \delta_1)$$

$$\beta_2 = 200^g - (Z_B + \delta_2)$$

$$\beta_1 - \beta_2 = 200 - Z_A - \delta_1 - 200 + Z_B + \delta_2 = Z_B + \delta_2 - Z_A - \delta_1$$

$$\tan \frac{\beta_1 - \beta_2}{2} = \tan \frac{Z_B + \delta_2 - Z_A - \delta_1}{2} \quad \text{yazılabilir.}$$

$$\frac{HB - HA}{2R + HB + HA} = \frac{\tan \frac{Z_B + \delta_2 - Z_A - \delta_1}{2}}{\cot \frac{\gamma}{2}}$$

Buradan $\Delta h_{AB} = H_B - H_A$ çekilirse,

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = 2R \cdot \left(1 + \frac{H_A + H_B}{2R}\right) \cdot \frac{\tan \frac{Z_B + \delta_2 - Z_A - \delta_1}{2}}{\cot \frac{\gamma}{2}}$$

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = 2R \cdot \tan \frac{\gamma}{2} \cdot \left(1 + \frac{H_A + H_B}{2R}\right) \cdot \tan \frac{Z_B + \delta_2 - Z_A - \delta_1}{2}$$

γ küçük açı olduğundan

$$\tan \frac{\gamma}{2} = \frac{\frac{s}{2}}{R} = \frac{s}{2R} \Rightarrow 2R \cdot \tan \frac{\gamma}{2} = s$$

AB ışın yayı bir daire yayı olarak kabul edilirse $\delta_1 = \delta_2$ olur.

Ayrıca, $\frac{H_A + H_B}{2} = H_m$ denilir ve A ile B noktalarındaki işaret yükseklikleri de dikkate alınır,

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = s \cdot \left(1 + \frac{H_m}{R}\right) \cdot \tan \frac{Z_B - Z_A}{2} + t_A - t_B$$

şeklini alır. Noktalar arasındaki s uzaklığı ya da ortalama yükseklik H_m küçük ise parantez içindeki terim ihmal edilebilir. Bu durumda,

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = s \cdot \tan \frac{Z_B - Z_A}{2} + t_A - t_B$$

olur. Formüldeki Z_A ve Z_B açıları işaret tepesine indirgenmiş zenit açılarıdır. A noktasının yüksekliği biliniyorsa, B noktasının yüksekliği aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} = H_A + s \cdot \left(1 + \frac{H_m}{R}\right) \cdot \tan \frac{Z_B - Z_A}{2} + t_A - t_B$$

İşaret yükseklikleri dikkate alınmadan A ve B noktaları arasındaki yükseklik farklar ΔH_{AB} ve Δh_{BA} ,

$$\Delta H_{AB} = s \cdot \cot Z_A$$

$$\Delta H_{BA} = s \cdot \cot Z_B$$

biçiminde yazılabilir. Bu iki değerin ortalaması alınmak suretiyle,

$$\Delta H_{AB} = \frac{\Delta H_{AB} + (-\Delta H_{BA})}{2} = \frac{\Delta H_{AB} - \Delta H_{BA}}{2} = \frac{s \cdot \cot Z_A - s \cdot \cot Z_B}{2} = s \cdot \frac{\cot Z_A - \cot Z_B}{2}$$

elde edilir. İşaret yükseklikleri de dikkate alınırsa,

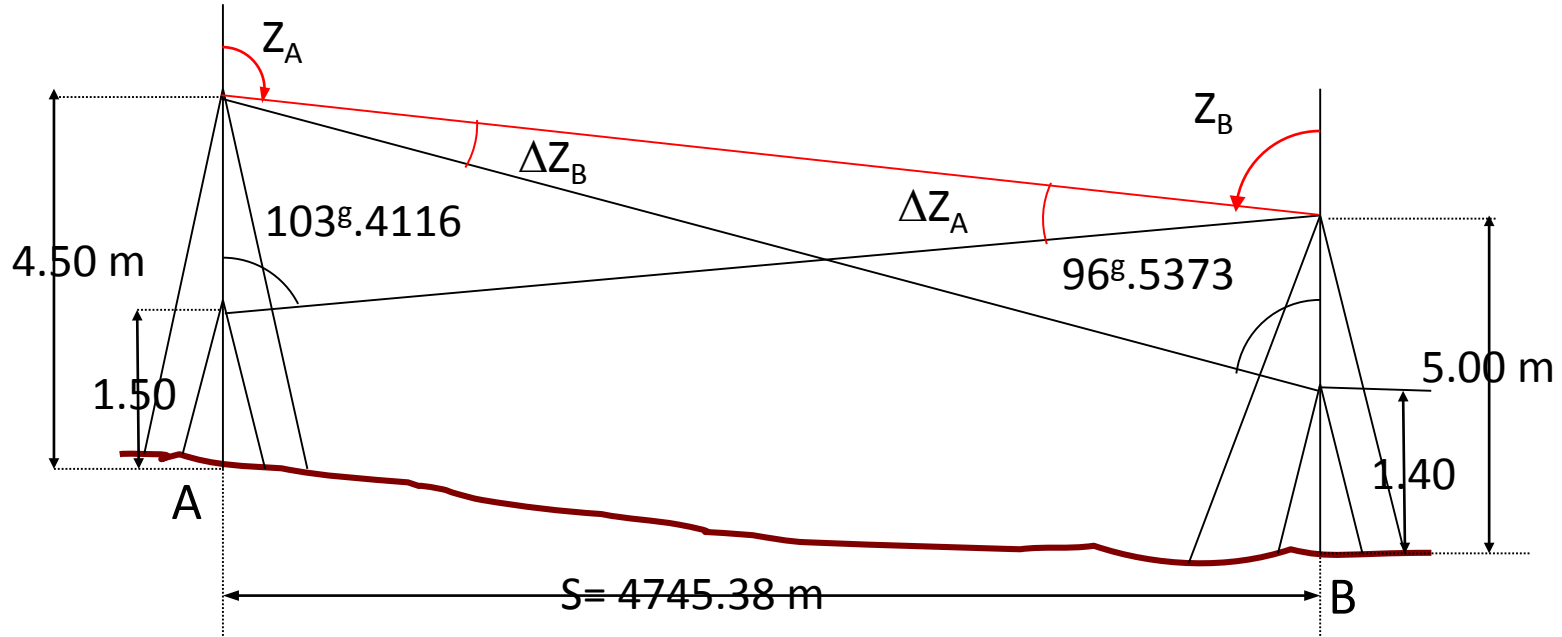
$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = s \cdot \frac{\cot Z_A - \cot Z_B}{2} + t_A - t_B$$

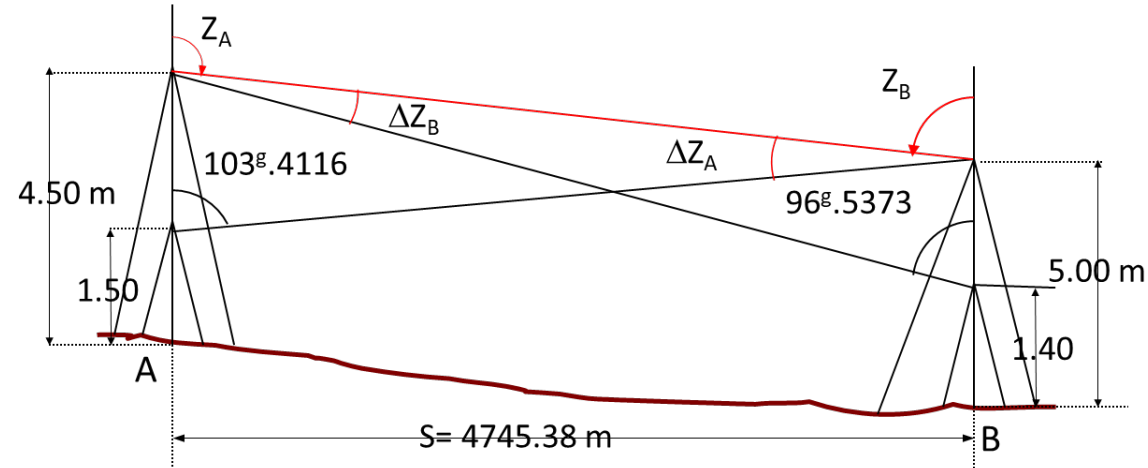
Yatay uzunluk yerine eğik uzunluk kullanılırsa;

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = D \cdot \frac{\cos Z_A - \cos Z_B}{2} + t_A - t_B$$

ÖRNEK-1

- A ve B noktaları arasında karşılıklı gözlem yapılmıştır. Aşağıdaki verilere göre;
- k kırılma (refraksiyon) katsayısını hesaplayınız.
 - $H_A = 2500.00$ m verildiğine göre, B noktasının yüksekliğini hesaplayınız.





$$\Delta Z_A = \frac{t_A - i_A}{S} \cdot \rho = \frac{4.50 - 1.50}{4745.38} \cdot 63.6620 = 0^g.0402$$

$$\Delta Z_B = \frac{t_B - i_B}{S} \cdot \rho = \frac{5.00 - 1.40}{4745.38} \cdot 63.6620 = 0^g.0483$$

$$Z_A = 103.4116 + \Delta Z_A = 103.4116 + 0.0402 = 103^g.4518$$

$$Z_B = 96.5373 + \Delta Z_B = 96.5373 + 0.0483 = 96^g.5856$$

a)

$$k = 1 - \frac{R}{S} \cdot \frac{Z_A + Z_B - 200^g}{\rho} = 1 - \frac{R}{S} \cdot \frac{103.4518 + 96.5856 - 200}{63.6620} = 1 - \frac{6373394}{4745.38} \cdot \frac{0.0374}{63.6620}$$

b)

$$k = 1 - 0.789 = 0.21$$

$$H_B = H_A + S \cdot \tan \frac{Z_B - Z_A}{2} + t_A - t_B$$

$$H_B = H_A + 44745.38 \cdot \tan \frac{96.5856 - 103.4518}{2} + 4.50 - 5.00$$

$$H_B = 2500.00 - 256.1525 - 0.50 = 2243.347 \text{ m}$$

$$H_B = H_A + S \cdot \left(1 + \frac{H_m}{R}\right) \cdot \tan \frac{Z_B - Z_A}{2} + t_A - t_B$$

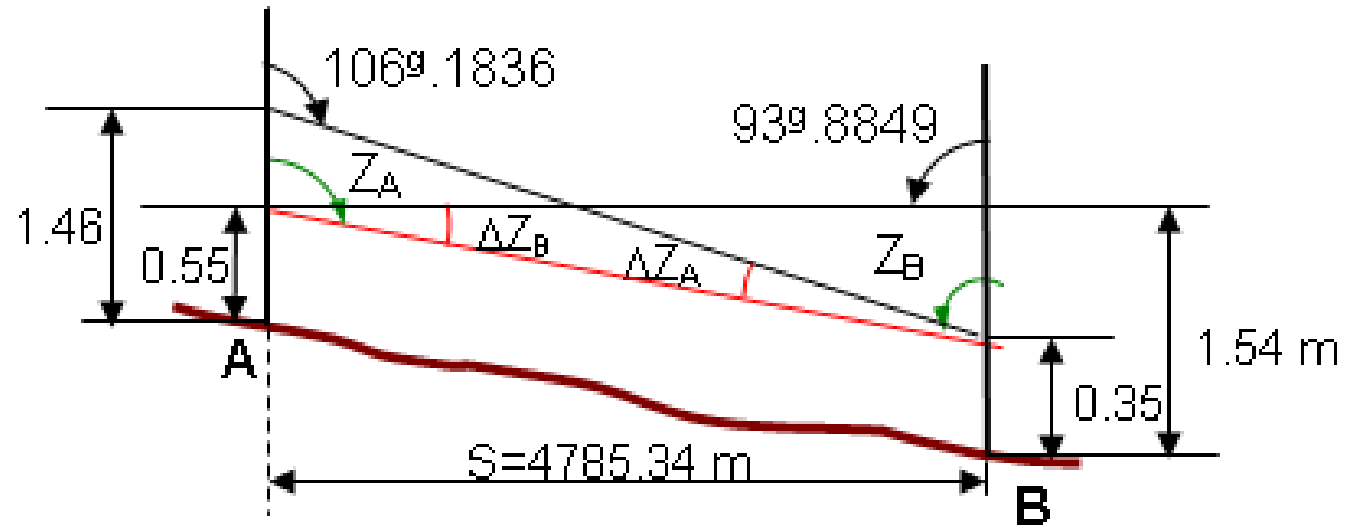
$$H_m = \frac{H_A + H_B}{2} = \frac{2500.00 + 2243.347}{2} = 2371.674 \text{ m}$$

$$H_B = 2500.00 + 4745.38 \cdot \left(1 + \frac{2371.674}{6373394}\right) \cdot \tan \frac{96.5856 - 103.4518}{2} + 4.50 - 5.00 =$$

$$H_B = 2500.00 - 256.248 - 0.50 = 2243.25 \text{ m}$$

ÖRNEK-2

A ve B noktaları arasında karşılıklı gözlem yapılıyor. $H_A=2000.00$ m olduğuna göre; B noktasının yüksekliğini ve k kırılma (refraksiyon) katsayısını bulunuz ($R=6373394$ m alınacaktır).



$$\Delta Z_A = \frac{i_A - t_A}{S} \cdot \rho = \frac{1.46 - 0.55}{4785.34} \cdot 63.6620 = 0^g.0121$$

$$\Delta Z_B = \frac{i_B - t_B}{S} \cdot \rho = \frac{1.54 - 0.35}{4785.34} \cdot 63.6620 = 0^g.0158$$

$$Z_A = 106.1836 - \Delta Z_A = 106.1836 - 0.0121 = 106^g.1715$$

$$Z_B = 96.5373 - \Delta Z_B = 93.8849 - 0.0158 = 93^g.8691$$

$$\text{a) } k = 1 - \frac{R}{S} \cdot \frac{Z_A + Z_B - 200^g}{\rho} = 1 - \frac{R}{S} \cdot \frac{106.1715 + 93.8691 - 200}{63.6620} = 1 - \frac{6373394}{4785.34} \cdot \frac{0.0406}{63.6620}$$

$$k = 1 - 0.849 = 0.15$$

$$\text{b) } H_B = H_A + S \cdot \tan \frac{Z_B - Z_A}{2} + t_A - t_B$$

$$H_B = H_A + 4785.34 \cdot \tan \frac{93.8691 - 106.1715}{2} + 0.55 - 0.35$$

$$H_B = 2000.00 - 463.817 + 0.20 = 1536.38 \text{ m}$$

$$H_B = H_A + S \cdot \left(1 + \frac{H_m}{R}\right) \cdot \tan \frac{Z_B - Z_A}{2} + t_A - t_B$$

$$H_m = \frac{H_A + H_B}{2} = \frac{2000.00 + 1536.38}{2} = 1768.19 \text{ m}$$

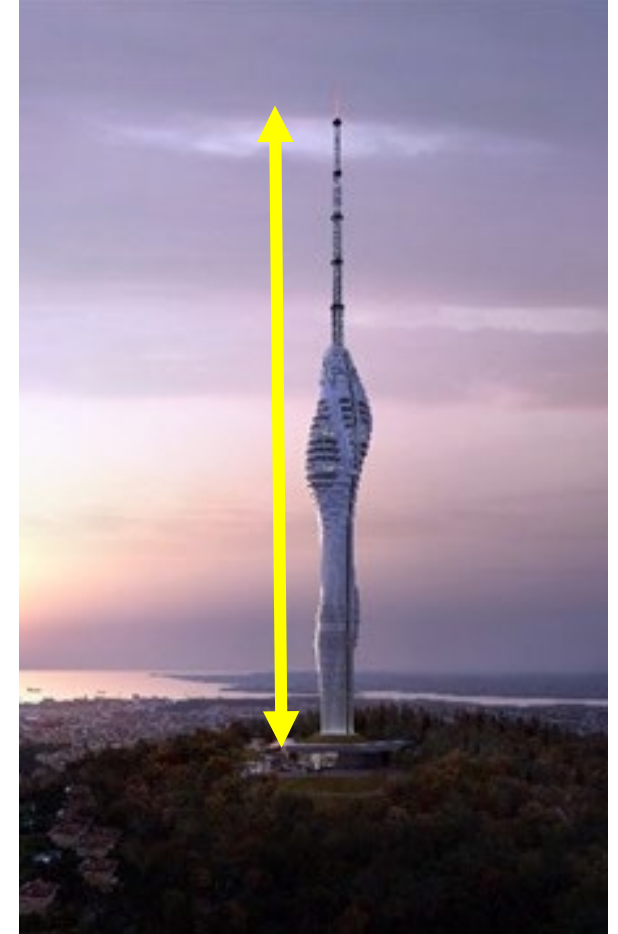
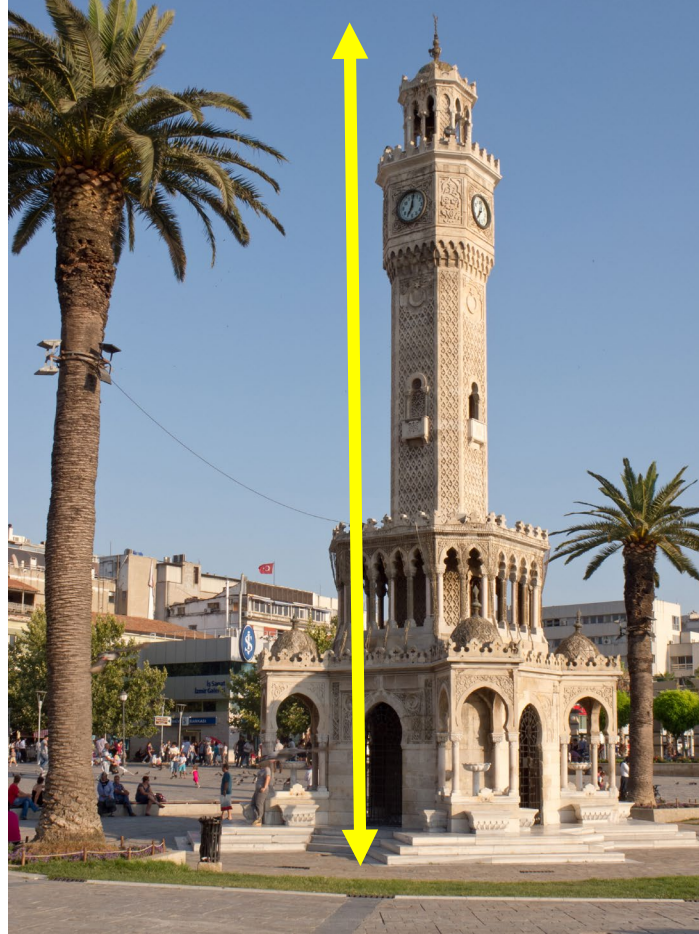
$$H_B = 2000.00 + 4785.34 \cdot \left(1 + \frac{1768.19}{6373394}\right) \cdot \tan \frac{93.8691 - 106.1715}{2} + 0.55 - 0.35$$

$$H_B = 2000.00 - 463.946 + 0.20 = 1536.25 \text{ m}$$

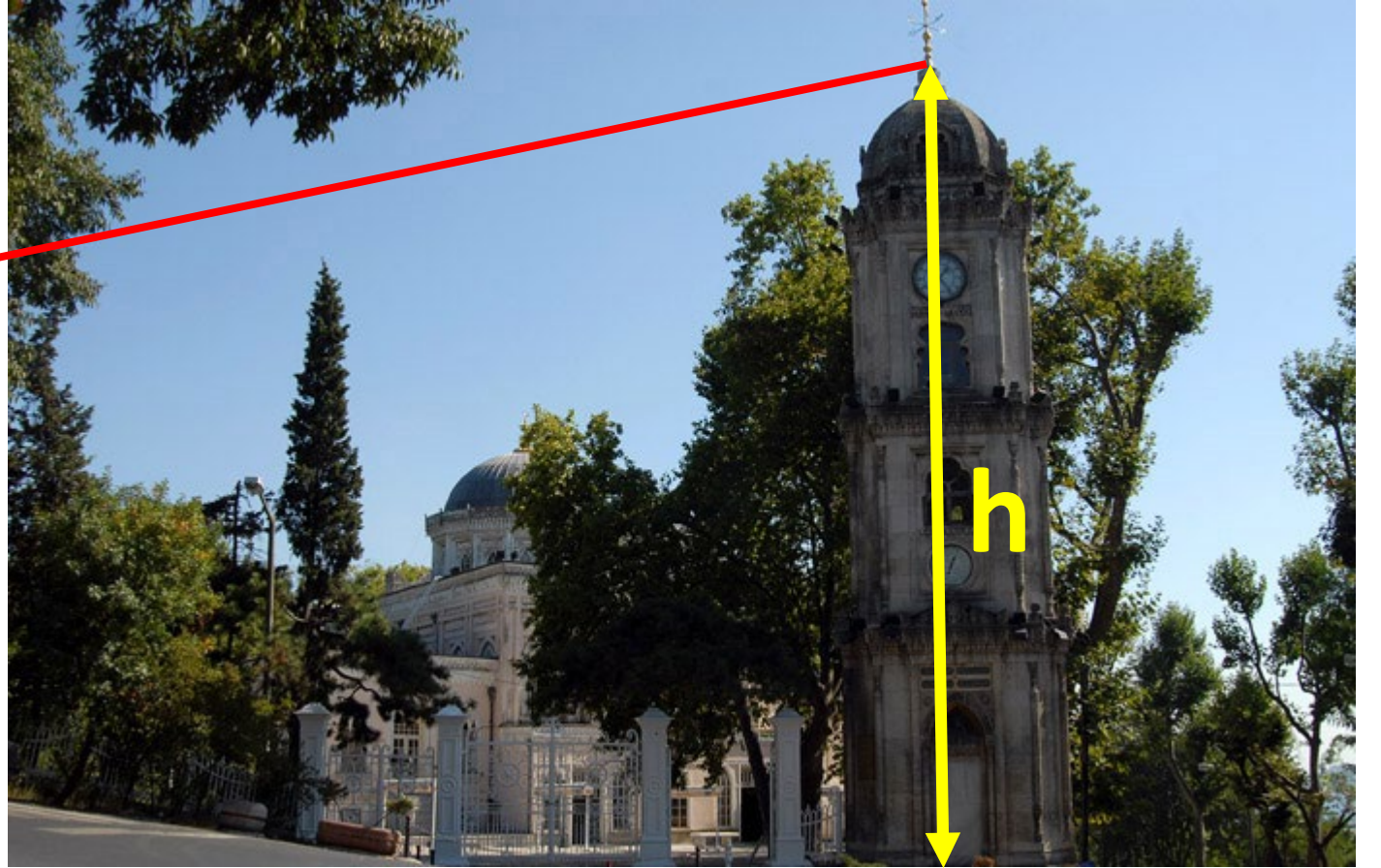
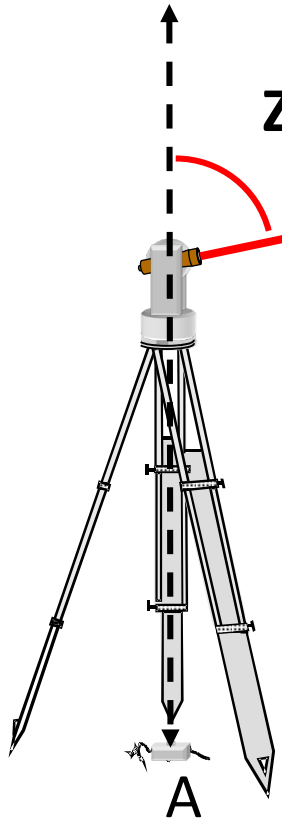
KULE YÜKSEKLİĞİ ÖLÇÜMÜ VE HESABI

9.BÖLÜM

Kule Yüksekliği

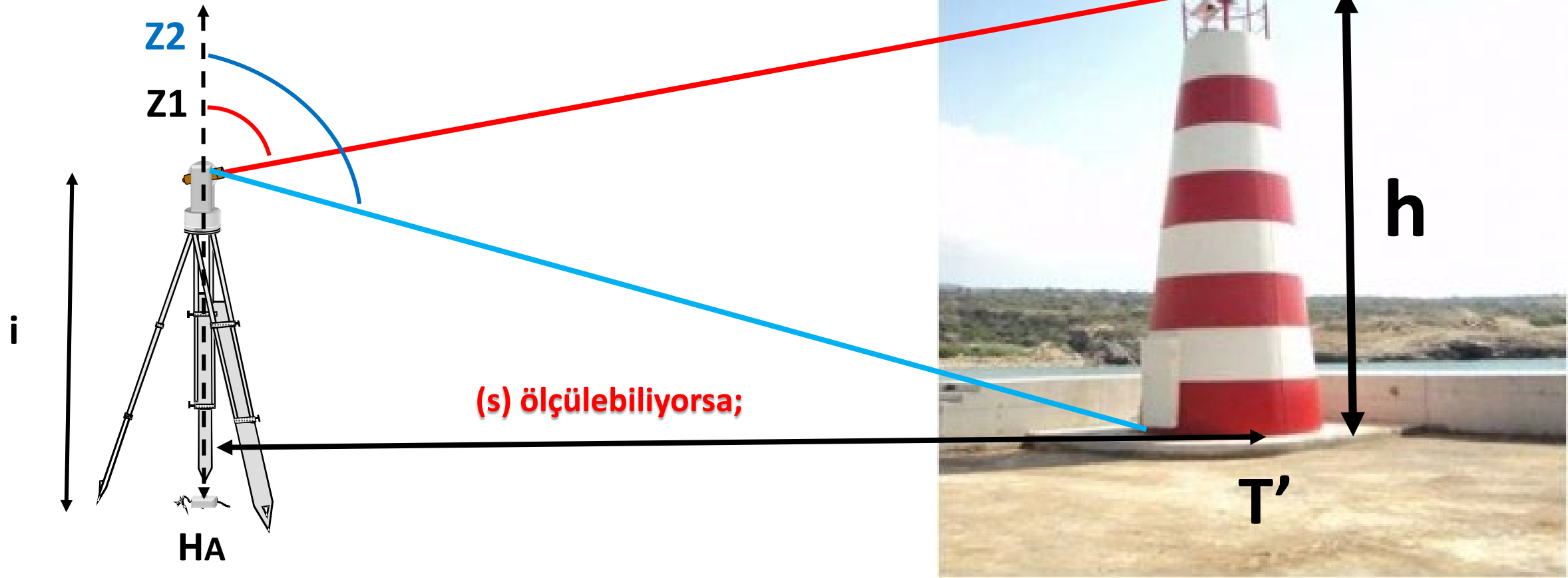


Kule Yüksekliği



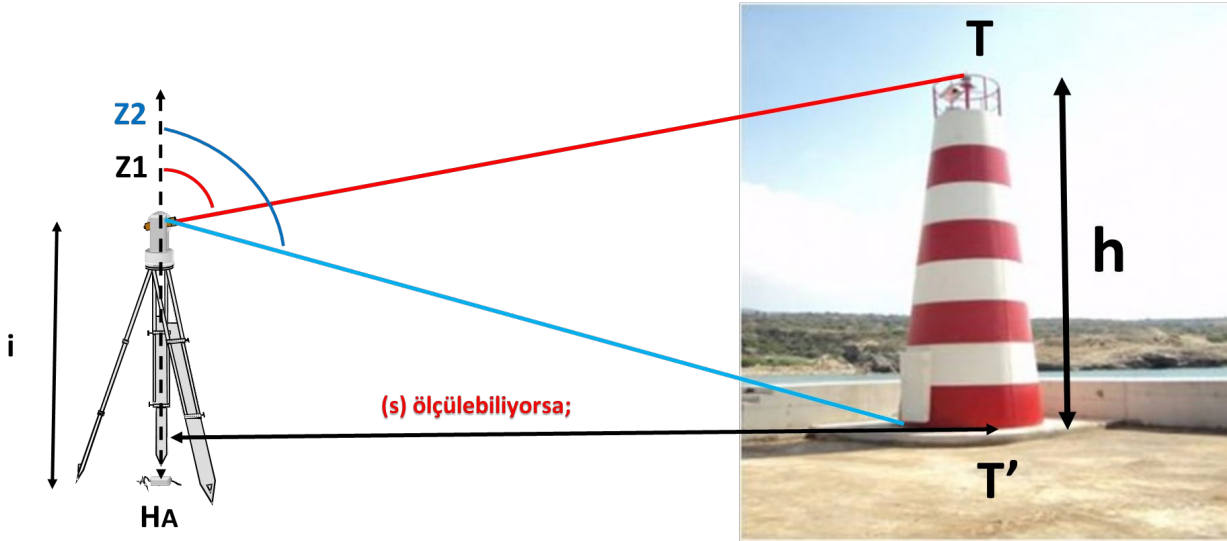
Kule Yüksekliği

Yatay uzunluk (s) ölçülebiliyorsa;



Kule Yüksekliği

Yatay uzunluk (s) ölçülebiliyorsa;



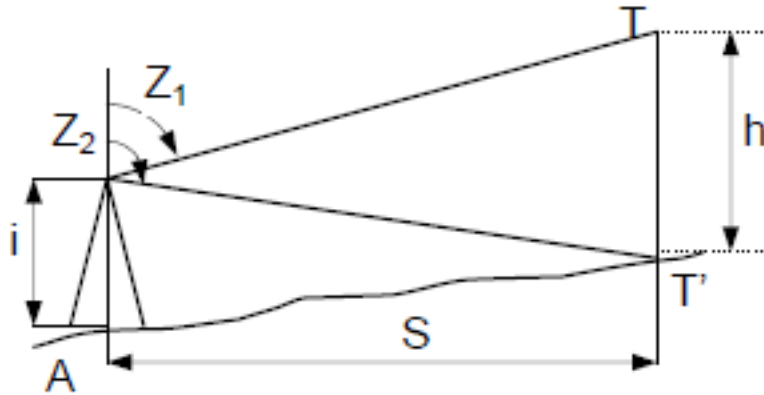
$$HT = HA + i + S \cdot \cot Z1$$

$$HT' = HA + i + S \cdot \cot Z2$$

$$h = HT - HT' = S (\cot Z1 - \cot Z2)$$

Kule Yüksekliği

ÖRNEK-1



$$Z_1 = 95^{\circ}.3674$$

$$Z_2 = 102^{\circ}.1826$$

$$S = 75.14 \text{ m}$$

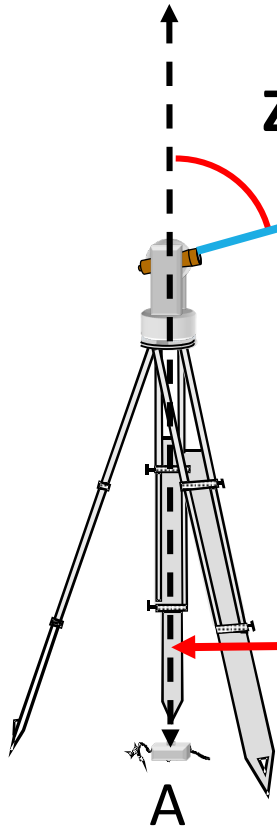
$$h = ?$$

$$h = S (\cot Z_1 - \cot Z_2) = 75.14 \cdot (\cot 95.3674 - \cot 102.1826) = 8.0546 \text{ m}$$

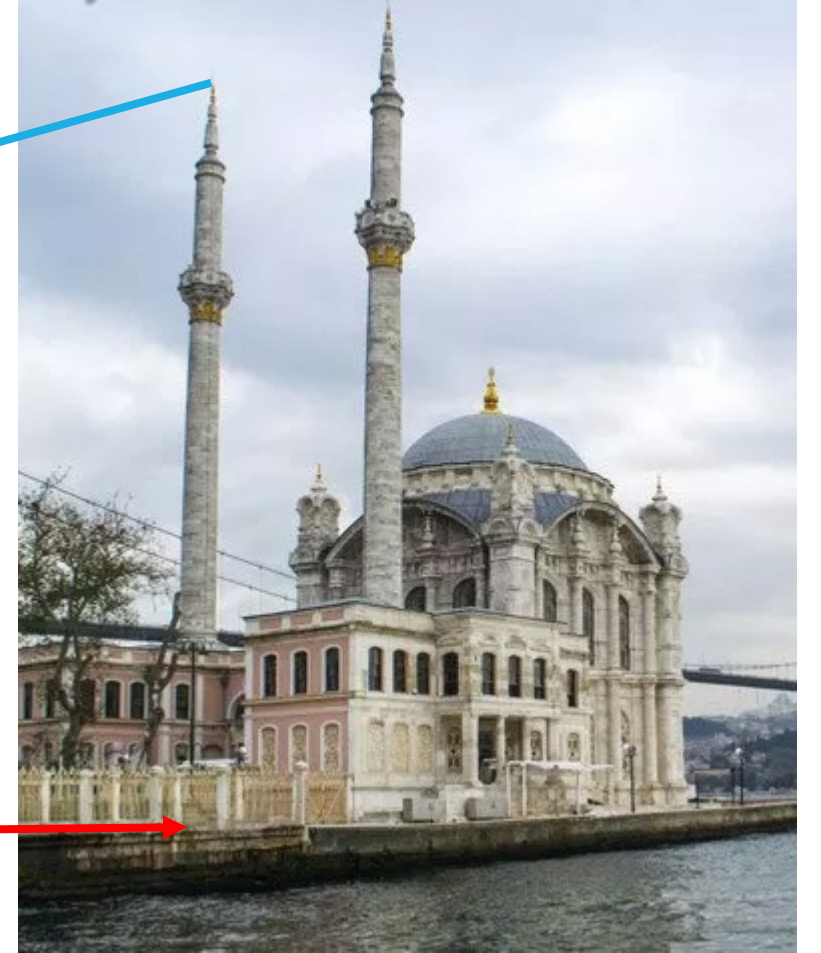
$$h = 8.05 \text{ m}$$

Kule Yüksekliği

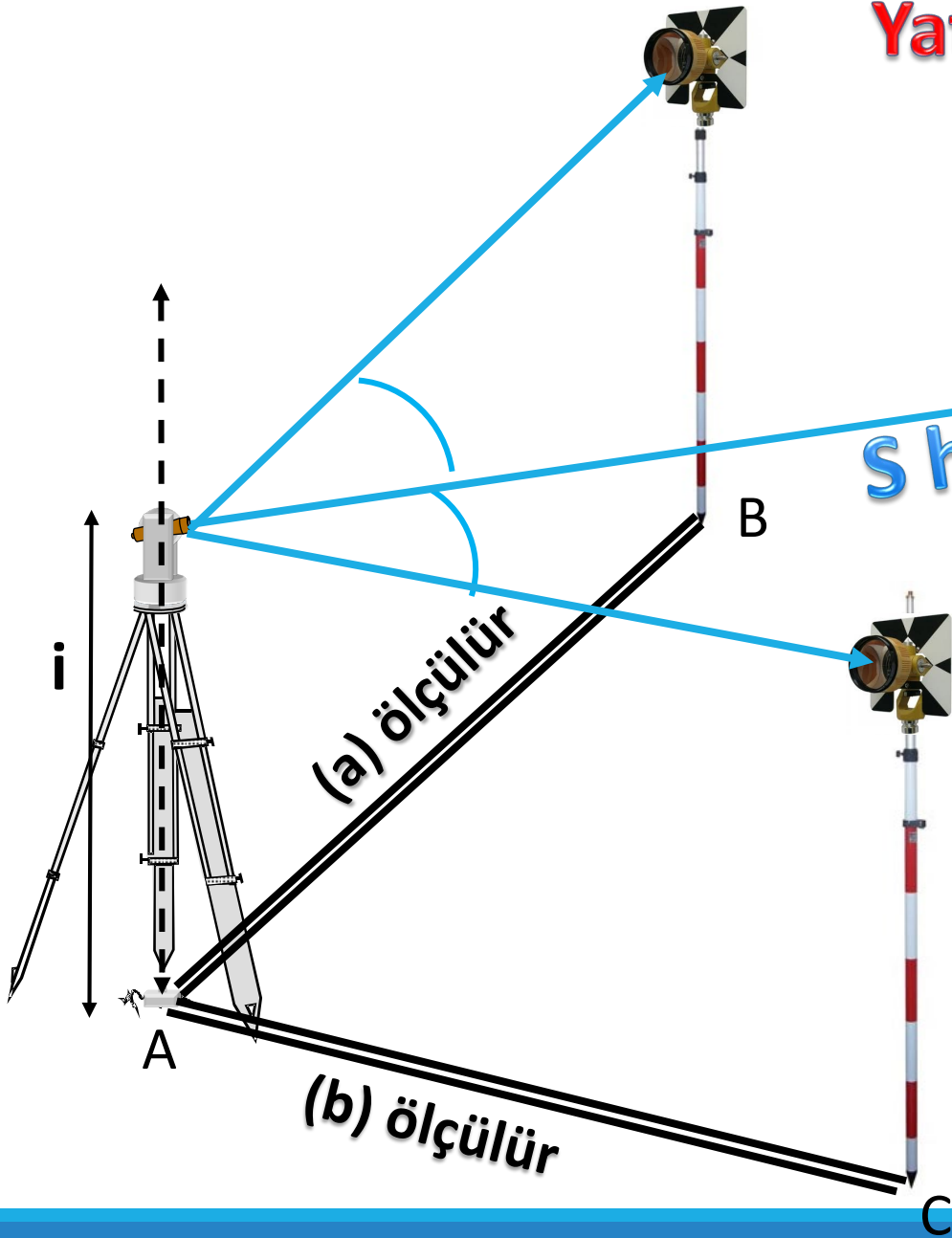
Yatay uzunluk (s) ölçülemiyorsa;



(s) ölçülemiyorsa;

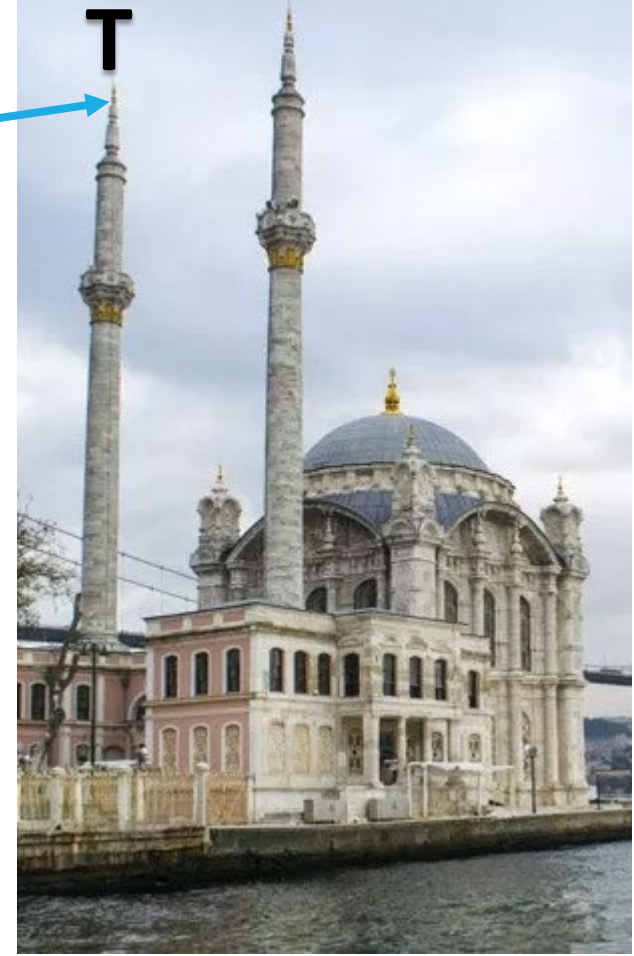


Yatay uzunluk (s) hesabı



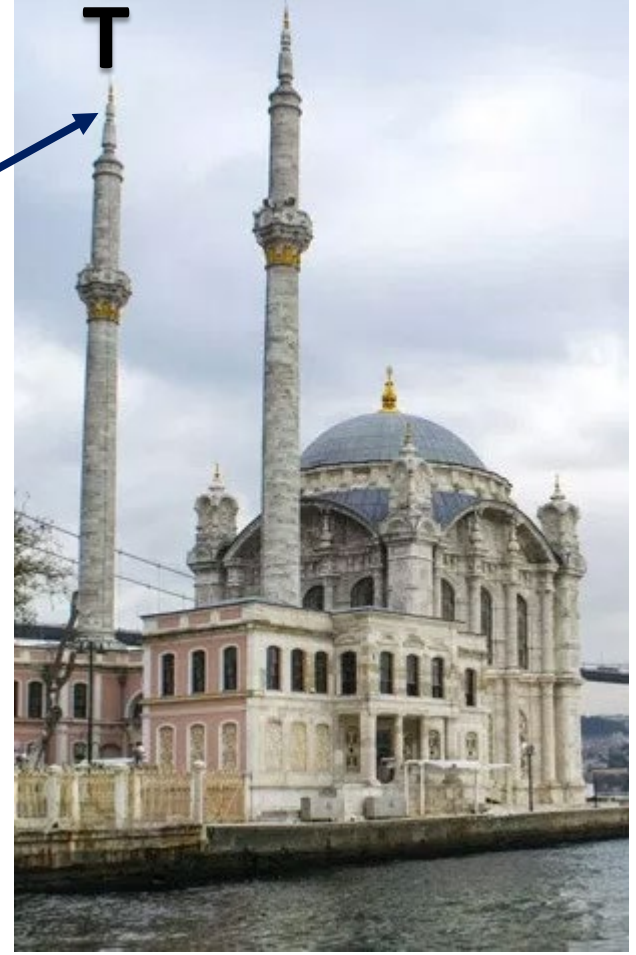
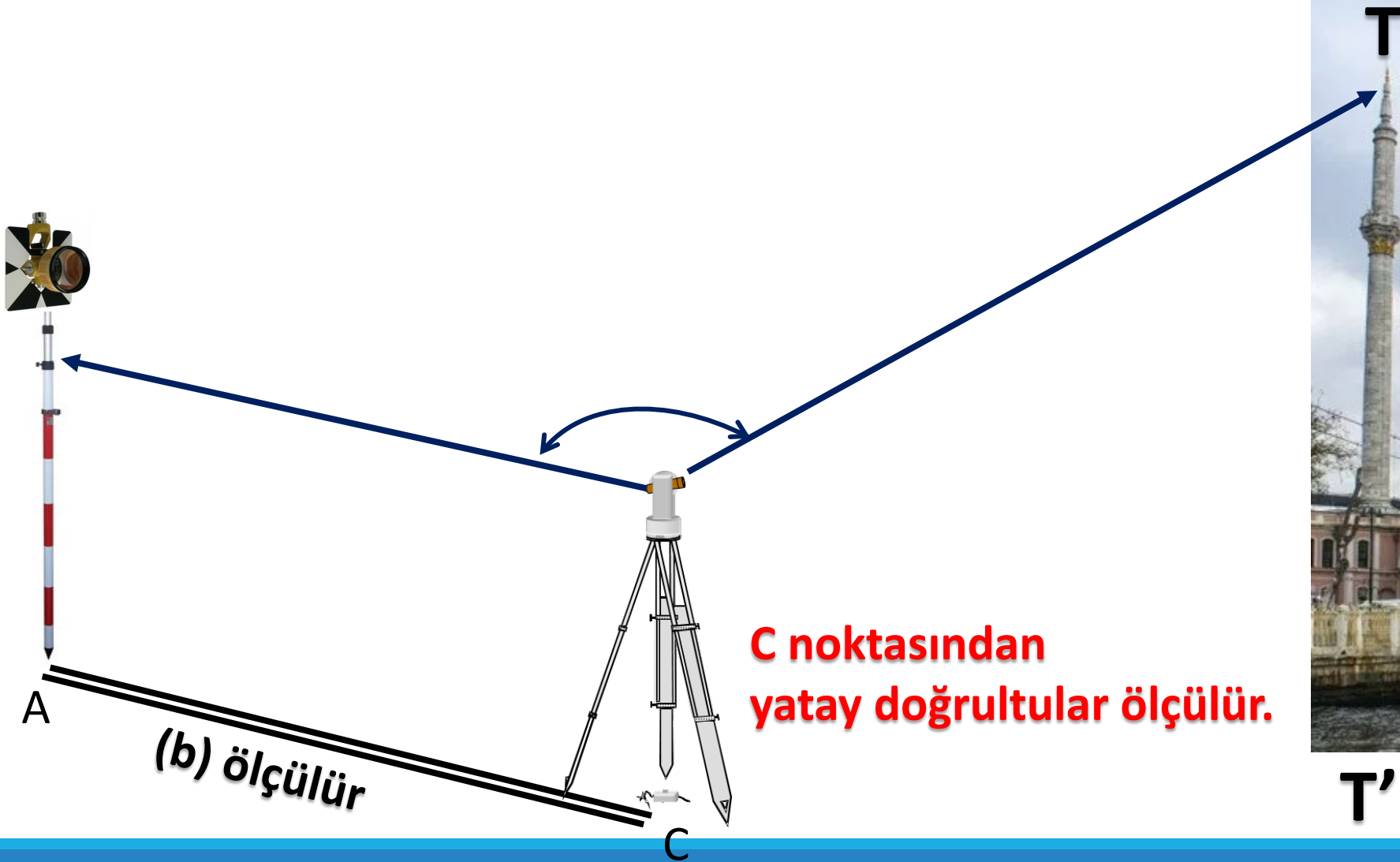
s hesaplanır.

A noktasından
yatay doğrultular ölçülür.
a ve b kenarları ölçülür.

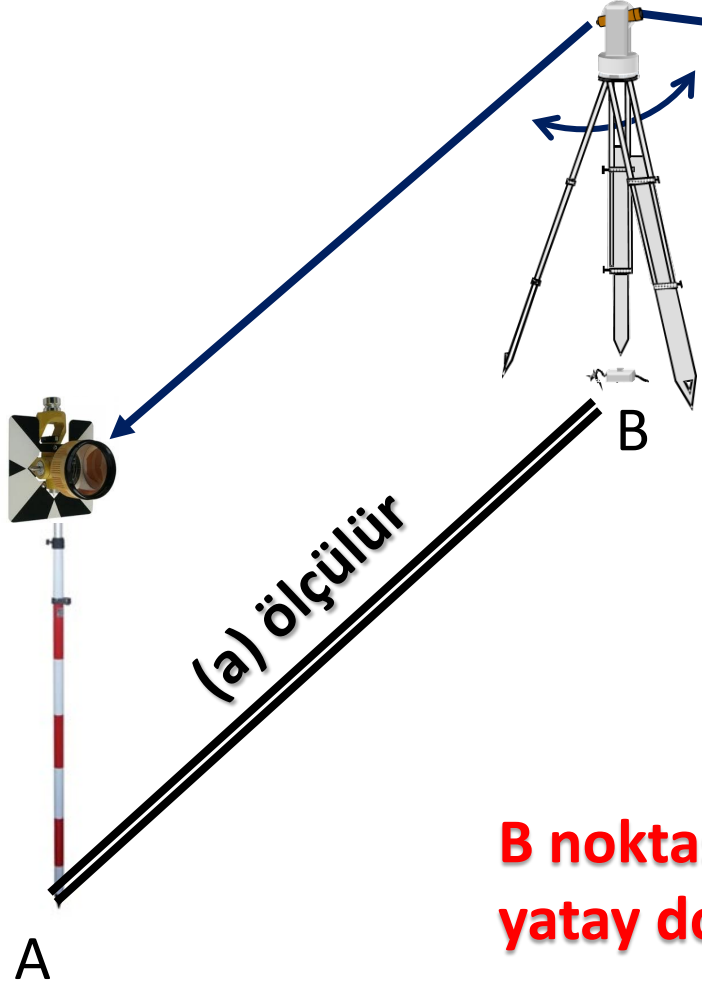


T'

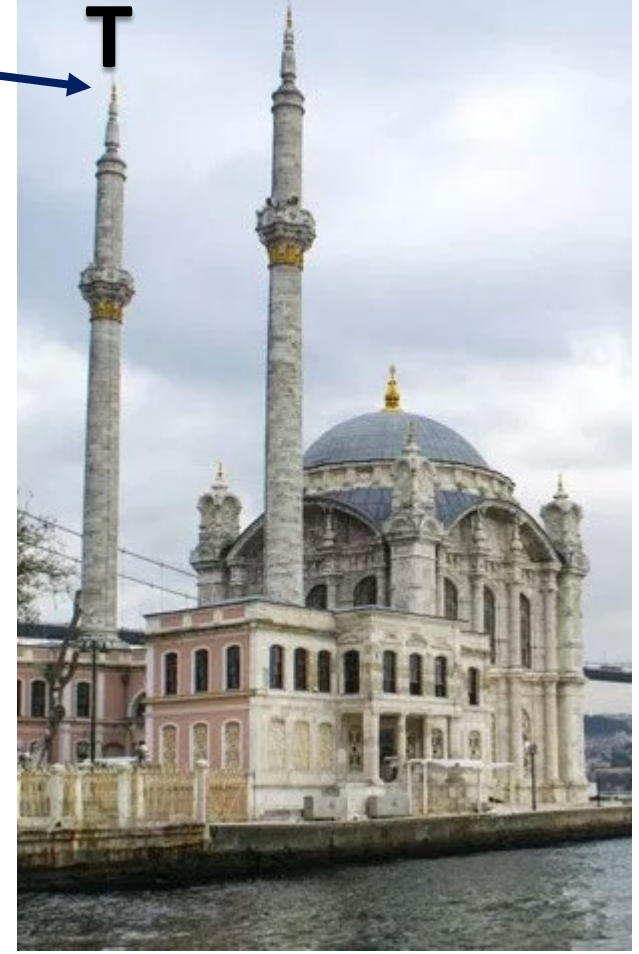
Yatay uzunluk (s) hesabı



Yatay uzunluk (s) hesabı

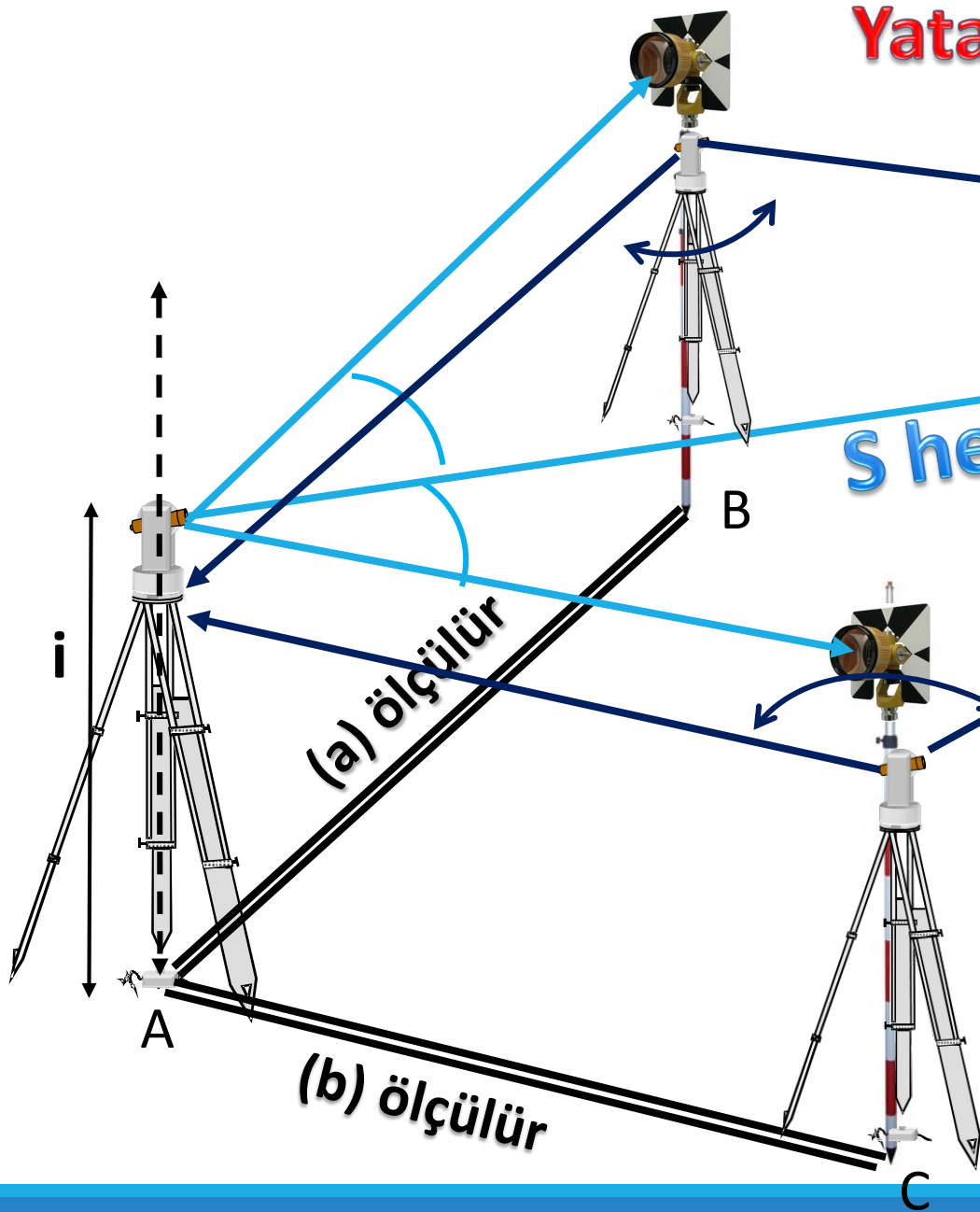


**B noktasından
yatay doğrultular ölçülür.**

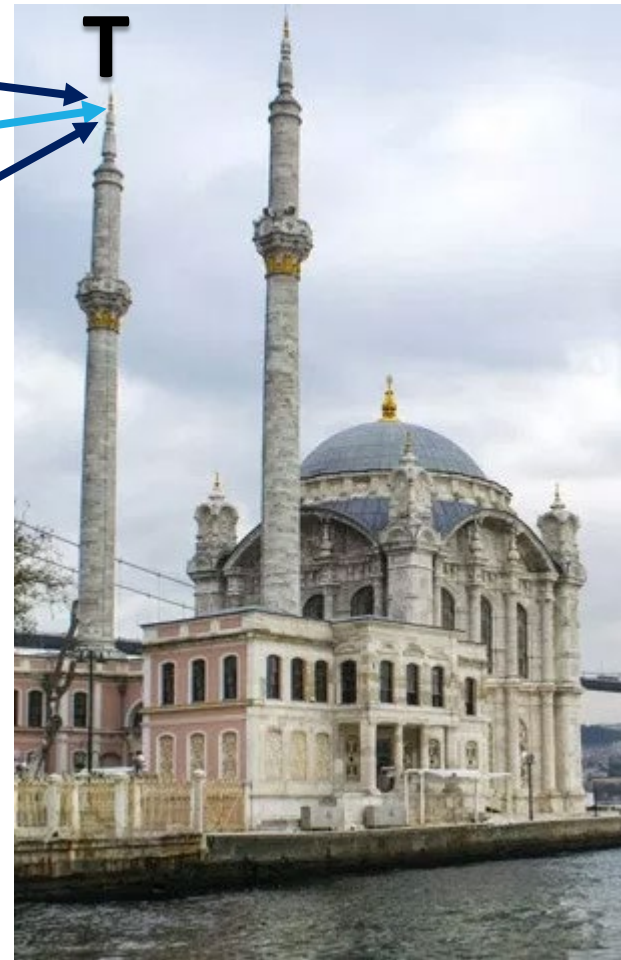


T'

Yatay uzunluk (s) hesabı



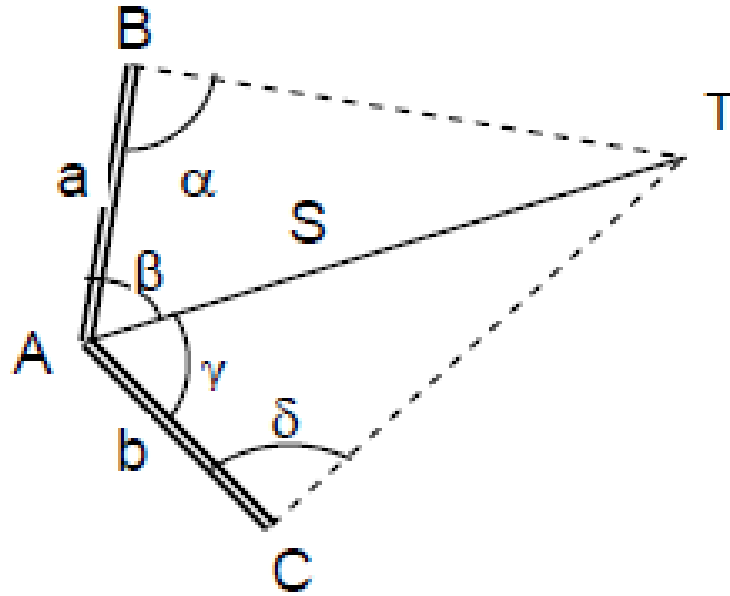
A, B ve C noktalarından
yatay doğrultular ölçülür.
a ve b kenarları ölçülür.



T'

Kule Yüksekliği

Yatay uzunluk (s) ölçülemiyorsa;



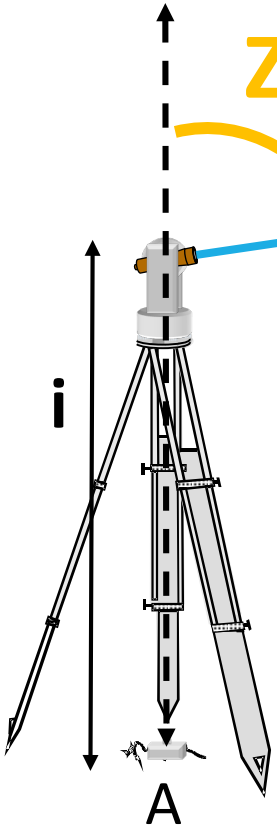
SİNÜS TEOREMİ

$$ABT \rightarrow S = a \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$

$$ATC \rightarrow S = b \cdot \frac{\sin \delta}{\sin(\gamma + \delta)}$$

S hesaplanır.

Kule Yüksekliği



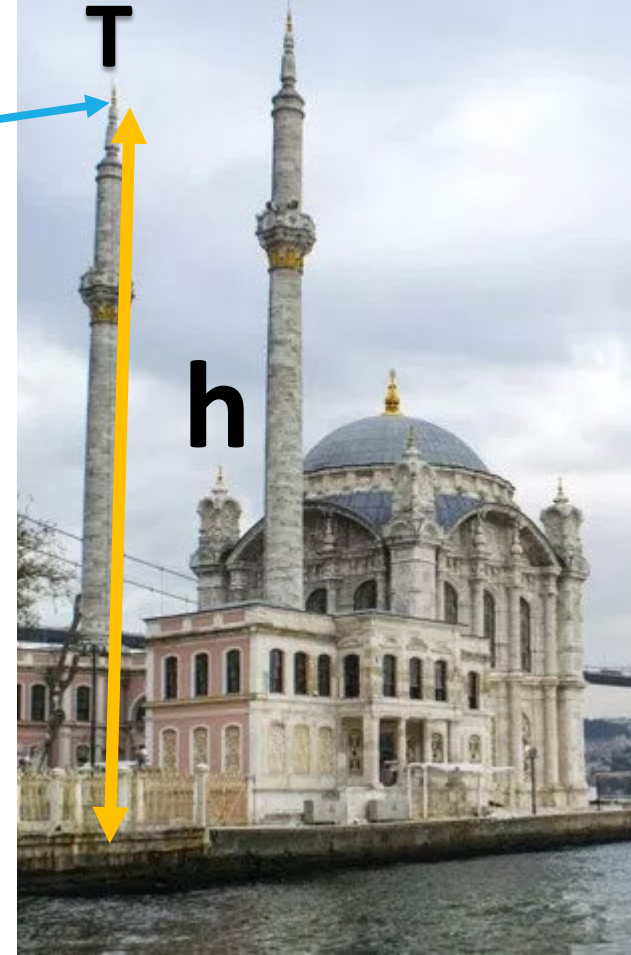
Düşey açı (Z) silsile yöntemiyle ölçülür.

T' noktasına kot verilir.

$$HT = HA + i + S \cdot \cot Z$$

$$h = HT - HT'$$

T'



Silsile Yöntemi İle Düşey Açı Ölçümü

(Hatırlatma Ölçme Bilgisi – 1)

DN	BN	Silsile No	Dürbün Durumu	Okunan Düşey Açı	δ (mgon)	Z 400-Z	Ortalama Z
A	B	1	I	95.7718	-3	95.7688	95.7689
			II	304.2342	-3	304.2312	
				400.0060		400.0000	
		2	I	95.7730	-4	95.7690	
			II	304.2350	-4	304.2310	
				400.0080		400.0000	
	C	1	I	107.3641	-3.5	107.3606	107.3601
			II	292.6429	-3.5	292.6394	
				400.0070		400.0000	
		2	I	107.3623	-2.7	107.3596	
			II	292.6431	-2.7	292.6404	
				400.0054	$\delta_{ort}=-3.3$	400.0000	

Düşey Açı Ölçümünde Ölçüm Belirsizliği

(Hatırlatma Ölçme Bilgisi – 1)

DN	BN	Silsile No	Dürbün Durumu	Okunan Düşey Açı	δ (mgon)	Z 400-Z	Ortalama z	v_{δ} (mgon)	V_{δ}^2 (mgon)
A	B	1	I	95.7718	-3	95.7688	95.7689	-0.3	0.9
			II	304.2342	-3	304.2312			
				400.0060		400.0000			
		2	I	95.7730	-4	95.7690		0.7	4.9
			II	304.2350	-4	304.2310			
				400.0080		400.0000			
	C	1	I	107.3641	-3.5	107.3606	107.3601	0.2	0.4
			II	292.6429	-3.5	292.6394			
				400.0070		400.0000			
		2	I	107.3623	-2.7	107.3596		-0.6	3.6
			II	292.6431	-2.7	292.6404			
				400.0054	$\delta_{ort}=-3.3$	400.0000			

$$v_{\delta_i} = \frac{[\delta_i]}{n \cdot s} - \delta_i = \delta_{ort} - \delta_i$$

Düşey Açı Ölçümünde Ölçüm Belirsizliği (Hatırlatma Ölçme Bilgisi – 1)

Bir silsile ölçülen düşey açının standart sapması

$$s_z = \sqrt{\frac{[v_\delta^2]}{n \cdot k - 1}} = \sqrt{\frac{9.8}{2 \cdot 2 - 1}} = 0.57 \text{ mgon}$$

n silsile ölçülen düşey açının standart sapması

$$S_z = \frac{s_z}{\sqrt{n}} = \frac{0.57}{\sqrt{2}} = 0.41 \text{ mgon}$$

u_z = Rastlantısal Hata + Sistematik Hata

$$u_z = \delta_R + \delta_S$$

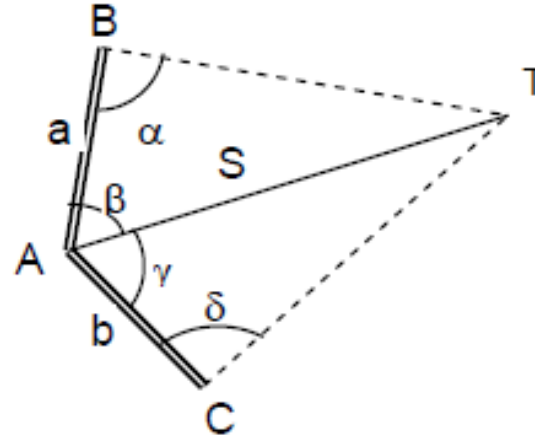
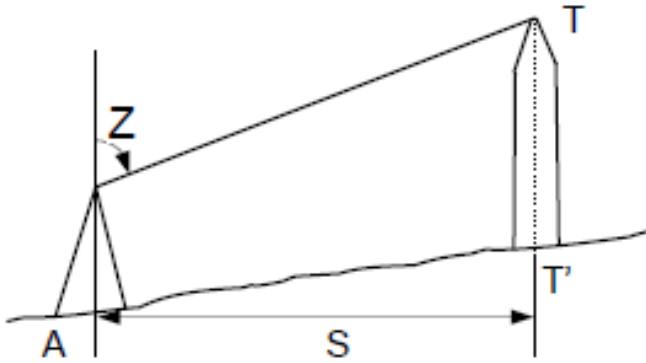
$$\delta_S = 0$$

$$u_z = \delta_R = S_z$$

$$u_z = 0.41 \text{ mgon} \quad \%68 \text{ Güven alanı}$$

Kule Yüksekliği

ÖRNEK-2



$$a = 28.15 \text{ m}$$

$$\alpha = 75^{\circ}.1428$$

$$b = 23.90 \text{ m}$$

$$\beta = 67.3920$$

$$Z = 95^{\circ}.1686$$

$$\gamma = 71.2675$$

$$i = 1.50 \text{ m}$$

$$\delta = 80.4750$$

$$H_A = 101.00 \text{ m}$$

$$H_T = 101.95 \text{ m}$$

$$h = ?$$

$$S = a \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} = 33.162 \text{ m}$$

$$S = b \cdot \frac{\sin \delta}{\sin(\gamma + \delta)} = 33.142 \text{ m}$$

$$S_{\text{ort}} = 33.152 \text{ m}$$

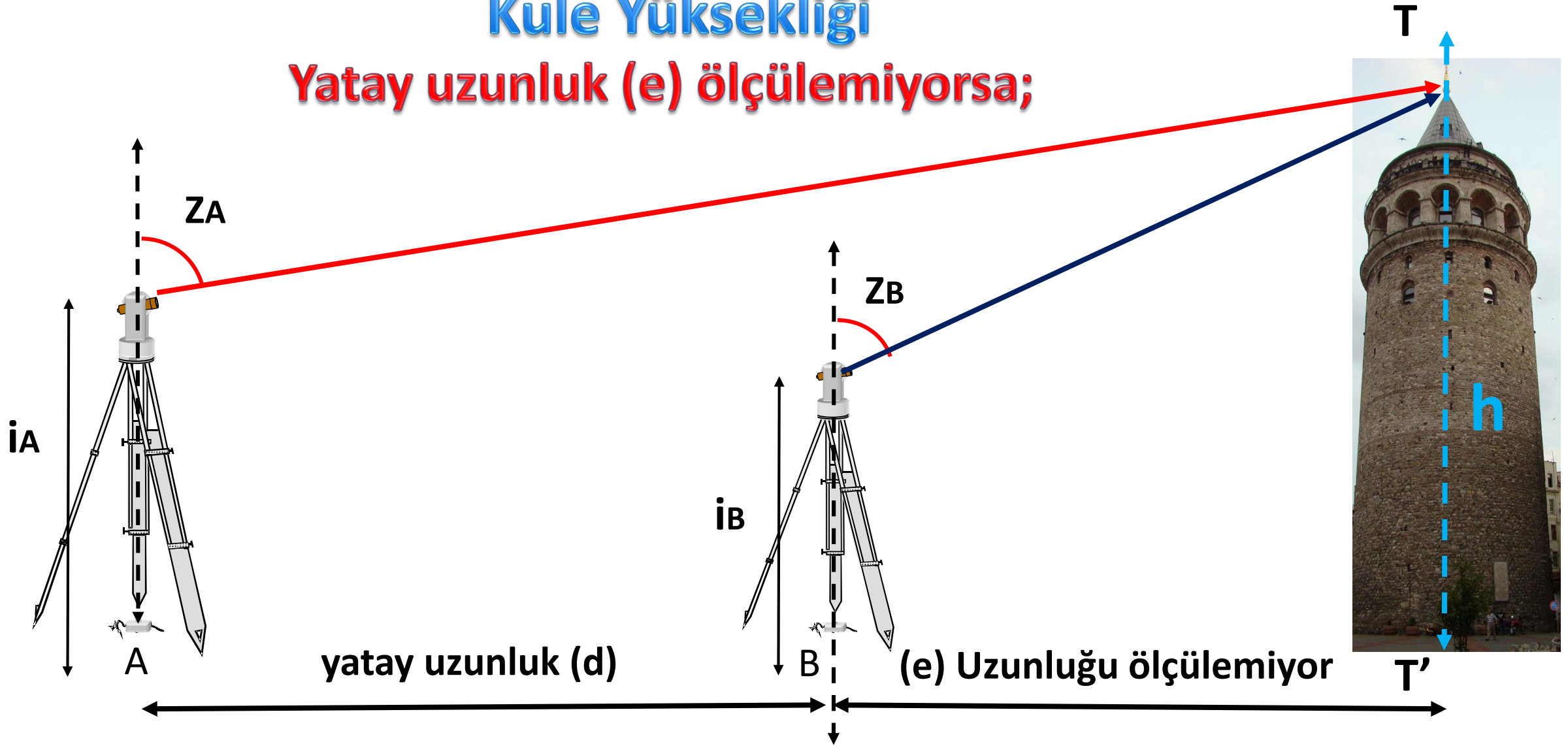
$$H_T = H_A + 1.50 + S \cdot \cot Z = 101.00 + 1.50 + 33.152 \cdot \cot 95^{\circ}.1686 =$$

$$= 101.00 + 1.50 + 2.52 = 105.02 \text{ m}$$

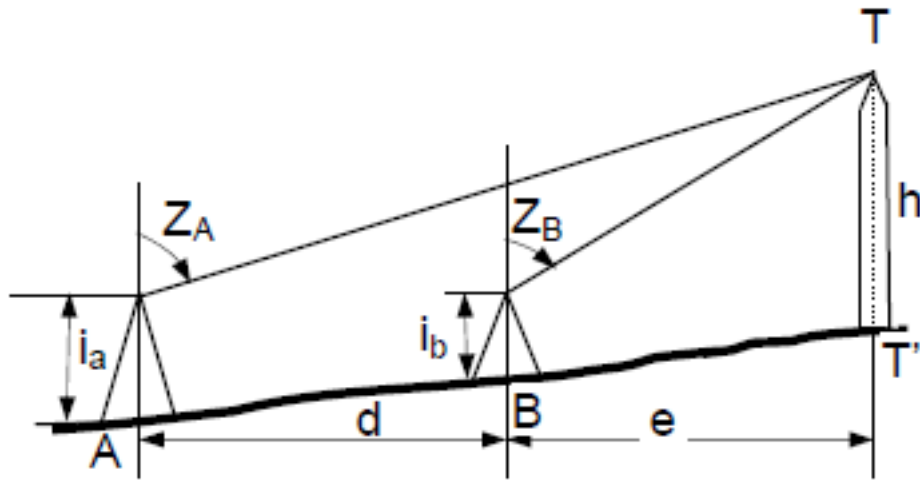
$$h = H_T - H_T = 105.02 - 101.95 = 3.07 \text{ m}$$

Kule Yüksekliği

Yatay uzunluk (e) ölçülemiyorsa;



Kule Yüksekliği



$$H_T = H_A + i_a + (d + e) \cot Z_A$$

$$H_T = H_B + i_b + e \cot Z_B$$

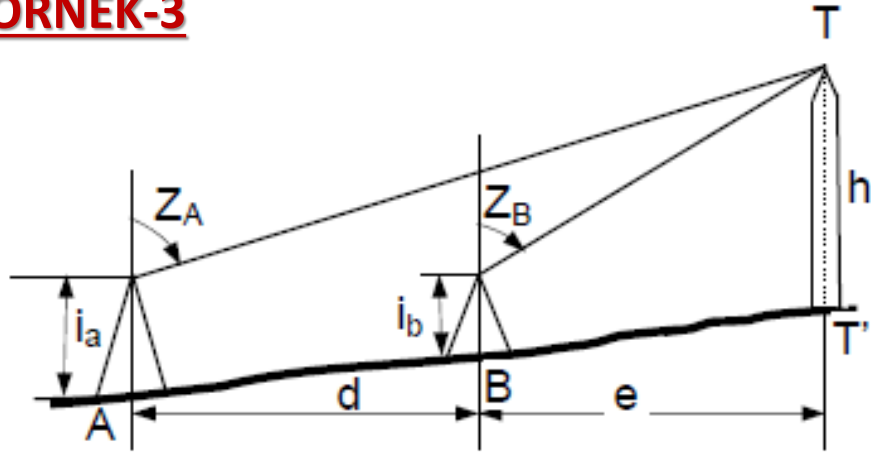
$$H_A + i_a + (d + e) \cot Z_A = H_B + i_b + e \cot Z_B$$

$$e \cot Z_A - e \cot Z_B = H_B + i_b - H_A - i_a - d \cot Z_A$$

$$e = \frac{H_B - H_A + i_b - i_a - d \cdot \cot Z_A}{\cot Z_A - \cot Z_B}$$

Kule Yüksekliği

ÖRNEK-3



$$Z_A = 82^{\circ}.1694$$

$$i_a = 1.55 \text{ m}$$

$$Z_B = 53^{\circ}.4961$$

$$i_b = 1.42 \text{ m}$$

$$H_A = 100.00 \text{ m}$$

$$d = 42.76 \text{ m}$$

$$H_B = 102.15 \text{ m}$$

$$h = ?$$

$$H_{T'} = 105.24 \text{ m}$$

$$e = \frac{H_B - H_A + i_b - i_a - d \cdot \cot Z_A}{\cot Z_A - \cot Z_B} = \frac{102.15 - 100.00 + 1.42 - 1.55 - 42.76 \cdot \cot 82.1694}{\cot 82.1694 - \cot 53.4961}$$

$$e = \frac{-10.27963822}{-0.6081415692} = 16.903 \text{ m}$$

$$H_T = H_A + i_a + (d + e) \cdot \cot Z_A$$

$$H_T = H_B + i_b + e \cdot \cot Z_B$$

$$H_A + i_a + (d + e) \cdot \cot Z_A = H_B + i_b + e \cdot \cot Z_B$$

$$\text{Hesap} \rightarrow H_T = 100.00 + 1.55 + (42.76 + 16.90) \cdot \cot 82.1694 = 118.712 \text{ m}$$

$$\text{Kontrol} \rightarrow H_T = 102.15 + 1.42 + 16.90 \cdot \cot 53.4961 = 118.709 \text{ m}$$

$$h = H_T - H_{T'} = 118.71 - 105.24 = 13.47 \text{ m}$$