

8.BÖLÜM

YÜKSEKLİK ÖLÇMELERİ

8.1 Tanım

Bir noktanın yüksekliği (kotu) , o noktanın ortalama deniz yüzeyine veya kabul edilen itibari bir yatay yüzeyine olan düşey uzaklığıdır. Buradaki düşey deyimini çekül doğrultusu anlamındadır. Yatay ölçülerde belirli büyüklükteki alanları düzlem kabul etmek mümkün ise de, yükseklik ölçülerinde yerin küreselliğinin dikkate alınması gerekir. Bu dikkate alma ya ölçü sırasında ya da hesap sırasında olur.

Uygulamada çoğunlukla noktaların yükseklikleri ölçülmeyp noktalar arasındaki yükseklik farkları belirlenmektedir. Belirli noktalar arasındaki yükseklik farklarının veya bu noktalarının yüksekliklerinin bulunması için yapılan ölçme ve hesap işlemine **yükseklik ölçüsü** denilmektedir. Belirlenen yükseklik farkları yüksekliği önceden belli olan diğer noktaların yüksekliklerine eklenerek ya da çıkarılarak diğer noktaların yükseklikleri bulunur.

Yükseklik ölçmeleri üç bölümde incelenebilir.

- 1) Geometrik Yükseklik Ölçüsü
- 2) Trigonometrik Yükseklik Ölçüsü
- 3) Barometrik Yükseklik Ölçüsü

Geometrik yükseklik ölçüsüne **Nivelman** adı verilir. Nivelmanın temel ilkesi, ölçü konusunun üzerinde oluşturulan bir yatay düzlemde olan düşey uzaklıkların ölçülmesidir. Düşey uzaklıkların farkı noktalar arasındaki yükseklik farkına eşittir.

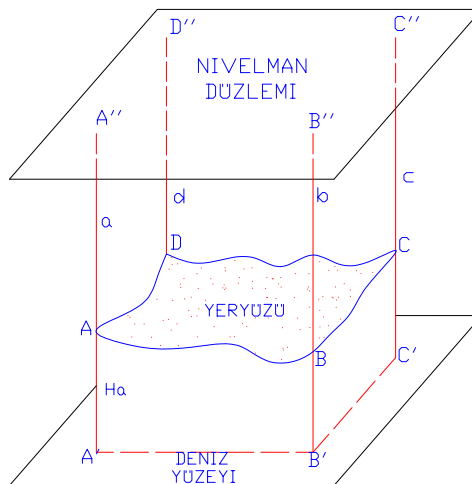
Nokta yüksekliğinin belirlenmesinde kotu bilinen noktadan yararlanılır. Şekilde görüldüğü gibi A arazi noktasının denizden yüksekliği H_a , oluşturulan yatay düzlemde A,B,C,D arazi noktaları arasındaki farklarda a,b,c,d ise, yatay düzlemin kotu (H_a+a) olduğundan,

$$B \text{ noktasının kotu } H_b = H_a + a - b$$

$$C \text{ noktasının kotu } H_c = H_a + a - c$$

$$D \text{ noktasının kotu } H_d = H_a + a - d$$

şeklinde hesaplanır.



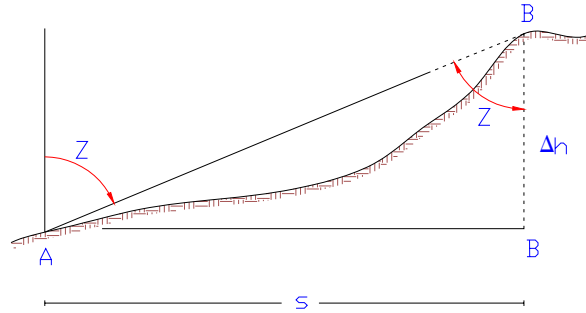
Deniz Yüzeyi, Yeryüzü ve Nivelman Düzlemi

Trigonometrik yükseklik ölçüsünde ise, noktaları bağlayan doğru parçasının yatay ve düşey izdüşümlerinin oluşturduğu dik üçgenlerden yararlanılır. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi ölçülen elemanlar noktalar arasındaki S yatay mesafesi ve Z Düşey açısıdır.

Ölçülen elemanlar yardımı ile A ve B noktaları arasındaki yükseklik farkı;

$$H_b - H_a = \Delta h = S \cdot \cotg Z$$

bağıntısı ile hesaplanır.



Trigonometrik Yükseklik Ölçüsü

Barometrik yükseklik ölçüsünde ise yükseğe çıkıldıkça hava basıncının azalması fiziksel özelliğinden yararlanılır.

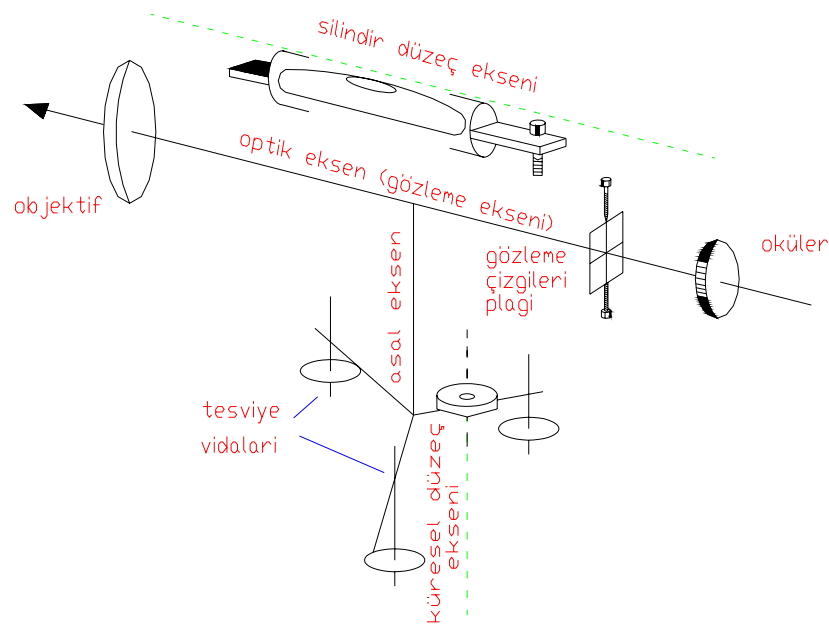
Yöntemlerden hangisinin kullanılacağı işten istenen hasiyete bağlıdır. Geometrik yükseklik ölçüsünün hassasiyeti $\pm 1\text{mm}-10\text{mm/km}$, Trigonometrik yükseklik ölçüsünün hassasiyeti $\pm 1\text{cm}-10\text{cm/km}$, barometrik yükseklik ölçüsünün hassasiyeti $\pm 1\text{m}-3\text{m}$ arasındadır. Harita alımı işlerinde ve projelerin uygulanmasında genellikle geometrik ve trigonometrik yükseklik ölçüsü kullanılır. Barometrik yükseklik ölçüsü ise daha çok istikşaf çalışmalarında kullanılır.

8.2 Geometrik Yükseklik Ölçüsü

Geometrik yükseklik ölçüsü, Nivelman olarak da isimlendirilir. Nivelman ölçüsünde şu aletler kullanılır. Nivo, Mira, Mira Düzecleri, Mira Altlıkları ve Destekleri kullanılır.

8.2.1 Nivolar

Nivolar bir sıvı yüzeyinin yataylığı prensibinden faydalanılarak yapılmış ve bu amaçla hassas bir silindirik düzeç ile donatılmışlardır. Gözlemler bir ölçü dürbünü yardımı ile yapılmaktadır. Nivo düzeçlendiğinde optik eksen bir nivelman düzlemi oluşturmaktadır. Bir nivo altyapı ve üst yapı olarak iki kısımdan oluşur. Altyapı sehpa üzerine oturan kısım olup üç düzeçleme vidası ve bir küresel düzeçten meydana gelir. Üst yapı dönebilir bir şekilde altyapıya bağlanmış olup dürbün, dürbün taşıyıcısı ve silindirik düzeçten meydana gelmektedir. Aşağıdaki şekilde dürbünün istenilen yöne yöneltmek için genel ve az hareket vidaları vardır. Bazı nivolar da yatay açıları kabaca ölçmeye yarayan bir açı düzeni bulunmaktadır.

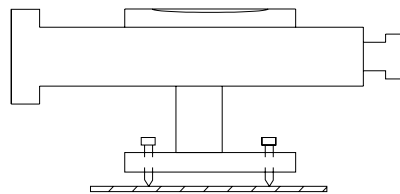


Nivoların Genel Yapısı

Nivolar yapı itibari ile beş grupta incelenebilir.

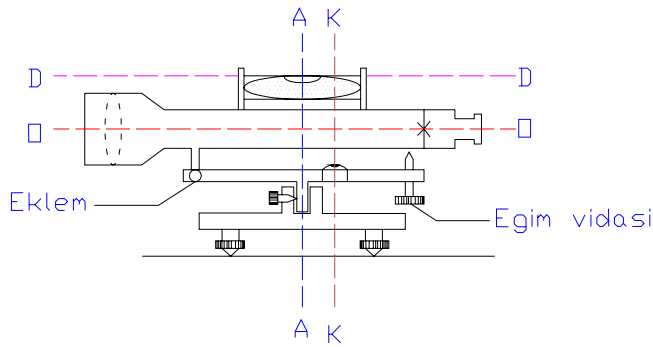
- 1) Sabit Dürbünlü Basit Nivolar
- 2) Fenklajlı (Eğim Vidalı) Nivolar
- 3) Tersinir Nivolar
- 4) Kompansatörlü (Otomatik) Nivolar
- 5) Elektronik (Lazerli) Nivolar

Sabit dürbünlü nivolarda dürbün ve dürbün taşıyıcısı sabit olarak birbirine bağlanmıştır. Ölçü sırasında silindirik düzeçteki kaymalar düzeçleme ayaklarından uygun olan ayak yardımı ile giderilir. Bu durumda bir önceki nivelman düzlemi dışına çıkma tehlikesi olduğundan çok fazla incelik istenmeyen işlerde kullanılır.



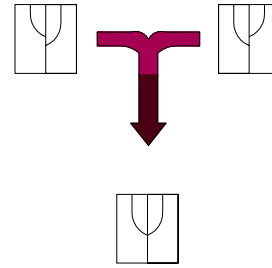
Sabit Dürbünlü Nivo

Fenklajlı nivolarda dürbün ve dürbün taşıyıcısı fenklaj düzeni yardımı ile birbirine bağlanmıştır. Aşağıdaki Fenklaj vidası döndürüldüğünde dürbünün taşıyıcıya nazaran eğimi değişir ve fenklaj ayarı yardımı ile dürbün kolaylıkla nivelman düzlemine sokulur. Fenklaj vidası ayarlandığında kabarcık şeklindeki gibi olmalıdır.



Fenklajlı Nivo

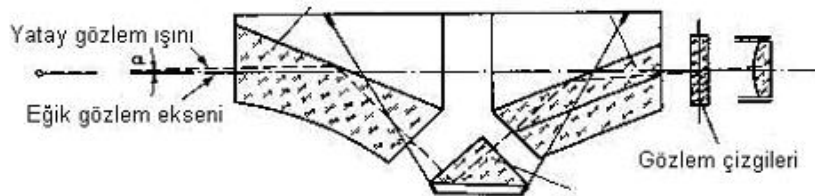
Fenklaj Ayarlanmamış durumu



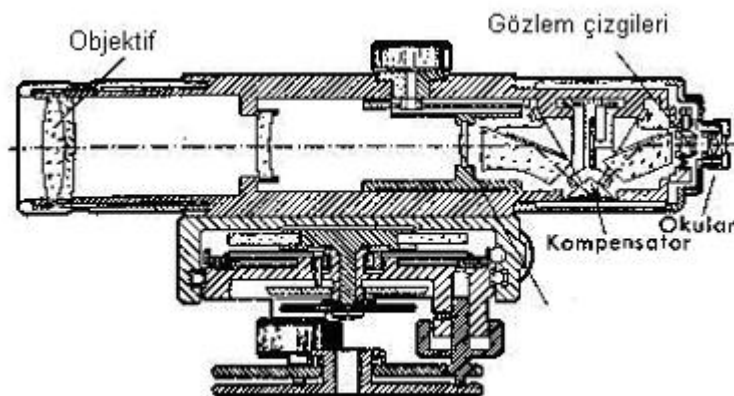
Fenklaj Ayarlanmış durumu

Tersinir nivolarda dürbün kendi eksenini etrafında 200g dönebilir. Bu dönüşü düzeye dürbünle beraber yaptığından düzecen çift yüzlü olması gerekir. Tersinir nivolardan daha çok geri ve ileri mira uzaklıklarının eşit alınmadığı dağlık arazide yararlanır.

Otomatik nivolarda, alet küresel düzeç yardımı ile kabaca düzeçlendikten sonra, optik eksenin yataylığı bir kompensatör yardımı ile sağlanmaktadır. Fenklajlı nivolarda optik eksenin yataylığının fenklaj yardımı ile sağlanmasına karşılık, otomatik nivolarda bu iş kompensatör yardımı ile yapılmakta ve ölçmede büyük kolaylık sağlamaktadır.



Kompansatör Yapısı



Kompansatörlü Nivo

İlk sayısal nivo olan WILD NA2000, 1990 yılında Leica Firması tarafından üretilmiştir. Bu aletle, özel olarak yapılmış barkodlu bir miranın görüntüsü, sayısal görüntü işleme ve korelasyon(ileşim) yöntemine göre değerlendirilmektedir. Burada insan gözünün görevini, sıralı dedektörler üstlenmişti. Sayısal nivo ile yapılan nivelman, verileri işleyen ve depolayan programlar ve kontrol hesaplamaları ile desteklenmiştir.

Sayısal nivoların yapısı, bir sayısal kamera ile bir Kompansatörlü nivonun kombinasyonu(birleşim) ilkesine dayanır. Sayısal nivolar, optik ve mekanik yapı elemanları bakımından normal nivolarla benzer ve klasik optik nivo olarak da kullanılabilir.

Sayısal nivo ile yükseklik ölçümlerinin yanı sıra, 1-2 cm incelikte mira ile nivo arasındaki uzunluklar da ölçülebilmektedir. Miranın üzerinde bulunan barkod çizgilerinin görüntüsü, bir sıralı dedektör (CCD kamera) üzerine yansır. 25 µm aralıklarla düzenlenmiş 256 ışık alıcılı fotodiyoddan oluşan sıralı dedektör, miranın üzerinde bulunan barkod çizgilerinin görüntüsünü analog bir video sinyaline dönüştürür. Bir elektronik okuyucu, bu video sinyalini güçlendirerek A/S (Analog/Sayısal)dönüştürücüsüne iletir. Ölçü verilerinin değerlendirilmesi, mikro işlemcide yapılır. Mira değerleri, elektro optik olarak üretilen miranın sayısal ölçü sinyaliyle referans sinyalinin korelasyon yöntemine göre karşılaştırılmasıyla elde edilir.



Elektronik Nivolar

8.2.2 Miralar

Nivelman miraları genellikle iyi cins fırınlanmış ağaçtan yapılmış, 3-4m uzunluğunda, 10cm genişliğinde cm bölümlü latadır. Noktaların nivelman düzlemine olan uzaklığını ölçme de kullanılır.

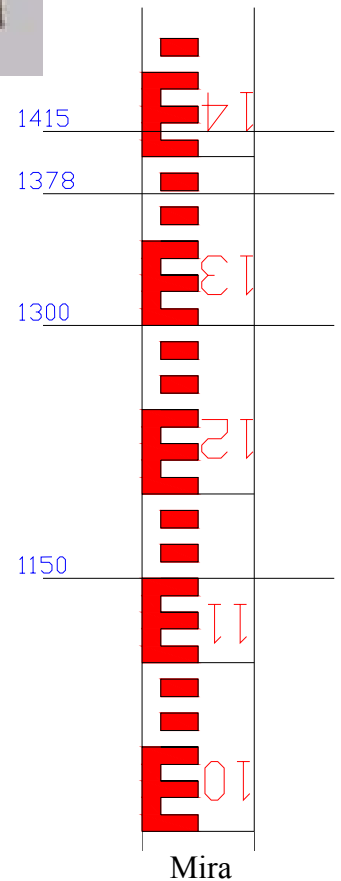
Miralar tadandan itibaren dm rakamları yazılıdır. Bazı Nivolar ters görüntü verdiği için okumaların düz olması amacı ile yazılar ters yazılmıştır.

Miraların düşeyliği iki madeni tutamak ve bir küresel düzeç yardımı ile sağlanmaktadır.

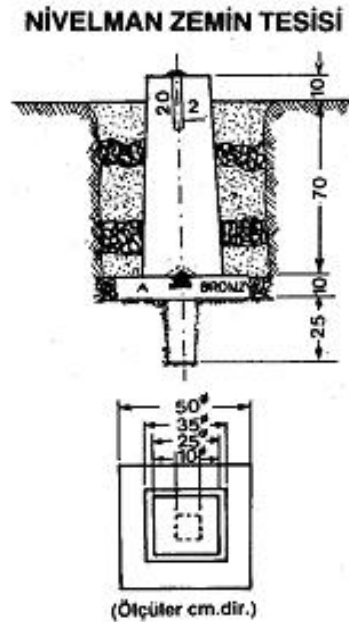
Santimetre bölümlü mirada uygun uzaklık bulunması şartı ile mm okuması yapılabilir.



Barkodlu Mira



Mira

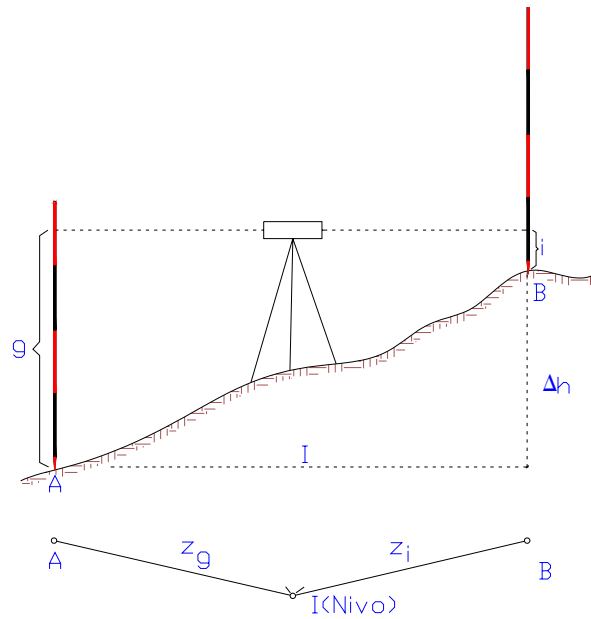


Kırsal Alanlarda Nivelman Tesisi

8.2.5 İki Nokta Arasındaki Yükseklik Farkının Ölçülmesi

Yükseklik farkı belirlenecek A ve B noktaları birbirine yakın ve aralarında fazla yükseklik farkı yoksa bir tek alet kurularak iki nokta arasındaki yükseklik farkı bulunur. Bu işleme basit nivelman denir.

Nivo A ve B noktalarının eşit uzaklıkta bir noktaya kurulur. Nivonun, A ve B noktalarını birleştiren doğrunun üzerine kurulması gerekmez. A ve B 'de düşey tutulan miralara bakılarak orta kılın hizasına rastlayan mira bölüm değerleri (geri = g ve ileri = i) okunur.

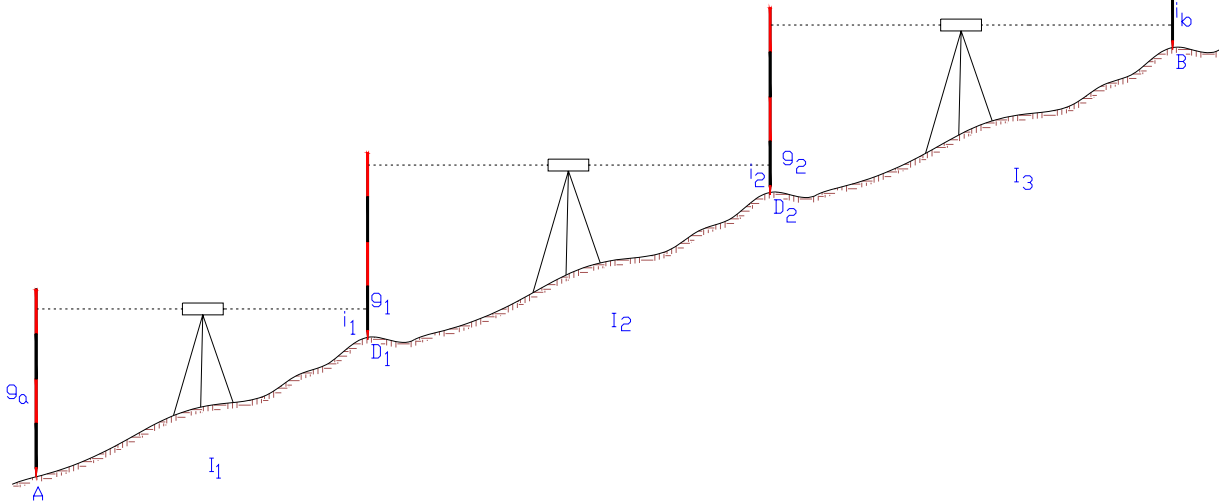


$$\Delta h = \text{geri} - \text{ileri} = g - i$$

$$H_b - H_a = \Delta h = g - i$$

$$H_b = H_a + \Delta h$$

Noktalar arasındaki yükseklik farkı bir kez alet kurularak ölçülemiyorsa ya da iki nokta arasındaki uzaklık yönetmelikte belirtilen sınır değeri aşıyorsa(mira ile alet arasındaki maksimum mesafe 50m), A ve B noktaları arasındaki yükseklik farkını bulmak için aletin birkaç kez kurulması gerekir. Birkaç kez basit nivelman işlemi tekrarlanır. Buna “ **Boyuna Nivelman/ Hat Nivelmanı** “ denilmektedir.



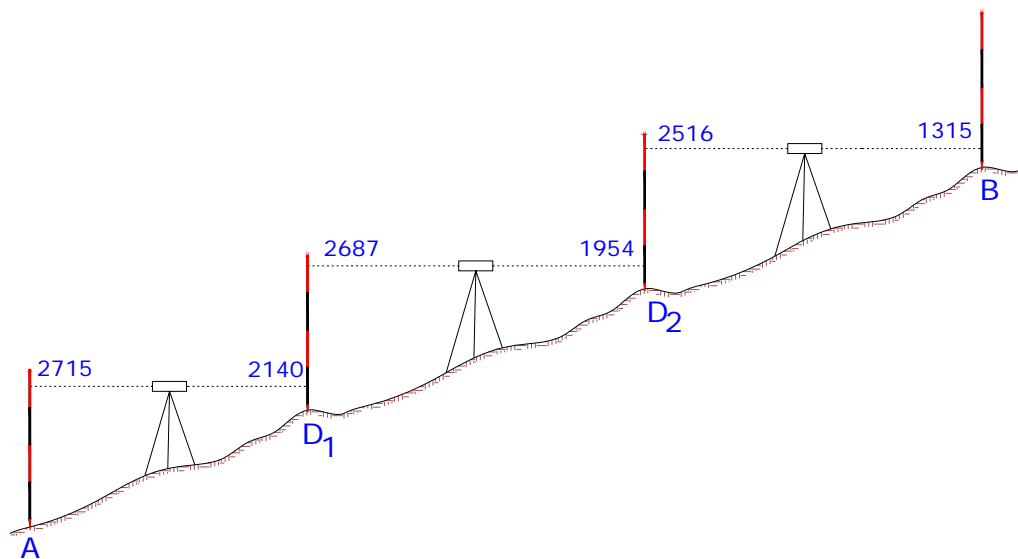
Hat nivelmanın da A ve B noktaları arasındaki yükseklik farkı;

$$\Delta h = H_b - H_a = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3$$

$$\Delta h = (g_a - i_1) + (g_1 - i_2) + (g_2 - i_b)$$

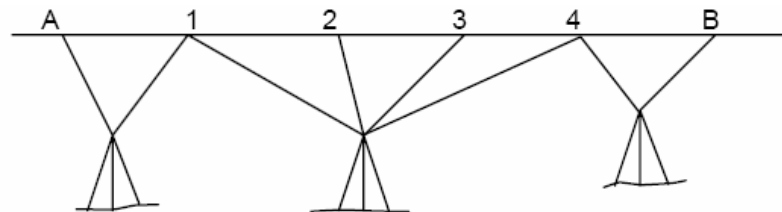
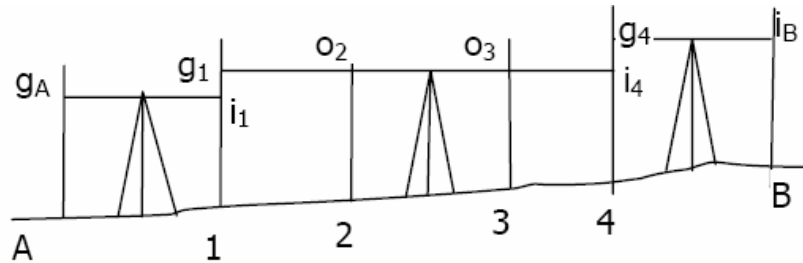
$$\Delta h = (g_a + g_1 + g_2) - (i_1 + i_2 + i_b)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Buna ilişkin nivelman ölçü krokisini ve hesap tablosunu inceleyelim.



Nokta No	Ara Uzaklıklar (m)	Mira Okumaları (mm)			Yükseklik Farkı (mm)		Nokta (m) Yükseklikleri
		Geri	Orta	İleri	+	-	
A		2715					966.754
D1		2687		2140	575		967.329
D2		2516		1954	733		968.062
B				1315	1.201		969.263
		[geri] =		[ileri] =			
		7918		5409	2509		
$\Delta h =$	$[g] - [i] = 2509$						

Bu tür nivelmanda istenirse A ve B noktaları arasındaki yükseklik farkından başka, aradaki detay noktalarının (2,3 detay noktaları gibi) yükseklik farkları da ölçülebilir. Bu noktalardaki mira okumaları cm' ye kadar okunabilir. Bu tür okumalar orta okuma olarak adlandırılır.



$$\Delta h_{A1} = g_a - i_1$$

$$\Delta h_{12} = g_1 - o_2$$

$$\Delta h_{23} = o_2 - o_3$$

$$\Delta h_{34} = o_3 - i_4$$

$$\Delta h_{4B} = g_4 - i_B$$

$$[\Delta h] = [g] + [o] - [i] - [o] = [g] - [i]$$

Nokta	Uzunluk (m)	Mira Okumaları (m)			Yükseklik Farkları (Δh)		Yükseklik H (m)	Kroki ve Açıklama
		Geri	Orta	İleri	+	-		
A	-	1.375 ⁺⁴					203.125	
1	-		2.934			1.555	201.570	
2	-		1.861		1.073		202.643	
3	-	2.238 ⁺⁴		2.747		0.886	201.757	
4	-	1.657 ⁺⁴		1.915	0.327		202.084	
5	-		2.545			0.884	201.200	
B	-			0.995	1.550		202.750	

$$[g] = 5.270$$

$$[i] = 5.657$$

$$2.950$$

$$-3.325$$

$$-0.375$$

$$[i] = 5.657$$

$$3.325$$

$$[g] - [i] = -0.387$$

$$[\Delta h] = -0.375 \text{ m}$$

$$H_B - H_A = -0.375$$

$$\text{Kapanma hatası} = -0.012 \text{ m} = -12 \text{ mm}$$

8.2.6 Açık Nivelman Hesabı

Yüksekliği belli olan bir noktadan başlar ve yüksekliği tarafımızdan hesaplanan bir noktada son bulur. Mira okumaları sadece geri(g) ve ileri (i) okumalardan oluşuyorsa g – i farkları bulunur. Dönüş noktalarının kotları hesaplanmak istenmiyorsa son noktanın kotu (H_b)

$$H_b = H_a + (g - i) = H_a + \Delta h$$

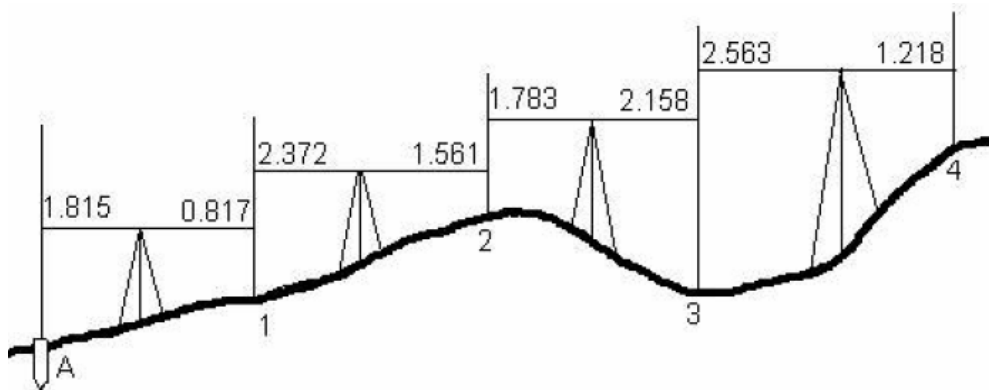
Şeklinde bulunur. Dönüş noktalarının da kotları hesaplanacaksa;

$$H_1 = H_a + (g_a - i_1)$$

$$H_2 = H_1 + (g_1 - i_2)$$

Bir alet kurulan noktadaki g – i farkları, kendinden önceki noktanın kotuna eklenerek ileri okuma yapılan noktanın kotu bulunur.

Açık nivelmanda yapılan ölçümün kontrolü olmadığı için nivelman ve poligon noktalarının yüksekliklerinin belirlenmesinde kullanılmaz.



Gidiş Nivelmanı

Nokta	Mira Okumaları (m)			Yükseklik Farkları (Δh)	
	Geri	Orta	İleri	+	-
A	1.815				
1	2.372		0.817	0.998	
2	1.783		1.561	0.811	
3	2.563		2.158		0.375
4			1.218	1.345	

$$\begin{aligned}
 [g] &= 8.533 & [i] &= 5.754 & 3.154 & -0.375 \\
 [i] &= 5.754 & & & -0.375 & \\
 [g] - [i] &= 2.779 & & & \underline{-0.375} & \\
 & & & & [\Delta h] &= 2.779 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dönüş Nivelmanı

Nokta	Mira Okumaları (m)			Yükseklik Farkları Δh	
	Geri	Orta	İleri	+	-
4	1.361				
3	1.879		2.702		1.341
2	2.124		1.502	0.377	
1	1.543		2.932		0.808
A			2.546		1.003

$$\begin{aligned}
 [g] &= 6.907 & [i] &= 9.682 & 0.377 & -3.152 \\
 [i] &= 9.682 & & & 3.152 & \\
 [g] - [i] &= -2.775 & & & \underline{3.152} & \\
 & & & & [\Delta h] &= -2.775 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Gidiş - Dönüş ortalamasıyla Kesin Yükseklikler

Nokta	Yükseklik Farkları (Δh)			Yükseklik H
	Gidiş	Dönüş	Ortalama	
A				95.740 m
1	0.998	1.003	1.000	96.740
2	0.811	0.808	0.810	97.550
3	- 0.375	- 0.377	- 0.376	97.174
4	1.345	1.341	1.343	98.517

Gidiş – dönüş ölçüleriyle elde edilen yükseklik farklarının ortalaması alınırken, dönüş Ölçüleri ile elde edilen yükseklik farklarının işareti ters alınır.

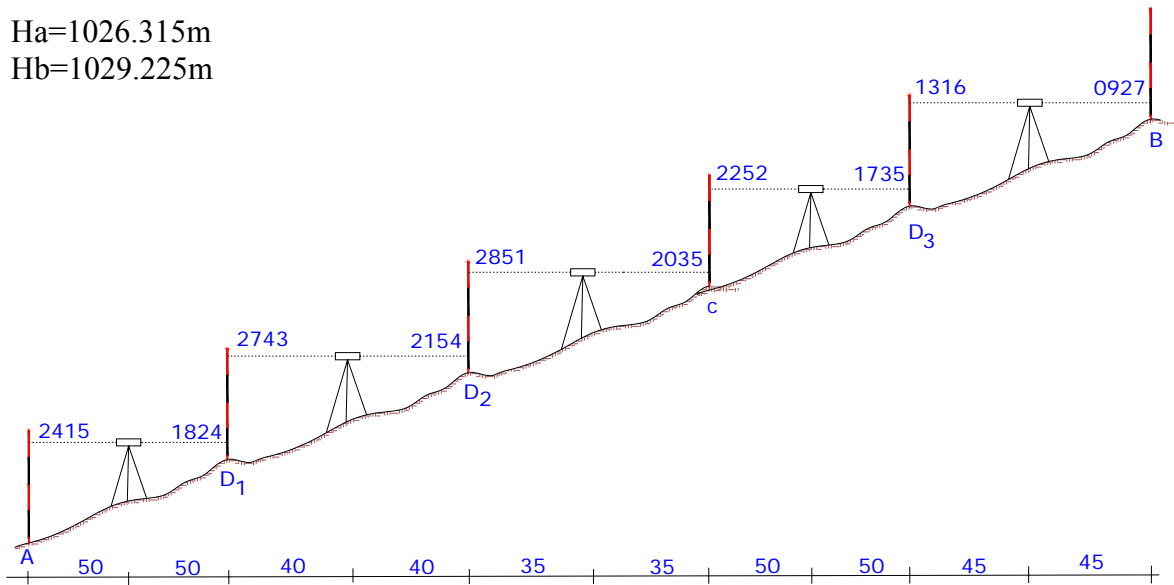
8.2.7 Dayalı (Bağı) Nivelman Hesabı

Dayalı nivelmanda başlangıç A ve bitiş B noktalarının yükseklikleri bellidir. Böylesi bir nivelmanda ölçü ve hesap sonucu elde edilecek olan Δh^* değerinin teorik olarak $\Delta h = H_b - H_a$ yükseklik farkına eşit olması gerekir. Oysa tesadüfi hatalar nedeni ile bu teorik şart gerçekleşmez. Yani $\Delta h^* - \Delta h = fh$ gibi bir fark oluşur. fh değerine “**nivelmanda kapanma hatası**” denir. Bu hatanın fh_{max} sınır değerinden küçük olması gerekir. Eğer $fh < fh_{max}$ ise kapanma uygulamaya bağlı olarak işaretine göre geri ve ileri okumalara ve ya geri ileri (g – i) farkları arasında dağıtılır. Bu işleme nivelmanda hata dağıtımı ve ya hata dengelemesi denir.

Aşağıdaki şekilde verilen mira okuma değerleri ve ara mesafeler yardımı ile Geçiş noktalarının ve C noktasının yüksekliğini hesaplayalım (Düzeltilmeleri g-i farklarına ara mesafelerine bağlı olarak hesaplanacak.)

$H_a = 1026.315m$

$H_b = 1029.225m$



Nokta No	Ara Uzaklıklar(m)	Mira Okumaları (mm)			Yükseklik Farkı(mm)		Nokta Yükseklikleri
		Geri	Orta	İleri	+	-	
A	50	2145					1026.315
D1	40-50	2743		1824	591 ⁺²		1026.908
D2	35-40	2851		2154	589 ⁺¹		1027.489
C	50-35	2252		2035	816 ⁺¹		1028.315
D3	45-40	1316		1735	517 ⁺²		1028.834
B	45			0927	389 ⁺²		1029.225
	$[L] = 440m$	$[geri] =$		$[ileri] =$			
		11 577		8 675			$H_b - H_a = \Delta h$
					2.910		2.910m
$\Delta h^* =$	$[g] - [i] = 2.902m$						
$fh =$	$\Delta h^* - \Delta h = -0.008m = -8mm$						

$$fh_{max} = 0.02\sqrt{L} + 0.00030 [\Delta h] = 0.014m = 14mm \quad fh < fh_{max} \text{ ölçü kabul edilir.}$$

$$[L] = 0.44km \quad [\Delta h] = 2.910m$$

Poligon noktalarının yükseklikleri, genellikle iki nivelman noktasına dayalı olarak yapılan gidiş - dönüş nivelmanı ile belirlenir. Aşağıda böyle bir örnek görülmektedir.

GİDİŞ NİVELMANI

Nokta	Uzunluk (m)	Mira Okumaları (m)			Yükseklik Farkları (Δh)		Yükseklik H (m)	Ortalama Yükseklik (m)	Kroki ve Açıklama
		Geri	Orta	İleri	+	-			
Rs.285	12 -	0.524 ⁻²					72.568	72.568	
	15 - 16	0.460		3.806		3.284			
P.1	13 - 17	0.520 ⁻²		2.844		2.384	66.900	66.900	
	20 - 16	0.646		2.968		2.450			
	8 - 21	0.455		2.972		2.326			
P.2	7 - 10	0.559 ⁻²		2.263		1.808	60.316	60.310	
	15 - 12	0.459		3.313		2.756			
	20 - 18	0.789		3.089		2.630			
P.3	16 - 25	0.504 ⁻²		2.589		1.800	53.130	53.124	
	18 - 20	0.218		3.622		3.120			
	15 - 16	0.840		2.780		2.562			
P.4	17 - 13	2.898 ⁻¹		1.912		1.072	46.376	46.370	
	21 - 24	0.820		2.389	0.508				
	22 - 25	0.945		3.386		2.566			
P.5	26 - 30	1.184 ⁻¹		2.645		1.700	42.618	42.618	
	25 - 34	0.951		1.882		0.699			
Rs.344	- 20	12.772		2.334		1.383	40.536	40.536	
$[L] = 587 \text{ m}$ $[g] - [i] = -32.022$ $H_{344} - H_{285} = -32.032$ $Hata \text{ miktarı} = +0.010 \text{ m} = 10 \text{ mm}$ $Hoşgör\ddot{u} \text{ sınırı} = d = 0.02 \sqrt{[L]} + 0.0003 * [h] = 0.02 \sqrt{0.587} + 0.0003 * 33.048 = 0.025 \text{ m} = 25 \text{ mm}$ $Hata \text{ miktarı} < Hoşgör\ddot{u} \text{ sınırı} \text{ (} 10 \text{ mm} < 25 \text{ mm) olduğu için hata dağıtımı yapılır.}$									

DÖNÜŞ NİVELMANI

Nokta	Uzaklık (m)	Mira Okumaları (m)			Yükseklik Farkları (Δh)		Yükseklik H (m)	Ortalama Yükseklik (m)	Kroki ve Açıklama
		Geri	Orta	İleri	+	-			
Rs.344	-	2.492 ⁺²					40.536		
	-	1.900		1.102	1.392				
P.5	-	1.576 ⁺²		1.211	0.689		42.617		
	-	3.211		1.840		0.262			
	-	2.209		0.751	2.460				
P.4	-	2.224 ⁺³		0.660	1.549		46.364		
	-	3.527		0.420	1.807				
	-	2.832		0.655	2.872				
P.3	-	2.482 ⁺³		0.757	2.075		53.118		
	-	3.274		0.572	1.913				
	-	3.032		0.441	2.833				
P.2	-	3.253 ⁺³		0.592	2.440		60.304		
	-	2.662		0.465	2.791				
	-	2.262		0.633	2.029				
P.1	-	2.435 ⁺³		0.487	1.775		66.899		
	-	2.775		0.788	1.650				
	-	2.693		0.492	2.283				
Rs.285		44.839		0.957	1.736		72.568		
$[g] = 12.823$ $[g] - [i] = 32.016$ $H_{285} - H_{344} = 32.032$ $Hata \text{ miktarı} = -0.016 \text{ m} = -16 \text{ mm}$									

8.2.8 Kapalı Nivelman Hesabı

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

Nokta	Uzunluk (m)	Mira Okumaları (m)			Yükseklik Farkları Δh + (m) -		Yükseklik H (m)	Kroki ve Açıklama
		Geri	Orta	İleri				
A	-	1.371 ⁺³					100.000	
1	-		1.864			0.490	99.510	
2	-	1.615 ⁺³		2.718		0.854	98.656	
3	-	1.399 ⁺²		0.985	0.633		99.289	
4	-		2.078			0.677	98.612	
A	-			0.690	1.388		100.000	

$$[g] = 4.385$$

$$[i] = 4.393$$

$$2.021$$

$$2.021$$

$$0.000$$

$$[i] = 4.393$$

$$2.021$$

$$[g] - [i] = -0.008$$

$$[\Delta h] = 0.000$$

$$H_B - H_A = 0.000$$

$$\text{Kapanma hatası} = -0.008 \text{ m} = -8 \text{ mm}$$

8.3 Düşey Kontrol Noktalarının Sınıflandırılması

Düşey Kontrol Noktalarını, Ana nivelman noktaları ve Ara nivelman noktaları olarak iki bölümde incelenebilir. Ana nivelman noktalarının oluşturduğu ağa, Ana nivelman Ağı, Ara nivelman noktalarının oluşturduğu ağa ise Ara nivelman Ağı denir.

8.3.1 Ana Nivelman Ağı

Ana Nivelman ağı, aralıkları 1km'yi geçmeyen noktaların belirlediği luplardan (halkalar) oluşur. Luplar harita alanını çevrelemeli ve çevre uzunluğu 6 km 'yi geçmemelidir.

Lup üzerindeki noktalar, ana nivelman ağına ait üç nokta ile bağlantılı olmalıdır.

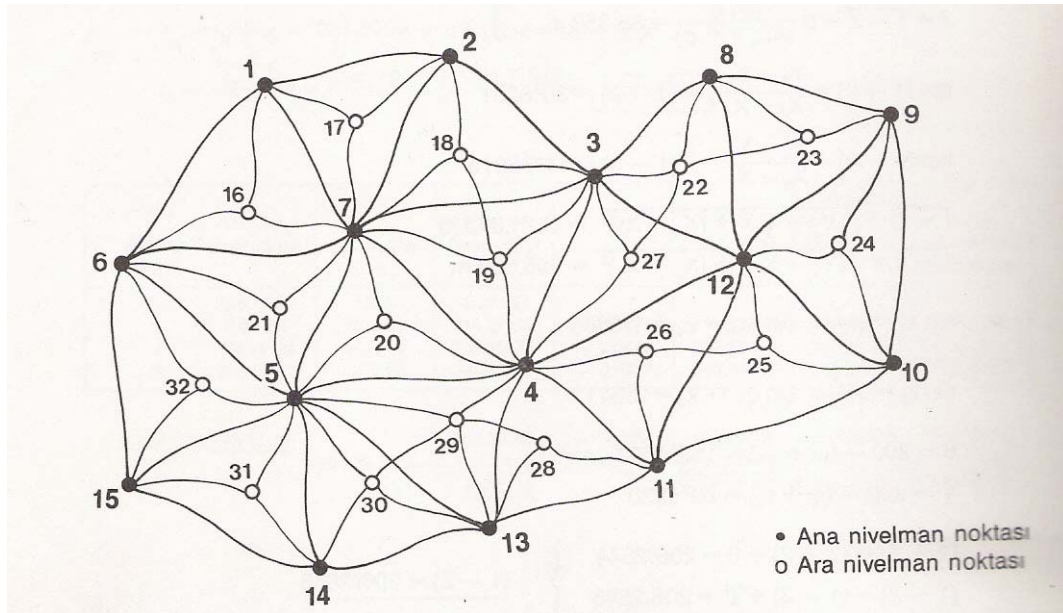
Şeritvari haritalar için 2km aralıklarla nivelman dizisi oluşturulabilir. Ancak bu diziler, en çok 10 km aralıklarla ülke nivelman noktalarına bağlanır.

Ana nivelman güzergâhları olabildiğince sert yüzeyli yollar boyunca seçilir.

8.3.2 Ara Nivelman Ağı

Ara Nivelman ağı, araları yerleşme alanlarında 300-400m, kırsal alanlarda 500-600m olan ve ana nivelman noktaları arasına tesis edilen ara nivelman noktalarından oluşur.

Ara nivelman noktalarının en az ikisi ana nivelman noktası olmak üzere üç noktaya bağlanmasına çalışılmalıdır.



Ana ve Ara Nivelman Ağı

Ara nivelman noktalarının yükseklikleri aşağıdaki çizelgede görüldüğü gibi hesaplanabilir. Düzeltme değerleri, nivelman yolu uzunluğu ile orantılı olarak verilir.

NİVELMAN HESAP ÇİZELGESİ

Bilinen Nokta	Yeni Nokta	Nivelm. Def. No Say. No	Rs.ler Arası Mesafe	Ölçülen Yükseklik Farkları				Yükseklik	Açıklama
				Δh		Ortalama Δh			
				Gidiş	Dönüş	+	-		
			m	m	m	m	m	m	
Rs 5								122.514	
	Rs 12	G.13	572	+13.874	+13.882	13.878 ⁺³			
		D.29						136.395	
	Rs 21	G.14	461	-21.613	-21.605		21.609 ⁺²		
		D.26						114.788	
	Rs 14	G.18	695	-11.988	-11.982		11.985 ⁺³		
		D.32						102.806	
Rs 2		G.16	880	+34.396	+34.388	34.392 ⁺⁴			
		D.34						137.202	
			2608			48.270 33.594 14.676	33.594 Düzeltilme	14.688 14.676 +12 mm	

8.3 Kesitlerin Çıkarılması

Yeryüzünün düşey bir düzlem ile ara kesitine boyuna kesit ya da **boykesit** denir. Boykesit doğrultusuna dik bir düzlem ile yeryüzünün ara kesitine de enine kesit ya da **enkesit** denir.

Demiryolu, karayolu, kanal vb. inşaat projelerinin hazırlanması ve herhangi bir nedenle bir yerdeki toprak hacminin bulunması amacı ile kesitler alınır. Projenin özelliğine göre çeşitli kriterler dikkate alınarak, uygun ölçekli bir harita üzerinden boykesit hattı belirlenir ve araziye aplike yapılır. Başlangıçtan itibaren her 50m de bir veya eğimin değiştiği noktalara toprak seviyesinde bir kazık (Piketaj kazığı) çakılır. Bu kazıklara başlangıçtan itibaren numara verilir ve başlangıca olan uzaklıkları ölçülür. Kolay bulunabilmeleri için taş veya toprak yığılır. Boykesit nivelmanı yapılarak bütün piketaj noktalarına kot verilir. Her piketaj noktasında eksene dik yönde ve eksenin her iki tarafına ihtiyaca göre 10-50m genişliğinde eğimin değiştiği noktalar ölçülür. Eksene dik doğrultu prizma yardımıyla tespit edilir.

8.3.1 Boykesit Nivelmanı

Proje ekseni boyunca, kazık çakılan her zemin noktasının yüksekliğinin bulunması için yapılan ölçmeye boykesit nivelmanı denir.

Güzergah boyunca bu işe elverişli yeteri sıklıkta nivelman röper noktası yok sa, ilk önce aplikasyon hattından 40-50m uzaklıkta ve yaklaşık 500m aralıklarla nivelman röper noktaları tesis edilir. Bu noktalara geometrik nivelmanla kotlandırılır.

Kesit nivelmanı, ara noktalı nivelman gibi yapılır. Ölçmeye, başlangıç noktasından geri okuma yapılarak başlanır. Sırasıyla piketaj kazıklarına mira tutularak orta okuma yapılır. Son okuma ise ileri okuma kabul edilir. Nivonun yeri değiştirilerek, sabit kalan son okumadaki miradan geri okuma yapılarak devam edilir. Nivelman hesabı gözleme düzlemi kotu yöntemine göre yapılır.

Nokta No	Ara Uzaklıklar (m)	Mira Okumaları (mm)			Gözleme Düzlemi Kotu(m)	Nokta Yükseklikleri (m)
		Geri	Orta	İleri		
Rs.1		<i>3.175</i>			<i>960.99</i>	957.815
1	<i>0+000</i>		<i>2.50</i>			<i>958.49</i>
2	<i>015</i>		<i>1.40</i>			<i>959.59</i>
3	<i>024</i>		<i>0.90</i>			<i>960.09</i>
D1		<i>2.143</i>		<i>1.716</i>	<i>961.417</i>	959.274
4	<i>050</i>		<i>1.55</i>			<i>959.87</i>
5	<i>080</i>		<i>2.87</i>			<i>958.55</i>
6	<i>0+100</i>		<i>3.10</i>			<i>958.32</i>
D2		<i>1.141</i>		<i>2.432</i>	<i>960.126</i>	958.985
7	<i>050</i>		<i>2.01</i>			<i>958.12</i>

8.3.2 Boykesitlerin Çizimi

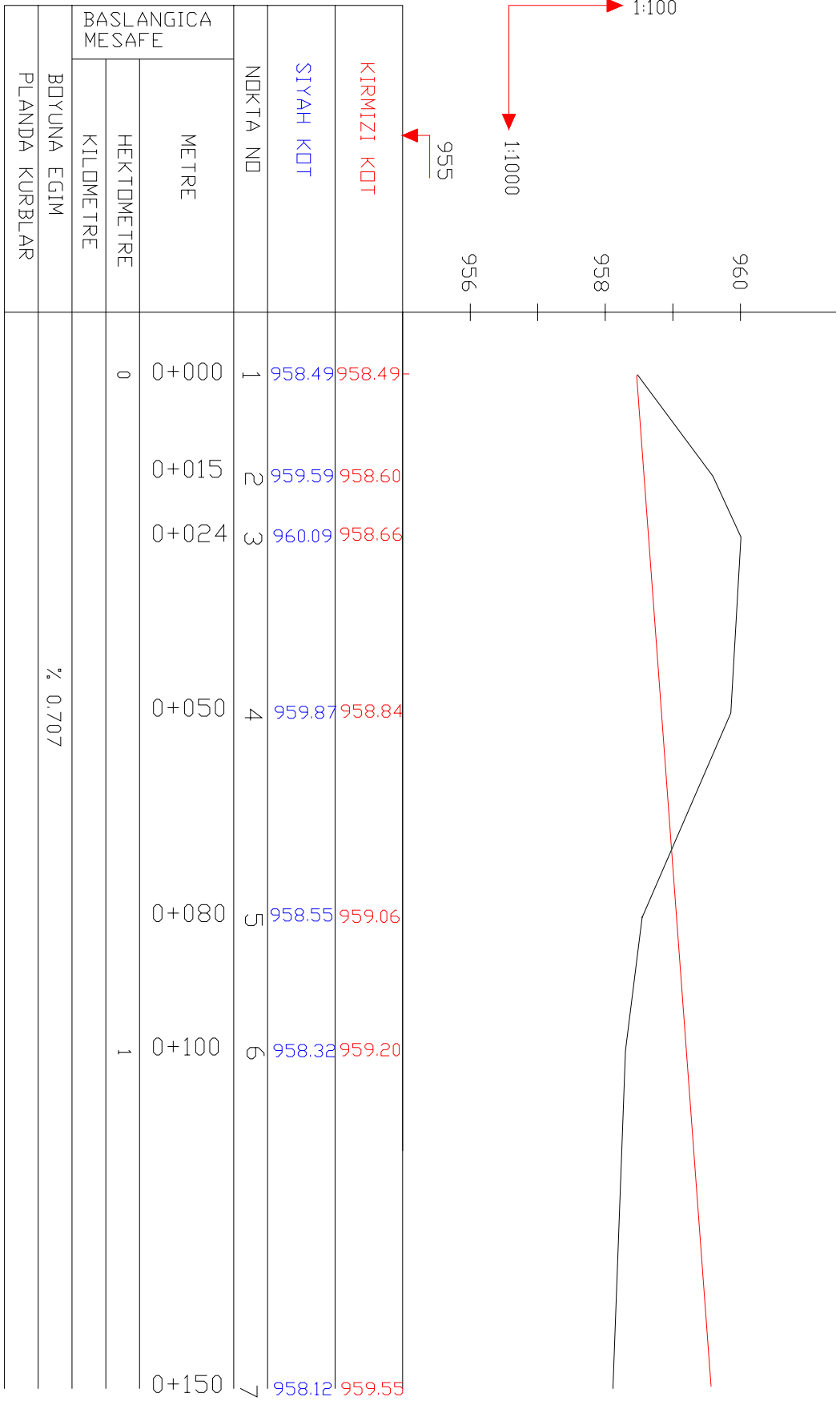
Boykesit kot hesabı yapıldıktan sonra, boykesitlerin çizimine geçilir. Çizim ölçeği amaca göre yatay uzunluklar için 1/1000 ile 1/5000 arasında alınır. Düşey ölçekler ise arazinin yükseklik farkını abartılı gösterecek şekilde ve yatay ölçeğe göre 5-10 katı büyük alınır. Çizim dik koordinat sistemine göre yapılır. Yatay eksen de ölçü yapılan kazıkların başlangıç noktasına olan mesafeleri, düşey eksen de ise bu noktaların yükseklikleri alınarak nokta yerleri boykesit grafiğinde belirlenir. Noktaların birleştirilmesi ile siyah çizgi (siyah kot) belirlenir. Bunun üzerine yol profili çizilir. Bu çizgi birçok doğrudan meydana gelir veya gelebilir. Bu doğruları birleştiren eğriye Düşey kurp denir. Eğimin hesaplanabilmesi için eğimin değiştiği noktaların kotları(Kırmızı kotları) grafikten okunarak eğim hesaplanır. Bunun için noktaların kırmızı kotları ile bu noktaların başlangıca olan mesafelerinden hesaplanır.

$$\text{Eğim} = \tan\alpha = \Delta h/u = H_7 - H_1 / U_7 - U_1$$

$$\text{Eğim} = 959.55 - 958.49 / 150 = 0.00707 = \%0.7$$

Her bir ara kazığın kotu, bu noktaların başlangıç kotuna uzaklığı ile eğimin çarpımından elde edilecek değeri bu başlangıç kotuna eklenmesi ya da çıkarılması suretiyle elde edilir.

$$H_4 = H_1 + 14 * \tan\alpha = 958.49 + 50 * 0.00707 = 958.84\text{m}$$



Boy Kesit Grafiği

8.3.3 Enkesit Nivelmanı

Her piketaj noktasında boykesit hattına dik doğrultu belirlenir. İhtiyaca göre 10-50m genişliğinde her iki tarafta eğimin değiştiği noktalara okuma yapılır. Bu noktaların piketaj noktalarına olan uzaklıkları ölçülür. Arazinin yapısına ve istenen hassasiyete göre enkesit alımı değişik aletlerle yapılabilir. Nivo ve teodolit kullanarak, daha çok nivo kullanılır.

8.3.4 Enkesit Nivelmanı (Nivo ile)

Önce nivelman gidiş yönü belirlenir. Nivo, piketaj noktasındaki tüm kesit noktalarına tutulacak miraları görecektir noktaya kurulur. Eksen kazığına geri okuma yapılır. Miralar eğimin değiştiği noktalara tutulurken, bir taraftan da eksen kazığına olan uzaklık ölçülür. Mira okumaları ve uzaklıklar cm inceliğinde alınabilir ve kaydedilir.

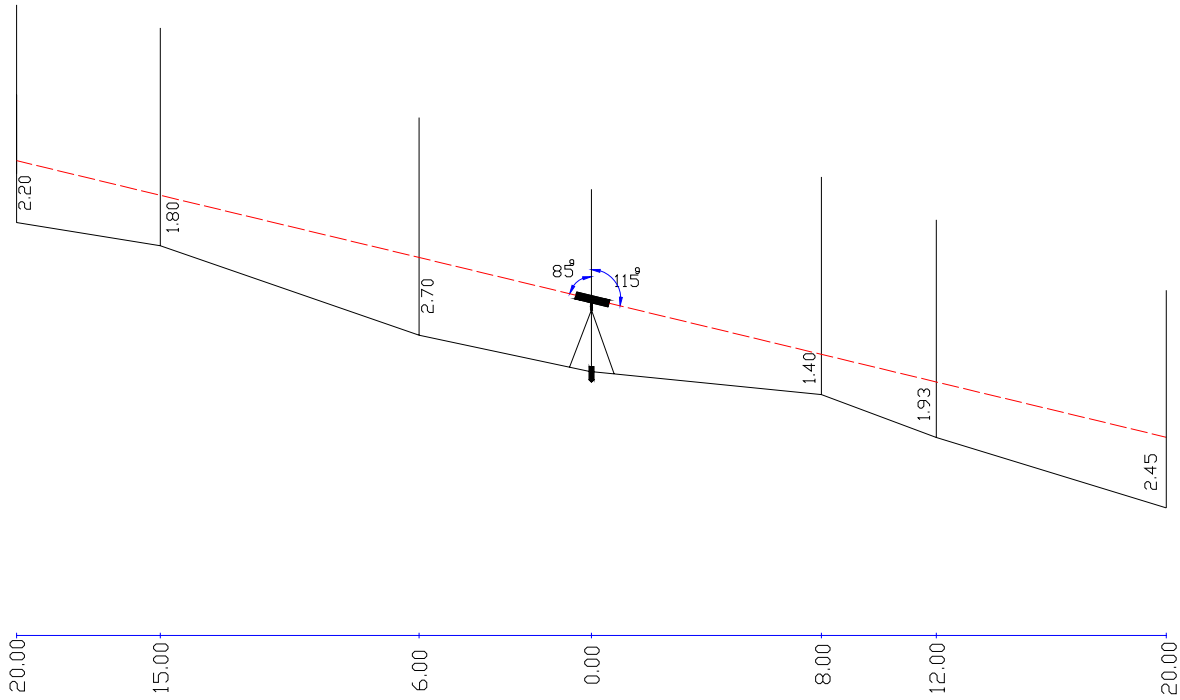
Enkesit ölçüleri boykesit ölçülerine de yazılabilir. Kesir halinde yazıldığında mira okuma değeri kesrin payına, eksene olan uzaklık ise paydaya yazılır. Kot hesabı gözleme düzlemi kotuna göre yapılır. Bu durumda hesaplanan yükseklikler kesirler halinde kesirlerin üzerine dik olarak yazılır ve gözleme düzlemi kotu çerçeve içene alınır.

Enkesit noktalarının kotlarının hesabı, öncelikle eksen kazığının kotuna, eksende yapılan mira okuma değeri eklenerek, gözleme düzlemi kotu bulunur. Daha sonra bu kottan mira okumaları çıkarılır. Şayet birden fazla alet kurulmuş ise geri okuma sayısı kadar gözleme düzlemi kotu hesaplanır.

8.3.5 Enkesit Alımı(Teodolit veya Takeometre ile)

Teodolit veya Takeometre kullanarak da (Düşey açı 100 grad'a ayarlanır.) enkesit alımı yapılabilir.

Engibeli arazide teodolit piketaj kazığının üzerine kurulur, düzeçlenir ve alet yüksekliği ölçülür. Alet gerideki piketaj noktasına yöneltilir ve dürbün asal eksen etrafında 100grad çevrilerek enkesit doğrultusu belirlenir. Düşey açı enkesit doğrultusunda tamsayı grad değerine bağlanır. Eğimin değiştiği noktalara mira tutulur ve orta kıl değeri okunur. Yatay mesafeler çelik şerit ile yatay tutularak ölçülür. Eksenin bir yanındaki ölçüler bittikten sonra dürbün 200 grad çevrilir. Arazi eğimi uygun ise düşey açı 200 gradın farkına bağlanır. Eğim uygun değil ise, uygun yuvarlak düşey açığa bağlanır. Diğer taraftaki ölçmeler burada da yapılır. Yatay mesafe ölçülemiyor ise mira okumalarından optik olarak mesafe hesaplanır.



8.3.6 Enkesitlerin Çizimi

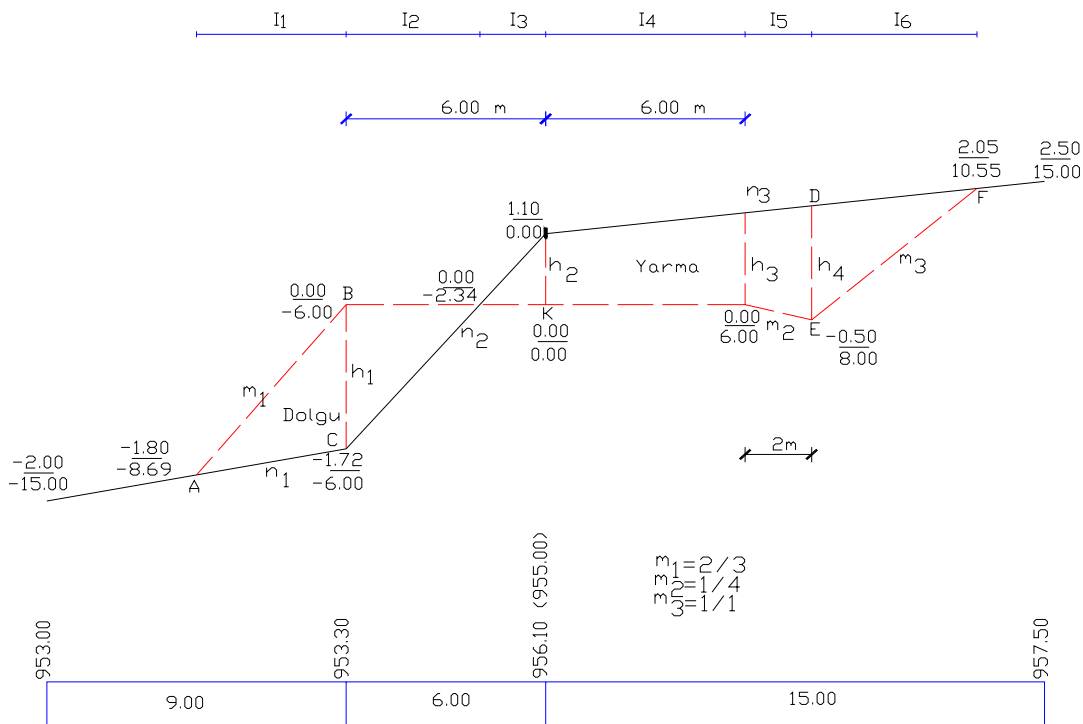
Şeffaf milimetrik kağıtlara 1:100 veya 1:200 ölçeğinde yazılır. Yatay ve düşey ölçek aynıdır. Çizim dik koordinat yöntemine göre yapılır. Yatay eksende uzunluklar, düşey eksende ise yükseklikler alınır. Önce eksen noktasından başlanır. Yatay uzunluk ve yükseklik değerlerine göre diğer noktaların çizimi yapılır. Ayrıca başlangıç noktasından hesaplanan gözleme düzlemi kotuna (GDK) göre okunan, mira değerleri kadar çıkartılarak noktaların yeri grafik olarak işaretlenebilir. Ölçü teodolit ile yapılmış ise, noktanın kotuna alet yüksekliği eklenerek muylu kotu bulunur. Bu kota göre de mira okumaları kadar çıkartılarak noktanın yeri işaretlenebilir.

8.3.7 Enkesit Alanlarının Hesaplanması

Enkesit alanları grafik, planimetrik ve hesap yöntemlerine göre hesaplanabilir. Hesap yönteminde ise geometrik şekilden yararlanarak cebrik olarak ve dik koordinat sisteminde cross yöntemine göre hesaplanır. Cross yönteminde dik koordinat sistemi oluşturularak, birim kesit ile eksen kazığından geçen düşey doğrultunun kesişme noktası, koordinat sisteminin başlangıcı olarak alınır. Diğer noktaların mesafeleri(u) ve yükseklikleri(h) belirlenir ve

$$2F = \sum h_n (U_{n+1} - U_{n-1}) \dots \dots \dots \text{bağıntısı ile enkesit alanları hesaplanır.}$$

Gauss dik koordinat alan hesap yönteminin esası da aynıdır. X koordinatı yerine h yükseklikleri, Y koordinatı yerine u mesafeleri kullanılır ve aynı bağıntı kullanarak alan hesaplanır.



$$n1 = 953.30 - 953.00 / 9.00 \quad n1 = 0.03$$

$$n2 = 956.10 - 953.30 / 6.00 \quad n2 = 0.47$$

$$n3 = 957.50 - 956.10 / 15.00 \quad n3 = 0.09$$

$$h2 = 956.10 - 955.00 \quad h2 = 1.10\text{m}$$

$$h1 = 955.00 - (956.10 - 6.00 \cdot n2) \quad h1 = 1.72\text{m}$$

$$h3 = h2 + 6.00 \cdot n2 \quad h3 = 1.64\text{m}$$

$$h4 = (6.00 + 2.00) \cdot n3 + h2 + 2.00 \cdot m2 \quad h4 = 2.32\text{m}$$

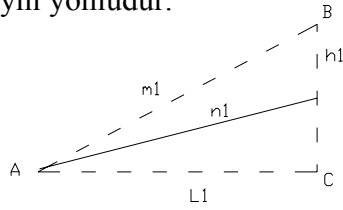
$$L2 = h1 / (h1 + h2) \cdot 6.00 \quad L2 = 3.66\text{m}$$

$$L3 = 6.00 - 3.66 \quad L3 = 2.34\text{m}$$

$$L4 = 6.00\text{m}$$

$$L5 = 2.00\text{m}$$

L1 ve L6 uzunluklarının hesaplanması için şev eğimlerinden yararlanılır. Kesitteki ABC’de A dan BC’ye inilen dik BC kenarının uzantısında kalmaktadır. M1 ve n1 eğimleri aynı yönlüdür.



$$L1 = h1 / (m1 - n1) \quad \text{bağıntısı ile hesaplanır.}$$

$$L1 = 2.69\text{m}$$

L6 uzunluğunun hesabı için DEF üçgeninden yararlanılır. Burada da F noktasından ED ye inilen dik üçgenin dışında kaldığından;

$$L6 = h4 / (m3 - n3)$$

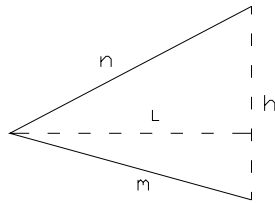
$$L6 = 2.55\text{m}$$

Dolgu (F_D) ve Yarma (F_Y) alanları üçgen ve yamuk alanlarından hesaplanır.

$$FD = 1/2 * h1 * L1 + 1/2 h1 * L2 \quad FD=5.46\text{m}^2$$

$$FY = 1/2 * h2 * L3 + (h2+h3)/2 * L4 + (h3+h4)/2 * L5 + 1/2 * h4 * L6 \quad FY=16.44\text{m}^2$$

Bazen şev eğimleri ters yönlü olabilir. Yani üçgenin, tepe noktasından tabana inilen dik şeklin içinde kalabilir. O zaman



$$L = h / (m + n) \quad \text{bağıntısı ile hesaplanır.}$$

Gross yöntemi ile veya Gauss alan hesabı yöntemi ile K noktası başlangıç olan dik koordinat sistemi düşünülür. Kırık noktalarının h ve u değerleri belirlenir.

$$2FD = -1.72 * [-8.69 - (-2.34)] + (-1.80) * [-6.00 - (-6.00)] \quad FD=5.46\text{m}^2$$

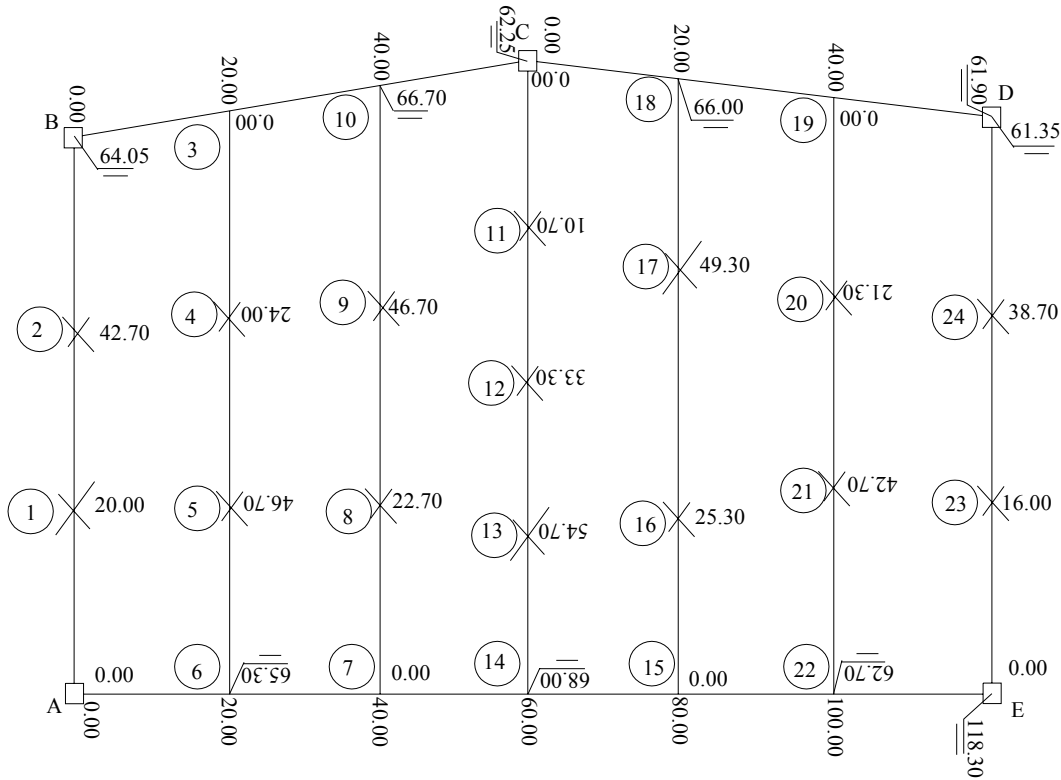
$$2FY = 1.10 * [10.55 - (-2.34)] + (-2.05) * [8.00 - 0.00] - 0.50 * [6.00 - 10.55] \quad FY=16.43\text{m}^2$$

8.4 Yüzey Nivelmanı

8.4.1 Yüzey Nivelmanı Ölçü ve Hesabı

Toplu konut inşaatı, spor ve hava alanları gibi inşaat projelerinde özellikle kazı ve dolgu hacimlerini hesaplamak amacı ile, küçük ve az engebeli alanlarda yükseklik eğrili haritalara gerek vardır. Bu amaçla yapılan nivelmana **yüzey nivelmanı** denir.

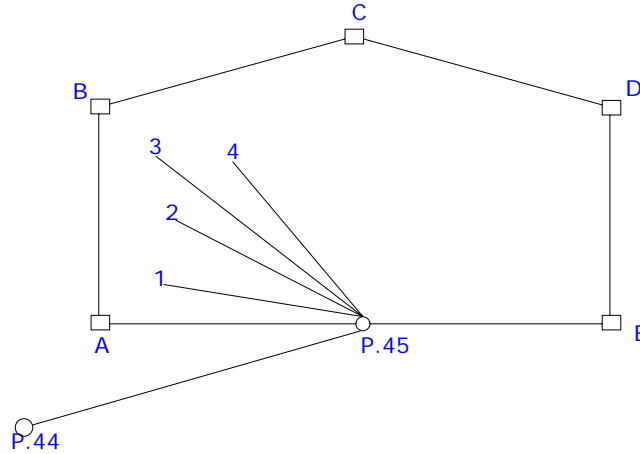
Yüzey nivelmanı yapılacak arazinin önceden bir haritası mevcut ve detay noktalarının konumları belli ise nivo yardımıyla sadece detay noktalarına kot verilir. Bunun için nivo kotu bilinen bir noktadan mira okuması yapılarak ölçmeye başlanır. Buradan hesaplanacak Gözleme Düzlemi Kotundan(GDK) diğer detay noktaların kotları hesaplanır. Şayet detay noktaları yeteri kadar yoksa veya dağılımı homojen değil ise alan kesitlere ayrılarak detay noktalarına ölçmeler yapılır.



Harita Üzerinde Konumu Yeteri Kadar Nokta Yoksa

Ölçmeler iki taraftan yapılır. İlgili detay noktalarının sabit noktalara göre uzunlukları ölçülürken, diğer taraftan noktaların mira okumaları yapılır.

Yüzey nivelmanı yapılacak alanın mevcut bir haritası yok sa, detay noktalarının konum ve yükseklikleri nivo yardımıyla kutupsal olarak belirlenir. Kullanılacak nivo yatay açı bölümlü ve stadimetri çizgili olmalıdır. Kutupsal yönteme göre yüzey nivelmanın da nivo uygun belli bir noktaya kurulur. Diğer belli noktadan 0.00grad açı ile başlangıç yapılarak, diğer noktalara mira okumaları (alt, orta, üst)ve yatay açı ölçmeleri yapılır. GDK ilk mira okuma değerinden veya alet yüksekliğinden hesap edilir.

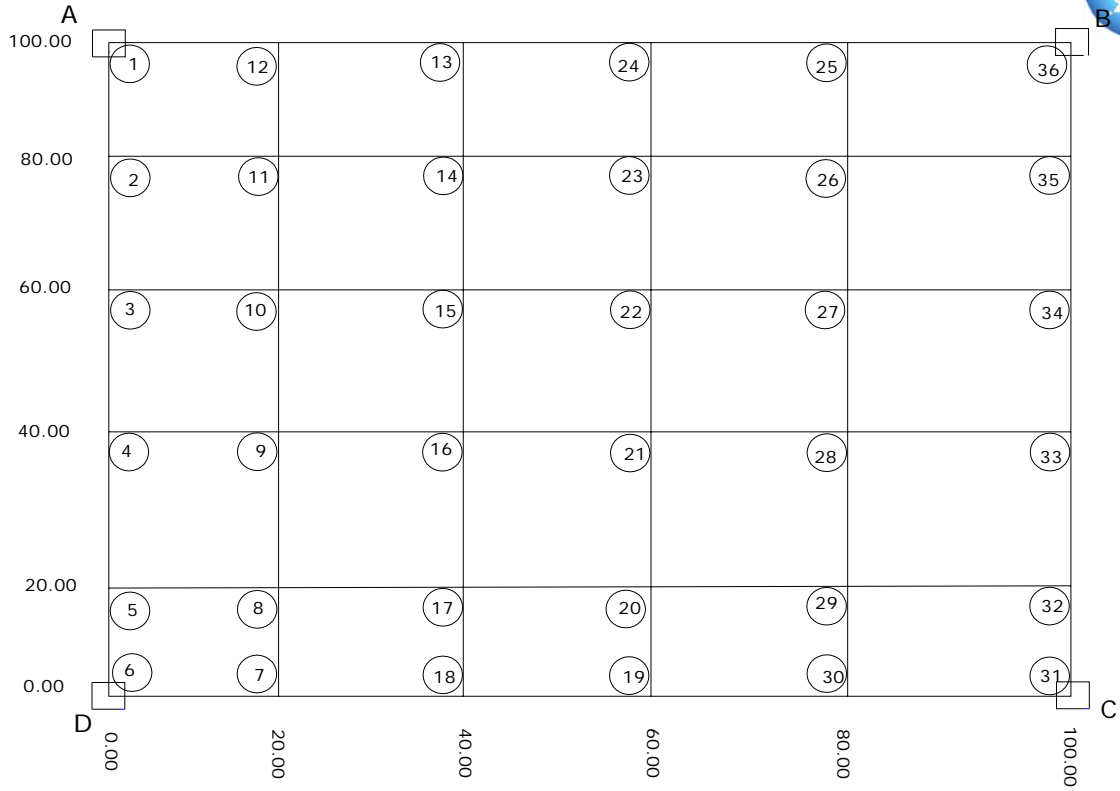


Haritası Olmayan Bölgedeki Yüzey Nivelman Ölçümü

Durulan Nokta	Bakılan Nokta	Yatay Aç	Mira Okumaları	Farklar	Yatay Uzunluk	Noktaların Kotları
P.45 ($a=1.35m$)						1026.55
	P.44	0.00				
	A	20.45	162.5 192 221.5	29.5 29.5	59.0	1025.98
	1	38.57	269 294 319	25 25	50.0	1024.96
	2	61.84	185.5 212.5 239.5	27 27	54.0	1025.77

Yüzey Nivelmanı Ölçü ve Hesap Çizelgesi

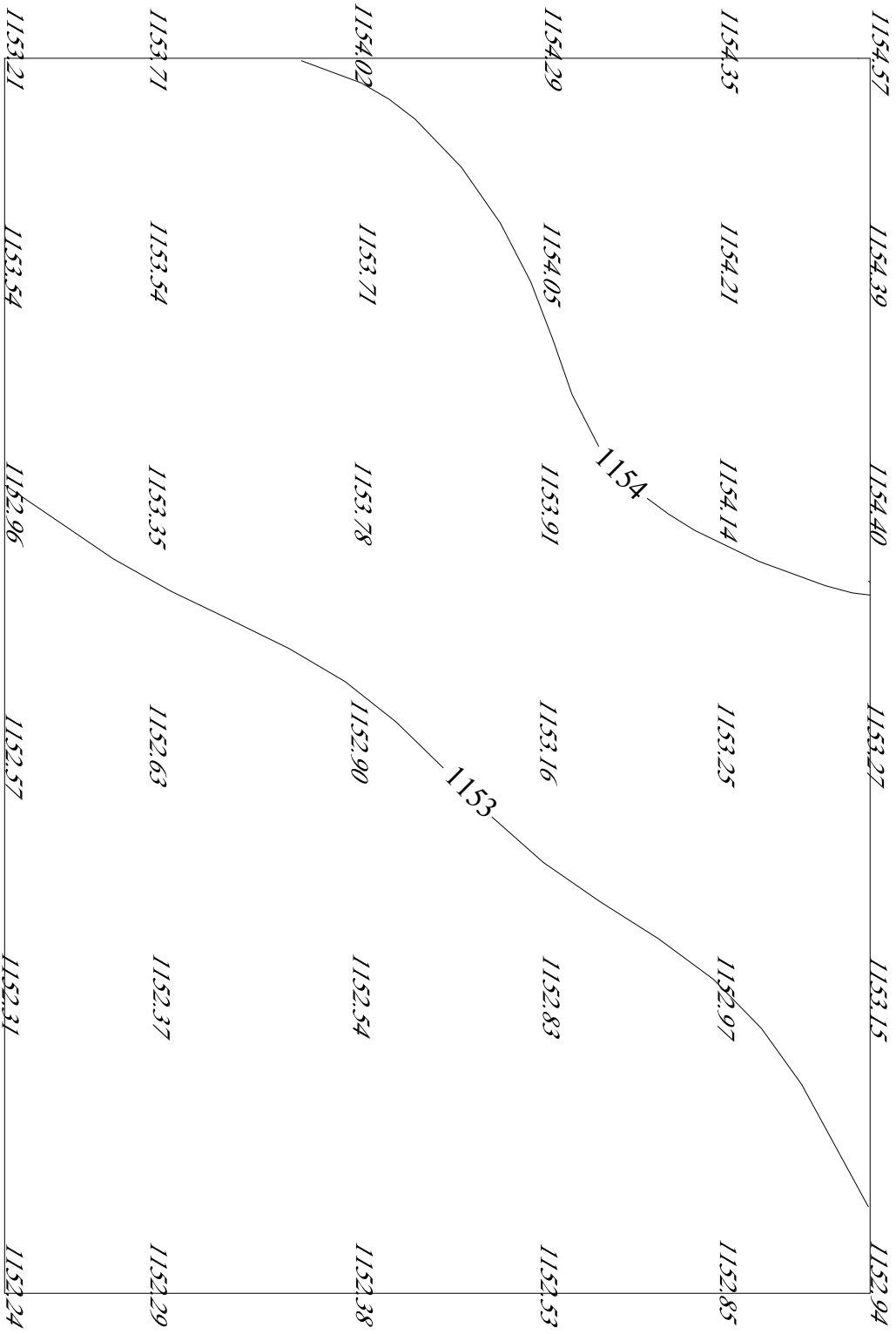
Haritası olmayan alanlarda uygulanan diğer yöntem karelej yöntemidir. Alan belirli aralıklarla karelere veya dikdörtgene bölünerek köşelere kazıklar çakılır. Bu kazıklar arası arazinin durumuna göre 10-50m arasında alınır. Kare veya dikdörtgen köşeleri arazide prizma ve teodolit kullanarak yapılır. Yine nivo bütün noktaları görebilecek uygun bir yere kurularak mira okumaları yapılır. Kotu bilinen noktadan geri okuması yapılarak, GDK hesaplanır. GDK'ya göre diğer detay noktaların kotları hesap edilir.



Haritası Olmayan Bölgede Karelej Yöntemi Şekli

8.4.2 Yüzey Nivelmanı Çizimi

Çizim, yüzey nivelmanın arazide yapılış şekline göre belirlenmelidir. Öncelikle detay noktalarının yerleri sabit noktalara göre işaretlenir. Hesap edilen noktaların kotlarına göre noktalar arasında enterpolasyon yapılarak düzeç eğrileri çizilir. Mira tutulan yereler nokta olarak gösterilir. Nokta yüksekliğin metre kısmı noktanın solunda, cm kısmı ise noktanın sağında yazılır.



Yüzey Nivelman Çizim

8.5 Trigonometrik Yükseklik Ölçümü

Alım için sıklaştırma noktalarının yükseklikleri kural olarak geometrik nivelmanla belirlenir. Mümkün olmayan durumlarda, Minare kule gibi yanına gidilemeyen ya da arazinin çok engebeli olduğu durumlarda ve geometrik nivelman inceliği istenmeyen işlerde, noktaların yükseklikleri trigonometrik yöntemle belirlenir.

Trigonometrik nivelman, daha çok nirengi noktaları ile Takeometrik alımda ve total Station benzeri elektronik aletlerle yapılan üç boyutlu kutupsal alımda nokta yüksekliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Trigonometrik yükseklik belirlemesi için yüksekliği bilinen bir noktaya teodolit ya da total Station kurularak, düşey açı okunur, alet yüksekliği ve işaret yüksekliği ölçülür. Ayrıca iki nokta arasındaki uzaklığın da bilinmesi veya ölçülmesi gerekir.

8.5.1 Düşey Açı Ölçümü ve Hesabı

İki çeşit düşey açı vardır. Bunlar zenit (Başucu) açısı ve eğim açısıdır. Teodolitlerde düşey açı ölçme düzenleri genellikle zenit açısı ölçülecek şekilde yapılmıştır. Düşey açı bölüm dairesi, daire merkezi yatay eksenle çakışacak şekilde ve düşey durumda dürbüne bağlanmıştır. Dürbün aşağı yukarı hareket ettirildiği zaman düşey açı bölüm dairesi de dürbünle birlikte hareket eder.

Düşey açı ölçümü genellikle refraksiyonun (ışığın kırılmasının) az olduğu öğle saatlerinde yapılmalıdır. Düşey açıları genellikle iki silsile olarak ölçülürler. Bir silsile düşey açı ölçümü şöyle yapılır. Alet nokta üzerine kurulup düzeçlendikten sonra bir P noktasına yöneltilir ve yatay gözleme çizgisinin ortaya yakın bir yeri dürbünün düşey az hareket vidası yardımıyla noktaya tatbik edilir. Düşey açı düzeci yataylanır ve düşey açı okunur. Eğer alet otomatik ise yani gösterge çizgisinin yataylanması bir kompansatör yardımıyla otomatik olarak yapılıyorsa düzecin ayarlanmasına gerek yoktur. Dürbün ikinci duruma getirilir ve yatay gözlem çizgisi tekrar noktaya tatbik edilip, düzeç ayarlandıktan sonra düşey açı okunur.

Düşey açı ölçümünün I. ve II durum açı değerleri toplanır ve 400g ile olan fark değeri hesaplanır. Bu farkın yarısı işarete göre I. durum değeri ile toplanarak, I. silsilenin düzeltilmiş değeri (Z1) hesaplanmış olur. Aynı şekilde ikinci silsilenin I. ve II. durum açı değerleri de toplanır ve 400g ile olan fark değeri hesaplanır ve düzeltme değerinin yarısı işarete göre I.duruma eklenerek, düzeltilmiş değeri (Z2) hesaplanmış olur. Birinci silsiledeki düzeltilmiş değeri (Z1) ile ikinci silsiledeki düzeltilmiş değerinin (Z2) ortalaması alınarak düşey açı ölçümün kesin değeri hesaplanır.

Aşağıdaki düşey açı ölçüm çizelgesini inceleyiniz.

İl:

İlçe:

Ölçü Aleti Cinsi:

Köy:

DÜŞEY AÇI ÖLÇÜM ÇİZELGESİ

No:

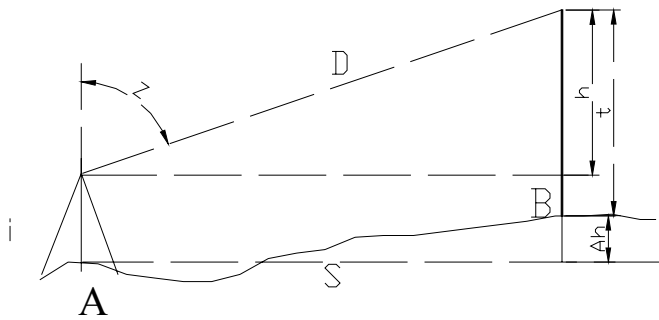
İstasyon No	102						
Alet Yüksekliği	1.52						
Bakılan No	103	104	105	101			
İşaret Yüksekliği	1.51	1.63	0.63	0			
I	101.0767	99.5969	100.5513	98.4585			
II	298.9252	300.4042	299.4502	301.5453			
Top=I+II	400.0019	400.0011	400.0015	400.0038			
K=400g-Top.	-0.0019	-0.0011	-0.0015	-0.0038			
I	101.0767	99.5969	100.5513	98.4585			
1/2K	-0.0010	-0.0006	-0.0008	-0.0019			
Z1=I+1/2K	101.0757	99.5963	100.5505	98.4566			
I	101.0785	99.5986	100.5509	98.4585			
II	298.9265	300.4037	299.4526	301.5464			
Top=I+II	400.0050	400.0023	400.0035	400.0049			
K=400g-Top.	-0.0050	-0.0023	-0.0035	-0.0049			
I	101.0785	99.5986	100.5509	98.4585			
1/2K	-0.0025	-0.0012	-0.0018	-0.0025			
Z2=I+1/2K	101.0760	99.5974	100.5491	98.4560			
Z=(Z1+Z2)/2	101.0759	99.5968	100.5498	98.4563			

Ölçen:

Kontrol Eden:

Gün:

8.5.2 Kısa Mesafede (S < 250m) Trigonometrik Yükseklik Ölçümü



Trigonometrik Nivelman

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

$$h = S \cdot \cot Z \quad \text{Yatay Uzunluğa göre}$$

$$h = D \cdot \cos Z \quad \text{Eğik Uzunluğa göre, yazılabilir.}$$

h 'ın değeri yukarıdaki eşitlikte yerine yazılırsa,

$$H_B = H_A + S \cdot \text{Cotg}Z + i - t$$

$$H_B = H_A + D \cdot \text{Cos}Z + i - t$$

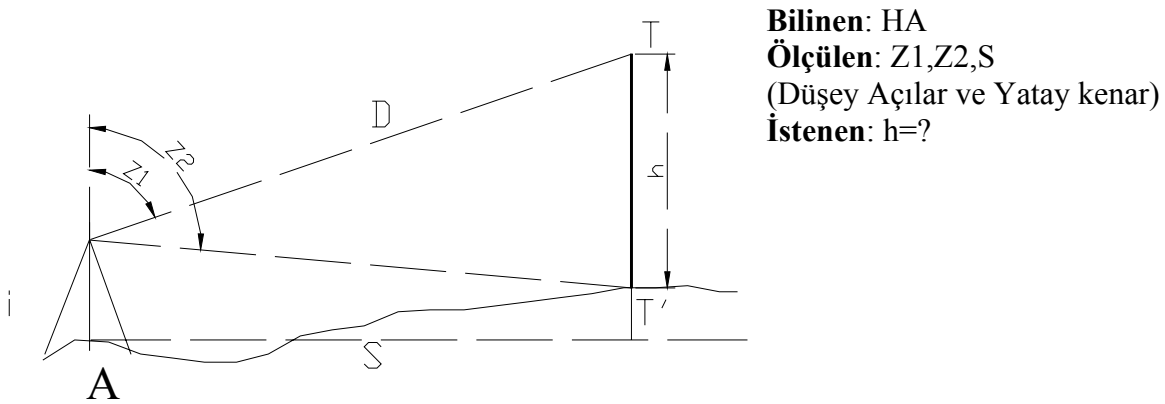
Eşitlikleri elde edilir. İki nokta arasındaki yükseklik farkının trigonometrik olarak hesaplanabilmesi için, bu noktalardan birine teodolit kurularak, diğer noktadaki işarete bakılır ve düşey açı ile birlikte yatay ya da eğik uzunluk ölçülür. Ayrıca durulan noktada alet yüksekliği, bakılan noktada işaret yüksekliği ölçülür. Yerin küreselliğinin ve refraksiyonun (ışığın kırılmasının) etkisi 250 m kadar uzunluklarda 1cm nin altında kaldığı için bu iki faktörün etkisi, 250m kadar olan uzunluklarda dikkate alınmaz. Trigonometrik yükseklik hesabında 250m kadar olan uzunluklar, kısa mesafe olarak adlandırılır.

8.5.3 Trigonometrik Nivelman ile Kule Yükseklik Ölçümü

Yüksek yapıların, yüksekliği iki çeşit ifade edilir. Rölatif yükseklik, yapının tepesinden tabanına kadar olan yükseklik iken, Mutlak yükseklik ise, yapı tepesinin deniz seviyesinden olan yüksekliğidir.

Kule yüksekliği belirlemesi, alet kurulan nokta ile kule arasındaki S uzunluğunun doğrudan ölçülüp ölçülmemesine bağlı olarak iki şekilde ele alınır.

8.5.3.1 Trigonometrik Nivelman ile Kule Yükseklik Ölçümü(S Uzunluğu Ölçülüyor)



S uzunluğunun ölçülmesi durumunda kule yüksekliği hesabı

h kule yüksekliği, şekilden de görüldüğü üzere $h = H_T - H_{T'}$ bağıntısı ile hesaplanır. Öncelikle verilenlere göre H_T ve $H_{T'}$ nün hesaplanması gerekir.

$$H_T = H_A + S \cdot \text{Cotg}Z_1$$

$$H_{T'} = H_A + S \cdot \text{Cotg}Z_2$$

$$h = H_T - H_{T'} = S \cdot (\text{Cotg}Z_1 - \text{Cotg}Z_2)$$

Eğer kulenin tabanı olan T' noktasının yüksekliği önceden biliniyorsa ya da geometrik nivelmanla belirlenmişse, trigonometrik olarak yalnızca kulenin tepesinin yüksekliğinin (H_T)

hesaplanması yeterlidir. Yine $h = H_T - H_{T'}$ bağıntısı kullanılarak h hesaplanır. Bu durumda Z_2 nin ölçülmesine gerek yoktur, fakat i alet yüksekliğinin ölçülmesi gerekir.

8.5.3.2 Trigonometrik Nivelman ile Kule Yükseklik Ölçümü(S Uzunluğu Ölçülemiyor)

Kule yüksekliğinin ölçümü için gerekli S uzunluğunun ölçülememesi durumunda, kenar iki biçimde çözülebilir.

a) Yatay Yardımcı Üçgen Yöntemi

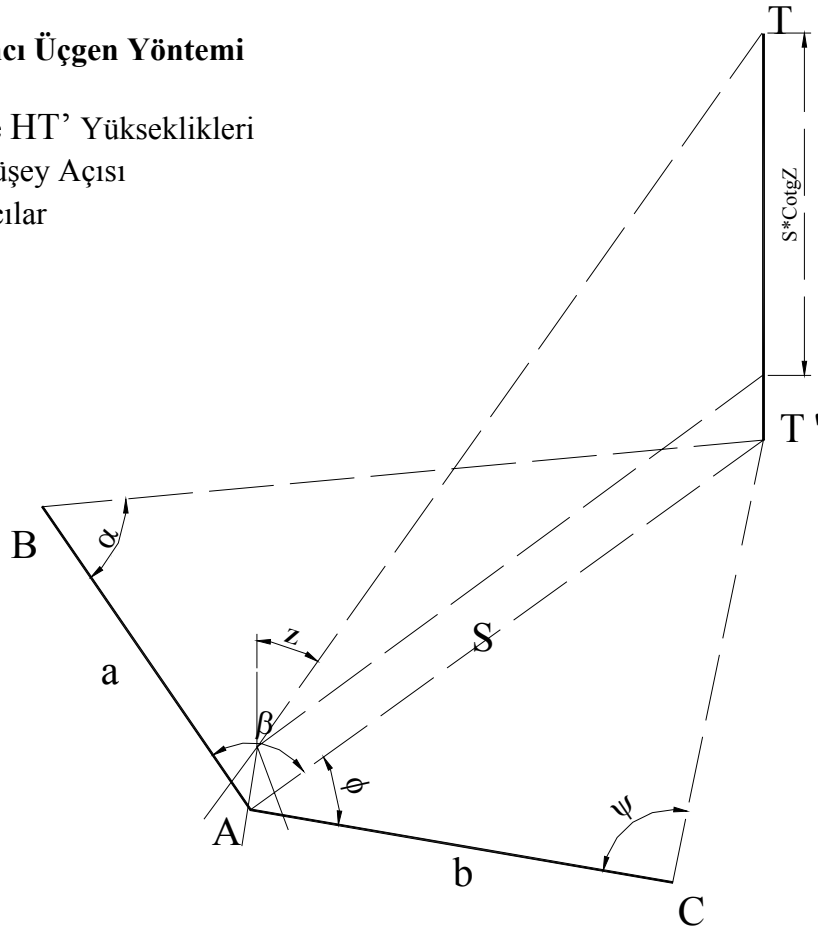
Bilinenler: H_A ve $H_{T'}$ Yükseklikleri

Ölçülenler: Z_1 Düşey Açısı

$\alpha, \beta, \Phi, \psi$ Yatay açılar

a ve b kenarları

i alet yüksekliği



Yatayda oluşturulan iki üçgenin yardımıyla kule yüksekliğinin hesabı

$$\text{ABT' üçgeninde } S = a * \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$

$$\text{ACT' üçgeninde } S = b * \frac{\sin \psi}{\sin(\Phi + \psi)}$$

Buradan ortalama S bulunur ve bu değerle de H_T yüksekliği hesaplanır.

$$H_T = H_A + i + S * \text{Cotg} Z$$

$$h = H_T - H_{T'}$$

Örnek:

$a = 28.15\text{m}$ $\alpha = 75^{\circ}.1428$
 $b = 23.90\text{m}$ $\beta = 67^{\circ}.3920$
 $Z = 95^{\circ}.1686$ $\Phi = 71^{\circ}.2675$
 $i = 1.50\text{m}$ $\psi = 80^{\circ}.4750$
 $H_A = 101.00\text{m}$
 $H_T = 101.95\text{m}$
 $h = ?$

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

$$\text{Sort} = 33.152\text{m}$$

$$S = b * \frac{\sin \psi}{\sin(\Phi + \psi)} = 33.152\text{m}$$

$$H_T = H_A + i + S * \cot g Z$$

$$H_T = 101.00 + 1.50 + 33.152 * \cot g(95^{\circ}.1686)$$

$$H_T = 105.02\text{m} \text{ (Kulenin Mutlak Yüksekliği)}$$

$$h = H_T - H_T' = 105.02 - 101.95 = 3.07\text{m} \text{ (Kulenin Rölatif Yüksekliği)}$$

b) Düşey Yardımcı Üçgen Yöntemi

Bu yöntemde A,B ve T' noktaları, aynı düşey düzlem içinde olacak şekilde seçilir.

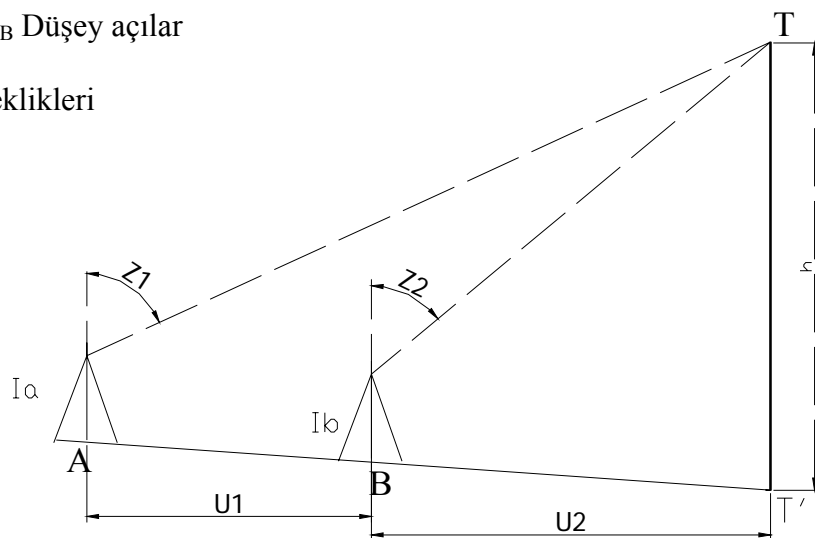
Bilinenler: H_A, H_B, H_T'

Ölçülenler: Z_A, Z_B Düşey açılar

U_1 Uzaklığı,

I_a ve I_b alet yükseklikleri

İstenen: $h=?$



Düşey Düzlemde oluşturulan iki üçgenle kule yüksekliği hesabı

$$H_T = H_A + \dot{I}a + (U_1 + U_2) * \text{Cotg} Z_1$$

$$H_T = H_B + \dot{I}b + U_2 * \text{Cotg} Z_2$$

$$H_A + \dot{I}a + (U_1 + U_2) * \text{Cotg} Z_1 = H_B + \dot{I}b + U_2 * \text{Cotg} Z_2$$

$$U_2 * \text{Cotg} Z_1 - U_2 * \text{Cotg} Z_2 = H_B + \dot{I}b - H_A - \dot{I}a - U_1 * \text{Cotg} Z_1$$

$$U_2 = \frac{H_B - H_A + \dot{I}b - \dot{I}a - U_1 * \text{Cotg} Z_1}{\text{Cotg} Z_1 - \text{Cotg} Z_2}$$

T noktasının yüksekliğini incelikli olarak hesaplanabilmesi için şu noktalara dikkat edilmelidir.

1. B noktası Z_B açısı yaklaşık 50° olacak şekilde seçilmelidir.
2. U_1 uzunluğu, kule yüksekliğinin yaklaşık iki katı olmalıdır. Bunun için Z_1 açısı 80° civarında olmalıdır.
3. A noktasındaki düşey açı Z_A, Z_B ye göre daha hassas ölçülmelidir.
4. U_2 uzunluğu hassas bir şekilde ölçülmelidir.
5. Kule yüksekliği, A noktasındaki ölçümlere göre hesaplanmalıdır. B noktasındaki hesap kontrolü için yapılmalıdır.

$$\text{Hesap: } H_T = H_A + \dot{I}a + (U_1 + U_2) * \text{Cotg} Z_1$$

$$\text{Kontrol: } H_T = H_B + \dot{I}b + U_2 * \text{Cotg} Z_2$$

Örnek:

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

$$\dot{I}a = 1.55\text{m}$$

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

$$\dot{I}b = 1.42\text{m}$$

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

$$U_1 = 42.76\text{m}$$

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

$$h = ?$$

$$H_T' = 105.24\text{m}$$

$$H_T = H_A + \dot{I}a + (U_1 + U_2) * \text{Cotg} Z_1$$

$$H_T = H_B + \dot{I}b + U_2 * \text{Cotg} Z_2$$

$$H_A + \dot{I}a + (U_1 + U_2) * \text{Cotg} Z_1 = H_B + \dot{I}b + U_2 * \text{Cotg} Z_2$$

$$U_2 = \frac{H_B - H_A + \dot{I}b - \dot{I}a - U_1 * \text{Cotg} Z_1}{\text{Cotg} Z_1 - \text{Cotg} Z_2}$$

$$U_2 = \frac{102.15 - 100.00 + 1.42 - 1.55 - 42.76 * \text{Cotg}(82.1694)}{\text{Cotg}(82.1694) - \text{Cotg}(53.4961)} = 16.903\text{m}$$

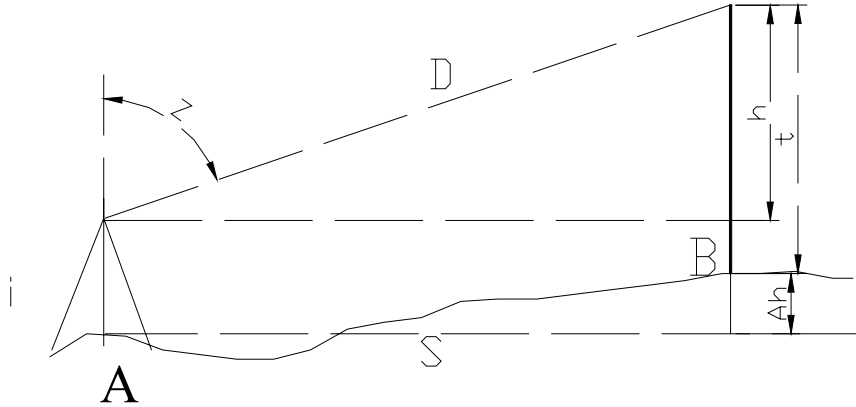
$$\text{Hesap: } H_T = 100.00 + 1.55 + (42.76 + 16.90) * \text{Cotg}(82.1694) = 118.712\text{m}$$

$$\text{Kontrol: } H_T = 102.15 + 1.42 + 16.90 * \text{Cotg}(53.4961) = 118.709\text{m}$$

$$h = H_T - H_T' = 118.71 - 105.24 = 13.47\text{m} \text{ (Kulenin Rölatif Yüksekliği)}$$

8.5.4 Uzun Mesafede ($S > 250m$) Trigonometrik Yükseklik Ölçümü

Noktalar arasındaki uzaklık 250metreden fazla ise, yerin küreselliğinin ve ışığın kırılmasının (refraksiyonun) etkisi hesaba katılır.



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

Yerin küreselliğini ve ışığın kırılmasını dikkate alındığında $k = 0.13$, $R = 6373394m$ alınır.

Örnek:

$$H_A = 2000.00m$$

$$Z = 94.7215$$

$$S = 2462.36m$$

$$i = 1.50m$$

$$t = 3.10m$$

$$R = 6373394m$$

$$H_B = ?$$

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

$$H_B = 2000.00 + 2462.36 \cdot \cot(94.7215) + \frac{(1 - 0.13)}{2 \cdot 637339} \cdot 2462.36 + 1.50 - 3.10$$

$$H_B = 2203.45m$$