

ARAŞTIRMA MAKALESİ

KISA MESAFELERDE ORTOMETRİK YÜKSEKLİK FARKLARININ HASSAS TRİGONOMETRİK NİVELMAN ÖLÇMELERİYLE BELİRLENMESİ

Metin SOYCAN, Arzu TOPBAŞ SOYCAN*Yıldız Teknik Üniversitesi ,İnşaat Fakültesi, Jeodezi Ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL***Geliş Tarihi: 05.04.2002****DETERMINATION OF ORTOMETRIC HEIGHT DIFFERENCE BY SHORT RANGE PRECISE TRIGONOMETRIC LEVELLING OBSERVATION****SUMMARY**

In practice, precise leveling or leveling are used determination of height difference. But, both of these can not be always easy and economical. Especially, it's difficult and it's not enough precise in difficult topography. In this case, precise trigonometric leveling is an alternative method. Particularly, observing simultaneous-reciprocally precise trigonometric leveling method is economical, easy and has enough precise.

ÖZET

Yükseklik farklarının belirlenmesinde en çok kullanılan hassas geometrik veya geometrik nivelman yöntemleridir. Ancak bunlar her zaman ekonomik ve kolay olmayabilir. Özellikle topoğrafyanın bozuk olduğu yerlerde uygulaması zordur ve yeterli doğruluğu sağlamayabilir. Bu durumda kullanılacak alternatif bir yöntem, hassas trigonometrik nivelman yöntemidir. Özellikle eş zamanlı karşılıklı gözlemlerle yapılan hassas trigonometrik nivelman yöntemi ekonomik ve gerekli hassasiyeti sağlamaktadır.

1. GİRİŞ

Hassas trigonometrik nivelman yöntemi, özel bir donanım kullanılması ve ölçülerin titiz bir şekilde yapılması ve gözlem uzaklığının 500m'den kısa seçilmesi ile doğruluk bakımından geometrik nivelmana eşdeğer sonuçlar sunabilmektedir. Geometrik nivelmana alternatif olarak trigonometrik nivelmanın kullanılması (BANHERT 1970, BRUNNER 1974, KRATSCH 1978, RÜEGER ve BRUNNER 1982) tarafından geliştirilen teknikler ile gündeme gelmiş ve yöntemin doğruluğunu kısıtlayan bazı problemlerin giderilmesiyle etkin olarak kullanılabilmesi ortaya çıkarılmıştır. Gözlem uzaklığının kısa seçilmesi, özel bir donanım kullanımı ve eşzamanlı-karşılıklı düşey açı ölçmeleriyle 1km'lik nivelman yolunda 5-10mm doğrulukla geometrik nivelmana eşdeğer sonuçlar elde edilebilmektedir. [1,2,8,9,10]

Bu çalışmada hassas geometrik veya geometrik nivelman yerine hassas trigonometrik nivelmanın uygulanabilirliği test edilmiş ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

2. YÜKSEKLİK FARKLARININ KISA UZUNLUKLARDA TRİGONOMETRİK NİVELMAN ÖLÇMELERİYLE BELİRLENMESİ

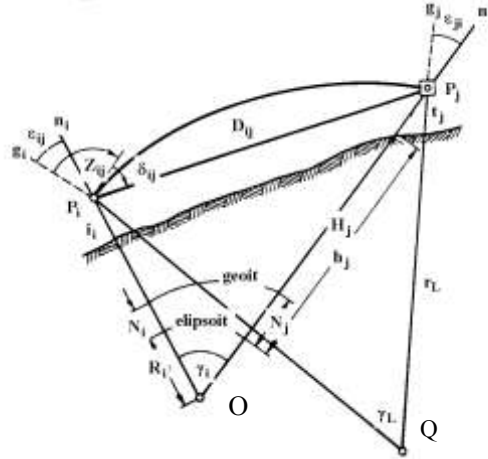
2.1. Trigonometrik Nivelman Yöntemleri

Düşey açılar ve uzunluklarla yükseklik farkı belirleme işlemine pratikte trigonometrik nivelman adı verilmektedir. İki nokta arasındaki yükseklik farkı, noktalar arası görüş olması koşulu ile direkt belirlenebilirken, geometrik nivelmana benzer şekilde parça parça ölçülen trigonometrik yükseklik farklarının toplamı ile de bulunabilir [1,6,8,9,10]. Pratikte trigonometrik nivelman üç şekilde uygulanmaktadır;

- Tek Taraflı Ölçmeler İle,
- Sıçramalı Ölçmeler İle,
- Karşılıklı veya Eş zamanlı Karşılıklı Ölçmeler İle,

2.1.1. Tek taraflı ölçmelerle trigonometrik nivelman

Tek taraflı ölçmelerle trigonometrik nivelman prensibi Şekil 1'de gösterilmiştir. Burada, ölçü aleti, yükseklik farkı belirlenecek noktalardan sadece birine kurulmakta ve ölçüler tek taraftan yapılmaktadır.



Şekil 1. Tek taraflı düşey açı ölçüleriyle trigonometrik nivelman

Burada;

- P_1, P_2 : Yükseklik farkı belirlenecek noktalar,
 n : Elipsoit normali doğrultusu,
 g : Gerçek gravite vektörü doğrultusu,
 D_{ij} : P_1, P_2 noktaları arası eğik uzaklık,
 Z_{ij} : P_1, P_2 arasında ölçülen düşey açı,
 h_j : P_j noktasının elipsoidal yüksekliği,
 H_j : P_j noktasının ortometrik yüksekliği,
 ε_{ij} : P_1 noktasındaki astrojeodezik çekül sapması
 γ_i : P_1 ve P_2 noktalarının elipsoit normaleri arasındaki açı,

δ_{ij} :	Ölçülen düşey açı üzerindeki kırılma etkisi,
γ_L :	Işın yayı merkez açısı,
r_L :	Işın yayı yarıçapı,
N :	Geoit yüksekliği,
R :	Ortalama yer yarıçapı,
i :	Alet yüksekliği,
t :	İşaret yüksekliği,

olarak tanımlanmaktadır. P_i ve P_j gibi iki nokta arasında yükseklik farkı Z_{ij} düşey açısı ve D_{ij} eğik uzunluğuna dayalı olarak,

$$\Delta H_{ij} = D_{ij} \cos Z_{ij} + CE + CD + CR + (i_i - t_j) \quad (1)$$

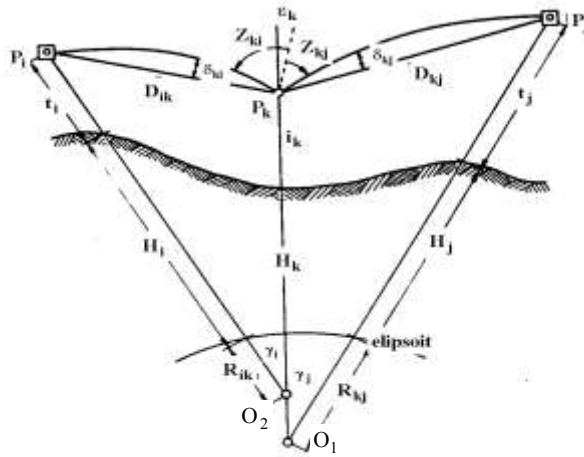
eşitliği ile bulunabilir. Burada eşitliğe getirilmesi gereken üç düzeltme yeryüzü eğriliği(CE), çekül sapması etkisi(CD) ve kırılma etkisi(CR) olup bunlar,

$$CE = \frac{(D_{ij} \sin Z_{ij})^2}{2R_{ij}} = \frac{S_{ij}^2}{2R_{ij}}; CD = -\varepsilon_{ij} S_{ij}; CR = -\frac{k_{ij}}{2R_{ij}} \cdot S_{ij}^2; S_{ij} = D_{ij} \sin Z_{ij} \quad (2)$$

olarak tanımlanmaktadır. Tek taraflı ölçülerle trigonometrik nivelmanda k_{ij} kırılma değeri için, deneysel olarak belirlenmiş ortalama bir değer kullanılabilir [10]. Ayrıca, farklı atmosferik koşullarda, farklı zamanlarda, her iki noktada yapılacak ölçmelerden bulunacak yükseklik farklarının ortalaması da tek taraflı ölçmelerle trigonometrik nivelman doğruluğunu artırabilir.

2.1.2. Sıçramalı ölçmelerle trigonometrik nivelman

Geometrik nivelmana benzer şekilde ölçme aleti, yükseklik farkı belirlenecek iki nokta arasına yerleştirilerek yapılan düşey açı ve uzunluk ölçmeleriyle P_i ve P_j noktaları arasındaki yükseklik farkı, tek taraflı iki gözlem eşitliğinin farkı alınmak suretiyle belirlenmektedir.



Şekil 2. Sıçramalı ölçülerle trigonometrik nivelman

P_i ve P_j noktaları arasındaki yükseklik farkı,

$$\Delta H_{ij} = \Delta H_{kj} - \Delta H_{ki} = D_{kj} \cdot \cos(Z_{kj}) + t_i - D_{ki} \cdot \cos(Z_{ki}) + t_j + CE + CD + CR \quad (3)$$

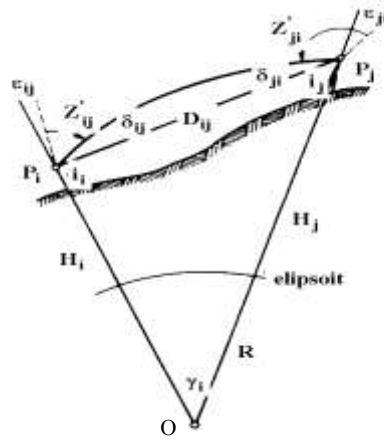
olarak yazılabilir. Eşitliğe getirilmesi gereken, CE, CD ve CR düzeltmeleri ise;

$$CE = \frac{1}{2R}(S_{kj}^2 - S_{ki}^2); \quad CD = -\varepsilon_k(S_{kj} + S_{ki}), \quad CR = -\frac{1}{2R}(S_{ij}^2 k_{lj} - S_{li}^2 k_{li}) \quad (4)$$

olarak tanımlanabilir. Eğer $S_{kj} = S_{ki}$ olarak alınırsa, yeryuvarının eğriliğinin etkisi tamamen giderilmekte ve kırılma etkisi de büyük ölçüde indirgenmektedir [10].

2.1.3. Karşılıklı ölçmelerle trigonometrik nivelman

En hassas yöntem olmasına karşın, uzun zaman ve özel bir ölçme donanımı gerektiren bir yöntemdir. Ölçülerin yapılabilmesi için, minimum iki elektronik takeometre veya iki teodolit ile bir uzaklık ölçer gerekmektedir. Düşey açıların karşılıklı ve eşzamanlı olarak ölçülmesi ile kırılma etkisi minimuma indirgenmektedir.



Şekil 3. Karşılıklı düşey açı ölçüleriyle trigonometrik nivelman

P_i ve P_j noktaları arasındaki yükseklik farkı,

$$\Delta H_{ij} = \frac{1}{2} D_{ij} (\cos Z_{ij} - \cos Z_{ji}) + (i_i - i_j) + CE + CD + CR \quad (5)$$

eşitliği ile yazılabilir. Eşitliğe getirilecek, CE, CD ve CR düzeltmeleri ise;

$$CE = \frac{1}{2} \left(\frac{S_{ij}^2}{2R} - \frac{S_{ji}^2}{2R} \right) = 0; \quad CD = -\frac{1}{2} S_{ij} (\varepsilon_{ij} + \varepsilon_{ji}); \quad CR = -\frac{S_{ij}^2}{4R} (k_{ij} - k_{ji}) \quad (6)$$

olarak yazılabilir.

(Rüeger ve Brunner, 1981; Rüeger ve Brunner, 1982; Kuntz ve Schmitt, 1986; Tilik ve Thies, 1986; Aksoy vd., 1993)'e göre 500 m' den kısa uzunluklarda çekül sapmasının yükseklik üzerindeki etkisinin çok küçük olduğu kabul edilebilir. Yeryuvarı eğriliği ise eşit uzunluklarda giderilmektedir. Bu durumda geriye kalan en önemli etki kırılma etkisi olup, bu etki, noktalar arası uzunluklar kısa seçilip, uygun meteorolojik koşullarda eşzamanlı ve karşılıklı düşey açı gözlemleri yapılarak büyük ölçüde indirgenmektedir.

2.2. Trigonometrik Nivelmanın Doğruluğunun İrdelenmesi

2.2.1. Kuramsal yaklaşım

Trigonometrik olarak belirlenen yükseklik farkları, rastgele ve sistematik olarak birçok parametreden etkilenmektedir. Bu yükseklik farklarının doğrulukları ise, hata yayılma kuralı ile ifade edilebilmektedir. Trigonometrik nivelmanda, ölçülen uzunluk ve düşey açıları etkileyen hatalar tamamen rastgele dağılımlı olup ilişkili değildir. Kırılma katsayısındaki farklarda rastgele hata olarak ele alınmaktadır.

(4.1) eşitliği kullanılarak, tek taraflı hesaplanan yükseklik farkının ortalama hatası için;

$$m_{\Delta H}^2 = S^2 m_Z^2 + \cos^2 Z m_D^2 + \frac{S^4}{4R^2} m_k^2 \quad (7)$$

eşitliği yazılabilir [10]. Geometrik nivelmanda olduğu gibi; 1km'lik trigonometrik nivelman yolundaki ortalama hata ele alınır. Bu durumda;

$$m_{1km}^2 = n m_{\Delta H}^2 \quad (8)$$

Burada n, 1 km' deki alet kurma sayısı ve S yatay uzaklık olup $n = 1000/S$ olarak ifade edilebilir. Örneğin 1 km' lik nivelman yolu 100 m' lik parçalarla ölçüldüğü zaman

$$m_{1km}^2 = 10 m_{\Delta H}^2 \text{ olmaktadır.}$$

1 km' deki ortalama hata olan (4.17) eşitliği, tek taraflı, sıçramalı ve karşılıklı yöntemler için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$m_{Tkm}^2 = 1000 \left\{ \frac{\cos^2 Z}{S} m_D^2 + S m_Z^2 + \frac{S^3}{4R^2} m_k^2 \right\}$$

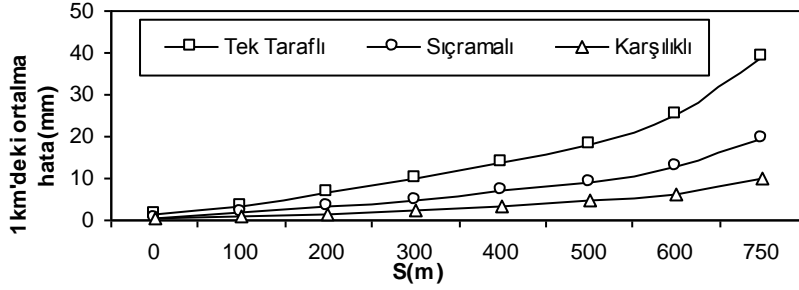
$$m_{Skm}^2 = 1000 \left\{ \frac{\cos^2 Z}{S} m_D^2 + S m_Z^2 + \frac{S^3}{8R^2} \Delta k^2 \right\}$$

$$m_{KAKm}^2 = 1000 \left\{ \frac{\cos^2 Z}{S} m_D^2 + \frac{S}{2} m_Z^2 + \frac{S^3}{16R^2} \Delta k^2 \right\} \quad (9)$$

Burada;

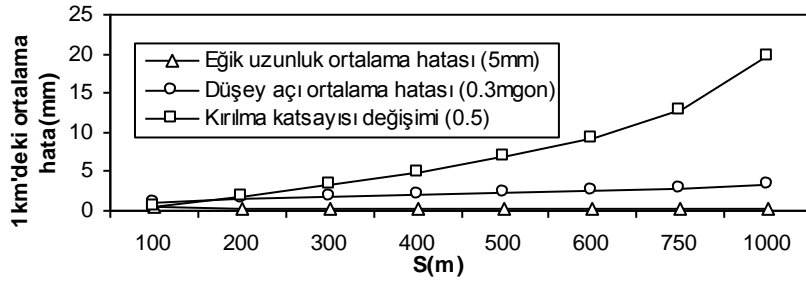
m_T :	Tek taraflı trigonometrik nivelman yönteminin ortalama hatası,
m_S :	Sıçramalı trigonometrik nivelman yönteminin ortalama hatası,
m_{KA} :	Karşılıklı trigonometrik nivelman yönteminin ortalama hatası,
R:	Ortalama yer yarıçapı,
m_D :	Ölçülen eğik uzunluğun ortalama hatası,
m_Z :	Ölçülen düşey açı ortalama hatası,
m_k :	Kırılma katsayısı ortalama hatası,
Δk :	Kırılma katsayısı değişimi,
S:	Yatay uzunluk,

Yukarıdaki eşitlikler karşılaştırıldığında, uzunluktan kaynaklanan hata miktarının her üç yöntemde de aynı olduğu görülmektedir. Düşey açı hatasının etkisi ise tek taraflı ve sıçramalı gözlemlerde aynı miktarda olup, karşılıklı gözlemleri diğerlerinin yarısı kadar etkilemektedir. Kırılmanın etkisi ise her yöntemde farklılık göstermektedir. Bu durum Şekil 4' deki grafikte gösterilmektedir.



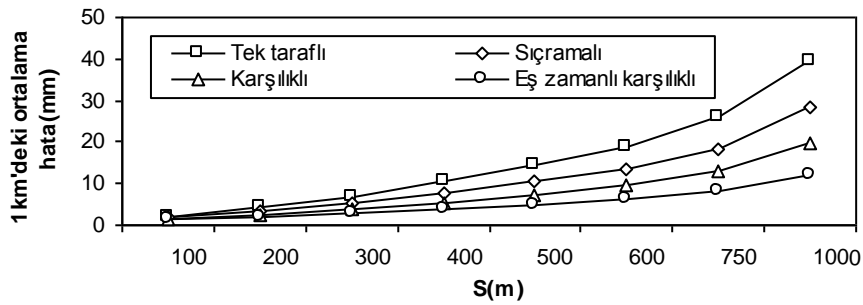
Şekil 4. Δk kırılma katsayısı değişiminin yükseklik farkına etkisi ($\Delta k = \pm 0.5$, $Z=98^9$)

Şekil 5' de ise 1 km' lik trigonometrik nivelman yolu için karşılıklı ölçmeleri etkileyen her bir parametrenin büyüklüğü incelenmiştir. Uzunluk etkisi 1 mm' nin altında kalırken alet kurma sayısının azalmasıyla düşmektedir. Düşey açının etkisi ise uzunluğa bağlı olarak bir artma göstermektedir. Açık ve uzunluktaki etkiler 3 mm' nin altında kalırken; kırılma etkisi uzunluğa bağlı olarak artış göstermekte ve cm mertebesine ulaşmaktadır.



Şekil 5. 1 km'lik nivelman yolu için karşılıklı ölçmelerdeki her bir parametrenin etkisi ($Z=98^9$)

$Z=98$ gon, $m_D = \pm 5$ mm, $m_Z = 0.3$ mgon değerlerindeki her bir yöntemin ortalama hatası incelenecek olursa Şekil 6'daki grafik elde edilebilir. Burada tek taraflı, sıçramalı ve karşılıklı gözlemlerdeki Δk değerleri 0.5, eş zamanlı-karşılıklı gözlemler için 0.3 alınmıştır [9].



Şekil 6. Yöntemlerin 1 km' deki ortalama hataları ($Z=98$ gon, $m_D = \pm 5$ mm, $m_Z = \pm 0.3$ mgon)

2.2.2. Ölçü çiftleri arasındaki farktan ortalama hata hesabı

Yukarıda kuramsal doğruluğu incelenen trigonometrik nivelmanın gidiş-dönüş olarak veya çift ölçü ile yapılması durumunda, geometrik nivelman yönteminin ortalama hata hesabında kullanılan aşağıdaki eşitlikler kullanılarak, trigonometrik nivelman yönteminin ortalama hatası hesaplanabilir. Gidiş-dönüş ölçüsü yapılan iki nokta arası nivelman yolu $R_{[km]}$ olarak alınırsa, 1 km' lik nivelman yolundaki ortalama hata;

$$m_{Niv_{km}} = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum R_{[km]}^2} \quad (10)$$

olarak yazılabilir [3,5].

Bir ölçünün ortalamasının ortalama hatası ise,

$$M_{Niv_{km}} = \pm \frac{S_{Niv_{km}}}{\sqrt{2}} \quad (11)$$

eşitliği ile bulunabilir. Burada;

d: İki ölçü arasındaki fark

R: Kilometre olarak nivelman yolu

n: Güzergahta ölçülen yükseklik farkı sayısı

olarak tanımlanabilir.

2.2.3. Kapanmalardan ortalama hata hesabı

Yükseklikleri bilinen iki nokta arasında yapılan trigonometrik nivelmanın kapanması r ile gösterilirse, bu güzergahın, kapanmadan hesaplanan 1 km' deki ortalama hatası için,

$$m_{Niv_{km}} = \pm \frac{r}{\sqrt{\sum R_{[km]}}} \quad (12)$$

eşitliği yazılabilir [3,5].

Bir kapanma istatistiksel olarak güvenilir sonuç vermez. Bunun yerine, nivelman ölçüsü yapılan bölge içerisinde oluşturulan tüm nivelman güzergahlarının kapanmaları kullanılarak, hata hesabı yapmak gerekir, n sayıdaki nivelman güzergahının kapanmaları ile ortalama hata,

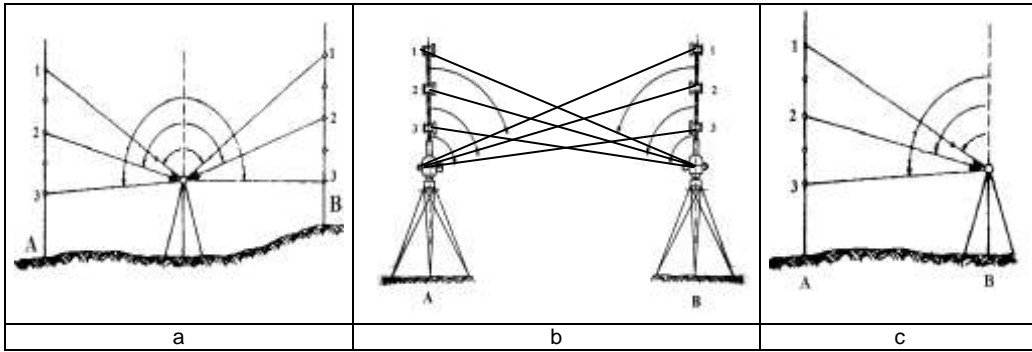
$$m_{Niv_{km}} = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum \frac{r^2}{\sum R_{[km]}}} \quad (13)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Ölçü çiftlerinden (10) eşitliği ile hesaplanan ortalama hata ile, kapanmalardan (13) eşitliği ile hesaplanmış ortalama hata arasında, önemli bir fark yoksa, sistematik hataların giderildiği varsayılabilir [5].

2.3. Hassas Trigonometrik Nivelman Ölçmeleri

Trigonometrik nivelman ölçülerinin yapılmasında, klasik ve elektronik ölçme aletleri kullanılabilir, uzunluklar elektronik uzunluk ölçer ile ölçülebilir. Düşey açı ölçüleri ise yeterli hassasiyeti sağlayan bir elektronik açı ölçer veya teodolit ile yapılabilir. Günümüzde gelişen modern hassas elektronik takeometreler kullanılarak düşey açı ve uzunluklar birlikte ölçülebilir. Tek taraflı ve sıçramalı gözlemlerde kullanılan donanım, bir alet ve bir hedef olmak üzere basit bir şekilde kurulabilirken, eşzamanlı-karşılıklı ölçmelerde kullanılacak donanımın tasarımı önemli bir problemdir. Özellikle düşey açı ölçülerinin yapılacağı hedeflerin aletler üzerine oldukça uygun bir şekilde monte edilmesi

düşey açı ve uzunluk ölçülerinin aynı anda yapılması ve mümkünse zorunlu merkezleştirme kullanılması gerekmektedir. Hedefteki işaretin birden çok kısmına bakılarak ölçme doğruluğu artırılabilir. Sıçramalı gözlemler için, Şekil 7a' da gösterilen, Rüeger ve Brunner' in ortaya attıkları "atlamalı durak yöntemi" veya benzerleri kullanılabilir. Bu yöntemlere benzer olarak geliştirilen eşzamanlı karşılıklı gözlemler için kullanılan "Trigonometrik nivelmanın geliştirilmiş karşılıklı eşzamanlı gözlem yöntemi" [1] Şekil 7b' deki gibidir. Bu yöntemde, düşey açılar ve eğik uzunluklar, birden fazla gözlem işaretli bir hedefe bakılarak ölçülmektedir. Hedefteki işaretlerin birbirine göre konumları hassas bir şekilde belirlenmelidir. Ölçü sayısının artırılması ve yöntemin 500 m' den küçük gözlem uzunluğunda uygulanması doğruluğu artırmaktadır [1,6,8,9,10].



Şekil 7. Hassas trigonometrik nivelman ölçmeleri

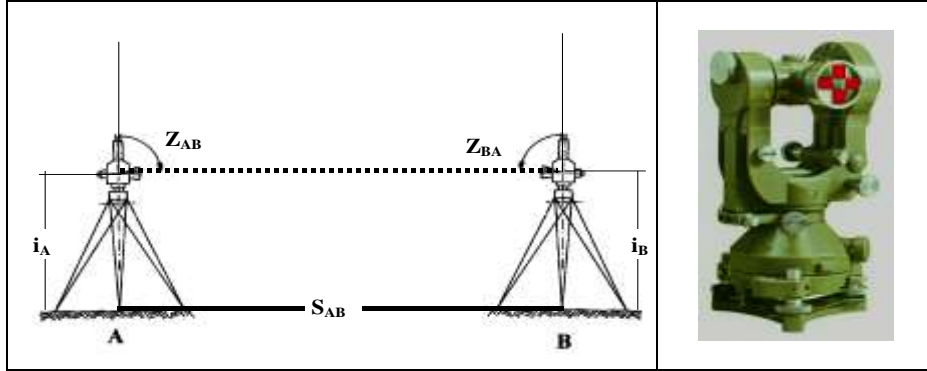
Karşılıklı ve sıçramalı ölçülerle trigonometrik nivelman yöntemlerinin uygulanamadığı veya daha düşük doğruluk gerektiren çalışmalar için, tek taraflı ölçmelerle trigonometrik nivelman yöntemi uygulanabilir. Ölçüler, Şekil 7c' de gösterildiği gibi, işaretin birden fazla kısmına gözlem yapılarak gerçekleştirilebilir [1]. Hedef üzerinde birden fazla işarete gözlem yapılamıyorsa, veya böyle bir donanım kullanımı mümkün olmuyorsa, dizi sayısı artırılarak veya alt, orta, üst stadimetre çizgileri ayrı ayrı hedefe tatbik edilerek düşey açı ölçü sayısı artırılabilir.

Tüm yöntemlerde eğik uzunluklar, yeterli hassasiyeti sağlayan bir elektronik uzunluk ölçer ve elektronik takeometre ile ölçülebilir. Kullanılan uzunluk ölçerin kontrol ve kalibrasyonu yapılmış olmalıdır, uzunluklar karşılıklı ve eğik olarak ölçülmeli ve yataya indirgemedede kullanılacak meteorolojik veriler ölçülmelidir. Özellikle eşzamanlı karşılıklı ölçülerle trigonometrik nivelman yönteminde alet her iki noktaya kurulabildiği için uzunluklarında karşılıklı ölçülmesi doğruluğu artıracaktır. Düşey açı ölçüleri yapılacak hedefler sabit ve iyi seçilebilen bir şekilde olmalı, hedefleme hatası minimum düzeyde tutulmalıdır. Düşey açı ölçüleri üzerindeki indeks hatasının giderilebilmesi için, ölçmeler, birinci ve ikinci dürbün durumunda, birkaç dizi olarak yapılmalıdır. İndeks hataları laboratuvar ölçmeleriyle belirlenmeli ve ölçülen düşey açılara düzeltme olarak getirilmelidir.

2.3.1. Eş Zamanlı Karşılıklı Düşey Açı Ölçmeleri İçin Tasarlanmış Bir Donanım

Burada, özellikle düşey açı ölçülerinin eş zamanlı ve karşılıklı olarak ölçülebilmesi için tasarlanmış ve yeterli hassasiyete sahip bir donanım tasarımı amaçlanmıştır. Bunun için, mevcut donanımlarımız içerisinde Wild-T2 teodolitleri uygun görülmüştür. Şekil 8'de gösterilen Wild-T2 teodolitlerinin, dürbünlerine monte edilen hedef işaretleri

kullanılmak suretiyle hem düşey açıların eş zamanlı ve karşılıklı olarak ölçülebilmesi koşulu sağlanmış hem de kolay ve ekonomik bir şekilde oluşturulabilen, gözlem için ideal, hedefleme hatasını minimum tutabilecek, bir hedef işareti tasarlanmıştır.



Şekil 8. Wild-T2 teodoliti dürbünü üzerine monte edilmiş hedef işareti

Hedef işareti olarak yapıştırılabilir kırmızı bir bant kullanılmış ve dürbün üzerine hedef şeklinde yapıştırılmıştır. Düşey açı ölçülerinin yapılması sırasında, iki adet Wild-T2 teodoliti kullanılmış eş zamanlı ve karşılıklı olarak, her iki dürbün durumunda toplam iki dizi düşey açı ölçülmüştür. Uzunluk ölçüleri ise düşey açı ölçülerinden hemen sonra bağımsız olarak Geodimeter-520 modeli elektronik takeometre kullanılarak ölçülmüştür. Ölçme donanımı Şekil 8'de verilmektedir. Şekil 8'de gösterilen, Z_{AB} ve Z_{BA} karşılıklı olarak ölçülen düşey açıları, i_A ve i_B alet yükseklikleri, S_{AB} elektronik uzunluk ölçerle ölçülmüş ve yataya indirgenmiş uzunluk olmak üzere, A ve B noktaları arasındaki ΔH yükseklik farkı için;

$$\Delta H = \frac{1}{2} S_{AB} (\cot Z_{AB} - \cot Z_{BA}) + i_A - i_B \quad (14)$$

eşitliği yazılabilir. Hesaplanacak yükseklik farkının, kırılma katsayısı değişiminden minimum düzeyde etkilenmesi için dikkat edilmesi gereken en önemli unsur, dizi şeklinde ölçülen düşey açıların ortalaması kullanılarak yükseklik farkının hesaplanması yerine, ölçülen her düşey açı için ayrı ayrı yükseklik farklarının hesaplanarak, ortalamalarının kullanılmasıdır. Tablo 1'de, iki tam dizi şeklinde ölçülen düşey açıları ile ortalama yükseklik farkının nasıl belirleneceği ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Tablo 1. Eş zamanlı karşılıklı hassas trigonometrik nivelman yönteminde düşey açı ölçme ve yükseklik farkı hesaplama düzeni

Dizi No.	D.N	B.N	Düşey Açılar		Yükseklik Farkları		Ortalama
			I.Durum	II.Durum	I.Durum	II.Durum	
1	A	B	Z _{AB1}	Z _{AB1'}			ΔH ₁
	B	A	Z _{BA1}	Z _{BA1'}	ΔH _{1^I}	ΔH _{1^{II}}	
2	A	B	Z _{AB2}	Z _{AB2'}			ΔH ₂
	B	A	Z _{BA2}	Z _{BA2'}	ΔH _{2^I}	ΔH _{2^{II}}	
Ortalama Yükseklik farkı							ΔH_{AB}

Düşey açı ölçme sırası 1. dizi için, I. durumda eş zamanlı olarak Z_{BA1} ve Z_{AB1} , II. durumda eş zamanlı olarak Z_{BA1} ve Z_{AB1} , 2. dizi için, I. durumda eş zamanlı olarak Z_{BA2} ve Z_{AB2} , II. durumda eş zamanlı olarak Z_{BA2} ve Z_{AB2} şeklindedir. $\Delta H_1^I, \Delta H_1^{II}, \Delta H_2^I, \Delta H_2^{II}$ yükseklik farkları ise, (4.23) eşitliği kullanılarak hesaplanır. Her iki dürbün durumundaki, yüksekliklerin ortalamaları alınarak, $\Delta H_1, \Delta H_2$, yükseklik farkları bulunabilir. A ve B noktaları arasındaki ortalama yükseklik farkı olan ΔH_{AB} yükseklik farkı ise, $\Delta H_1, \Delta H_2$, yükseklik farklarının ortalaması olarak hesaplanabilir (Tablo 1).

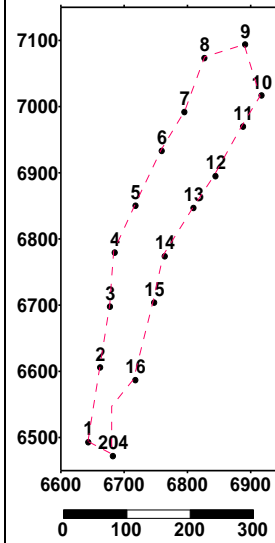
3. YÜKSEKLİK BELİRLEME YÖNTEMLERİNİN 1KM'DE SAĞLADIKLARI DOĞRULUĞUN ARAŞTIRILMASINA YÖNELİK SAYISAL UYGULAMA

Trigonometrik nivelman yöntemlerinin, 1 km' de sağlamış oldukları doğrulukların belirlenmesi amacı ile yapılan bu uygulamada, Yıldız Teknik Üniversitesi merkez kampüsü civarında oluşturulan yaklaşık 1.7 km civarındaki kapalı nivelman güzergahında, yaklaşık 100 m aralıklarla 16 ara nokta seçilerek hassas geometrik nivelman (HGN), normal geometrik nivelman (NGN), eşzamanlı ve karşılıklı düşey açı ölçmeleri ile hassas trigonometrik nivelman (EKHTN), sıçramalı gözlemlerle trigonometrik nivelman (STN) ve tek taraflı düşey açılar ile trigonometrik nivelman (TTN) ölçmeleri gerçekleştirilmiş ve değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Test alanı ve yapılan nivelman ölçme sonuçları

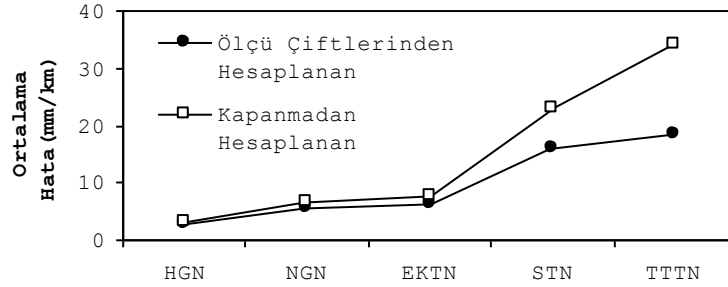
	HGN		NGN		EKHTN		STN		TTN	
204	$\Delta H_{ORT.}$	d	$\Delta H_{ORT.}$	d	$\Delta H_{ORT.}$	d	$\Delta H_{ORT.}$	d	$\Delta H_{ORT.}$	d
1	11,2628	-0,5	11,2685	-1,0	11,2675	5,0	11,2576	6,8	11,2790	14,0
2	11,2753	-1,7	11,2769	-1,8	11,2811	-5,8	11,2624	7,2	11,2686	-11,8
3	6,1086	0,8	6,1030	-4,0	6,1149	-1,8	6,1096	-7,2	6,1213	-4,6
4	3,2081	-1,1	3,2055	3,0	3,2080	2,0	3,2230	11,9	3,2172	3,6
5	0,4116	-0,6	0,4160	2,0	0,4110	2,0	0,4172	-2,4	0,4243	14,6
6	6,3841	-0,2	6,3815	-3,0	6,3799	4,2	6,3761	5,8	6,3943	-5,4
7	8,0312	0,6	8,0345	-3,0	8,0335	-3,0	8,0318	-1,6	8,0204	19,8
8	7,2448	1,5	7,2435	1,0	7,2406	-3,2	7,2312	19,7	7,2317	-11,4
9	-0,2892	-0,3	-0,2890	-2,0	-0,2872	-1,6	-0,2835	-5,1	-0,2935	13,0
10	-2,9912	3,7	-2,9915	3,0	-2,9930	2,0	-3,0043	8,7	-3,0055	-27,0
11	-14,7983	0,5	-14,7950	-2,0	-14,7900	-4,0	-14,7943	-7,5	-14,7841	-4,2
12	-7,6298	1,5	-7,6235	-3,0	-7,6260	-4,0	-7,6266	-4,8	-7,6372	20,4
13	-6,3096	0,1	-6,3062	-0,4	-6,3075	-1,0	-6,3149	1,8	-6,3141	8,2
14	-7,9728	1,6	-7,9700	2,0	-7,9783	0,6	-7,9590	-5,3	-7,9603	3,4
15	-7,4575	-1,0	-7,4563	2,6	-7,4569	1,8	-7,4526	-6,8	-7,4599	7,7
16	-9,2520	1,3	-9,2575	-3,0	-9,2546	-0,8	-9,2335	7,0	-9,2367	7,4
204	2,7695	-1,0	2,7684	-0,4	2,7671	-4,2	2,7897	1,0	2,7788	-13,6

$\Delta H_{ORT.}$: Gidiş ve dönüş ölçü ortalaması,(metre)
d : Gidiş ve dönüş farkı(milimetre)



Ölçmeler, ortalama hata hesabı ve doğruluk araştırması yapabilmek için gidiş-dönüş olarak yapılmıştır. Hassas nivelman ölçüleri Wild-NAK2 nivosu ve mm bölümlendirilmiş özel miralarla, normal geometrik nivelman Wild-NAK2 nivosu ve standart ahşap miralarla, karşılıklı ve eşzamanlı düşey açılar, Şekil 8'de gösterilen, tarafımızdan

geliştirilen Wild-T2 teodolitine monte edilen gözlem işaretleri kullanılarak ölçülmüştür. Sıçramalı ve tek taraflı gözlemlerle trigonometrik nivelman ölçülerinde ise Geodimeter-520 elektronik takeometresi kullanılmıştır.

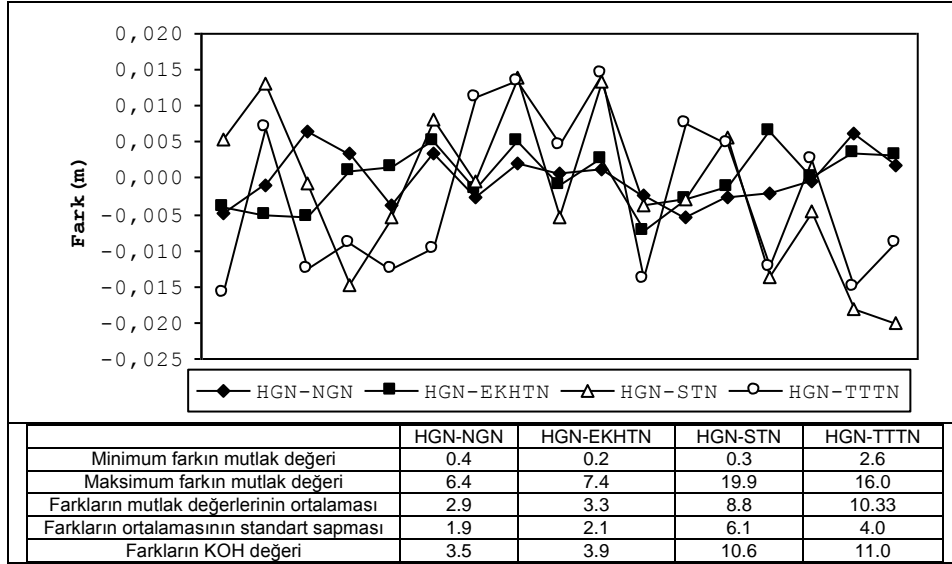


Şekil 9. Tüm nivelman yöntemlerinin kapanma ve ölçü çiftlerinden hesaplanan ortalama hataları

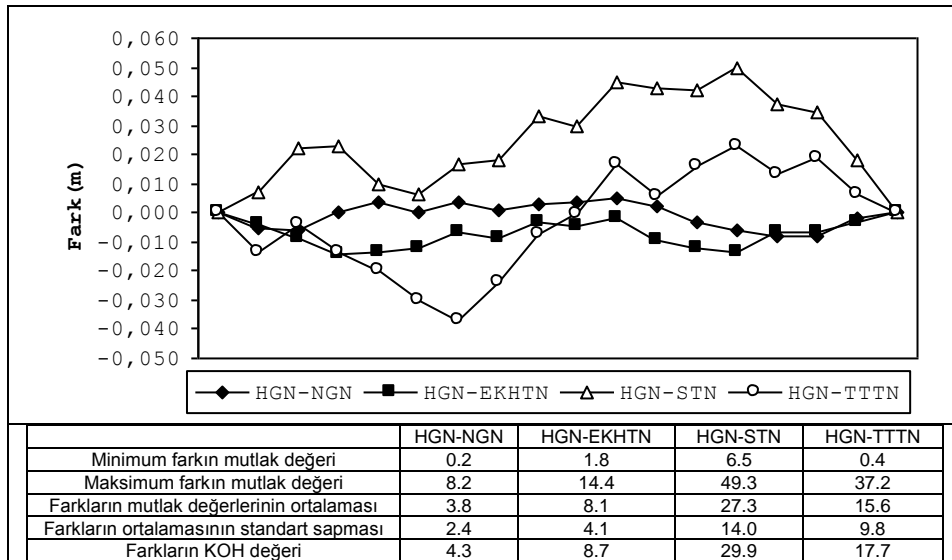
Değerlendirmelerde, hassas geometrik nivelman doğruluğu, gidiş-dönüş ölçü çiftlerinden ± 2.82 mm/km, lup kapanmasından ± 3.29 mm/km, normal geometrik nivelman doğruluğu, gidiş-dönüş ölçü çiftlerinden ± 5.42 mm/km, lup kapanmasından ± 6.75 mm/km, eşzamanlı ve karşılıklı düşey açı ölçmeleri ile hassas trigonometrik nivelman yönteminin doğruluğu, gidiş-dönüş ölçü çiftlerinden ± 6.40 mm/km, lup kapanmasından ± 7.75 mm/km, elektronik takeometre ile sıçramalı gözlemler yapılarak uygulanan trigonometrik nivelman yönteminin doğruluğu, gidiş-dönüş ölçülerinden ± 15.84 mm/km, lup kapanmasından ± 22.93 mm/km ve son olarak tek taraflı düşey açı gözlemleri ile yapılan trigonometrik nivelman doğruluğu ise gidiş-dönüş ölçülerinden ± 18.49 mm/km, lup kapanmasından ± 33.98 mm/km olarak hesaplanmıştır (Şekil 9).

Bir tek nivelman güzergahı için ölçü çifti veya kapanmadan elde edilen ortalama hata güvenilir olmayabilir. Bu bakımdan, hassas geometrik nivelmandan elde edilen yükseklik ve yükseklik farklarının kesin değerlere en yakın olduğu düşünülerek, diğer üç yöntem ile elde edilen yükseklik ve yükseklik farkları hassas geometrik nivelman değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yükseklik farklarının karşılaştırılmasından elde edilen farklar incelendiğinde, hassas geometrik nivelmanla normal geometrik nivelmanın ± 3.5 mm KOH (Karesel Ortalama Hata), eş zamanlı karşılıklı hassas trigonometrik nivelmanın ± 3.9 mm KOH, elektronik takeometre ile sıçramalı gözlemlerle trigonometrik nivelmanın ± 10.6 mm KOH, tek taraflı ölçülerin ise ± 11.0 mm KOH ile uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 10).

Nivelman hesabı sonucunda bulunan yükseklik değerlerinin karşılaştırılması sonucu, hassas geometrik nivelman ile geometrik nivelmanın ± 4.3 mm KOH, eş zamanlı karşılıklı hassas trigonometrik nivelmanın ± 8.7 mm KOH, elektronik takeometre ile sıçramalı gözlemlerle trigonometrik nivelmanın ± 29.9 mm KOH, tek taraflı ölçülerin ise ± 17.7 mm KOH ile uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 11).



Şekil 10. Diğer yöntemlerle ölçülen yükseklik farklarının hassas geometrik nivelman ile ölçülen yükseklik farkları ile karşılaştırılması



Şekil 11. Diğer yöntemlerle bulunan yüksekliklerin hassas geometrik nivelman ile bulunan yükseklikler ile karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

Trigonometrik nivelmanda ölçülen düşey açıları etkileyen iki önemli unsur çekül sapmaları etkileri ve kırılma etkileridir. Trigonometrik nivelmanla bulunan yükseklik farkları elipsoidal yükseklik farkları olmaktadır, 500m'den kısa uzaklıklarda çekül sapmalarının etkileri 1mm'nin altında olduğu için trigonometrik olarak belirlenen yükseklik farkları geometrik nivelmandan elde edilen yükseklik farkları gibi düşünülebilir. Kırılma etkilerini en aza indirgeyebilmek için ise düşey açılarının eşzamanlı ve karşılıklı olarak ölçülmesi gerekmektedir. Özellikle 1980'li yıllardan sonra geliştirilen hassas Elektronik uzunluk ölçerler - Elektronik takeometreler veya totalstation gibi ölçme aletleri ile düşey açılarının ve uzaklığın beraber ölçülmesi suretiyle trigonometrik nivelman yönteminin verimliliği artmış ve gözlem uzaklığına bağlı olarak 5-10mm/km doğruluk elde edilebileceği bilimsel ve deneysel olarak kanıtlanmıştır [1,2,6,8,9,10]. Yukarıdaki incelemeler sonucu karşılıklı-eşzamanlı hassas trigonometrik nivelman yönteminin, hem 1km'deki doğruluğunun hemde hassas nivelmanla karşılaştırmada sunmuş olduğu doğruluğun normal geometrik nivelman doğruluğuna eşdeğer olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Aksoy A. , Franke P. , Yalin D. , Witte B., "Yükseklik Değişimlerinin Hassas Belirlenmesi İçin Trigonometrik Nivelmanın Geliştirilmişbir Yöntemi" Prof . Dr. H.Wolf Jeodezi Sempozyumu 1993.
- [2] Ceylan A. "Hassas Nivelman Yerine Trigonometrik Nivelman Yönteminin Kullanılabilirliği", Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1993).
- [3] Hennecke F., And Werner H., "Ingenieur- Geodasie" Veb Verlag Für Bauwesen Berlin –1986.
- [4] Hradilek L. "Three-dimensional terrestrial triangulation" Konrad Witter Verlag Stuttgart 1984.
- [5] Kahmen H., And Faig W., "Surveying" Walter De Gruyter- Berlin- New York 1988.
- [6] Kuntz E. And Schmitt G. "Precise Height Determination By Simultaneous Zenith Distances" Determination Of Heights And Heights Changes (Contributions To The Symposium On Height Determination And Recent Vertical Movements In Western Europe Held At The University Of Honnover, September 15-19 1986).
- [7] Niemeier W. "Observation Techniques For Height Determination And Their Relation To Usual Height System" Determination Of Heights And Heights Changes (Contributions To The Symposium On Height Determination And Recent Vertical Movements In Western Europe Held At The University Of Honnover, September 15-19 1986).
- [8] Rüeger J.M., ve Brunner F.K.,(1981) "Practical Results of EDM-Height Traversing" The Australian Surveyor No:6, 1981.
- [9] Rüeger J.M., ve Brunner F.K.,(1982) "EDM-Height Traversing versus Geometric Levelling" The Canadian Surveyor , 1982.

- [10] Tilk U.- Thies "Theoretical Aspects Of Trigonometric Leveling" Determination Of Heights And Heights Changes (Contributions To The Symposium On Height Determination And Recent Vertical Movements In Western Europe Held At The University Of Honnover, September 15-19 1986).