

OPTİK ARAZİ ÖLÇÜM CİHAZLARI (THEODOLİT VE NİVO) KALİBRASYON, AYAR METODLARI ve KALİBRASYONDA KULLANILAN REFERANSLAR

Okhan GANİOĞLU

TÜBİTAK UME, Barış Mah. Dr. Zeki Acar Cad. Pk54, 41470 Gebze / Kocaeli, Türkiye
Tel: 0262 679 50 00
E-Mail: okhan.ganioglu@tubitak.gov.tr

ÖZET

Arazi ölçüm cihazları; ülke sınırlarının belirlenmesi, mevcut toprakların sınıflandırılması, dağıtılması, ölçeklendirilmesi, ülke içerisindeki konumlarının belirlenmesi, sınırların tayini, arazi içerisinde yerleştirilecek yapıların konumlandırılması ve boyutlandırılması gibi farklı amaçlar ile kullanılan cihazlardır. Haritacılık ve inşaat sektörlerinde yaygın olarak kullanıldığı gibi endüstride, özellikle gemi, uçak ve tren gibi geniş ve büyük hacimli ürünlerin konumlandırılması, boyutlarının belirlenmesi ve düzlemsellik, diklik ve paralellik gibi geometrik parametrelerin ölçülmesinde kullanılmaktadır.

Ürün yelpazesi geniş bir cihaz grubudur. Farklı model ve tiplerde üretildiği gibi bir markanın dahi farklı yüzlerce model ve tipi bulunabilmektedir. Arazi ölçüm cihazları denildiğinde ilk akla gelen cihazlar ise Theodolit, Nivo, Total station ve Gps Konum Ölçerler olarak sayılabilir.

Arazi ölçüm cihazlarının doğru ölçüm yapabilmeleri için cihaz hatalarının düzeltilmesi gerekmektedir. Bu hataların giderilmesi için cihazların belirli periyotlar ile ara kontrol ve kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Ölçüm ve kontroller için, ürün çeşitliliğinin çok olması sebebiyle, uluslararası alanda kabul görmüş yazılı bir kalibrasyon standardının olmamasına rağmen cihaz doğrulama ve cihazların birbirleri ile karşılaştırılması amacıyla hazırlanmış, ISO 17123 ve BS 7334-3 (ISO 8322-3) standartları mevcuttur. Bu konuda üreticilerin bulunduğu ortak noktalar ise yatay ve düşey kolimasyon ayarları, eksenlerin birbirlerine olan diklik ayarları ile düzleşme hatalarının giderilmesi ile ilgili metotlardır. Dış mekanda yapılan ölçümler için mira ve uzak hedefler, laboratuvarda yapılan kalibrasyon ve ayarlar için ise optik kolimatörler, teleskoplar, özel hazırlanmış hedefler kullanılmaktadır. Optik kolimatörler, teleskoplar, özel hazırlanmış hedefler ayrı ayrı kullanılabilirdiği gibi bunların tamamını kendi bünyesinde bulunduran optik kalibratör sistemleri de kullanılabilir.

Laboratuvar ortamında optik kalibratör sistemi kullanılarak, Theodolit ve Nivo kalibrasyon ve ayarları yaklaşık 2 arc saniye'den başlayan belirsizlikler ile yapılabilmektedir.

Anahtar Sözcükler : Theodolite, nivo, kalibrasyon, ayar

ABSTRACT

Survey measurement devices are such devices that are used for different purposes. To determine the borderlines of the country, to make classification, distribution and scaling of the fields and their borders within the country, and sizing and positioning of buildings on lands can be given as examples of such purposes. These devices are also used in land surveying and construction sectors as well as in industry for determining of positions, measuring dimensions and geometrical properties such as flatness, squareness and parallelism of large and bulky products such as ships, planes and trains.

There is a large range of products for this device group. Different types and models are produced and even a brand can produce hundreds of different models and types as their product range. Theodolites, Levels, Totalstations and GPS Location Measuring Devices are the ones that come to mind as land measurement devices.

In order to perform a precise measurement with these devices, error correction is required. To correct these errors, calibrations and controls must be performed within certain periods of time. Since there is no internationally accepted and written calibration standard because of large range of products, there are ISO 17123 and BS 7334-3 (ISO 8322-3) standards for device verification and comparison. Manufacturers meet on the common ground on this subject such as the horizontal and vertical collimation adjustments, adjustments for the squareness of the axes with respect to each other and leveling error correction methods.

Surveying leveling rod and distant targets are used for measurements performed outdoors, and optical collimators, telescopes and specially made targets are used for calibrations and adjustments performed in the laboratory. Optical collimators, telescopes and specially made targets can be used separately or optical calibrator systems incorporating all of them can be used too.

Using optical calibrator system under laboratory conditions, Theodolite and Nivo calibration and adjustments can be made with uncertainties starting from about 2 arc seconds.

Key Words: Theodolite, nivo (Optical Level) , Calibration.

1. GİRİŞ

Mevcut ölçüm cihazların tamamında olduğu gibi arazi ölçüm cihazlarının da hataları mevcuttur. Bu yüzden cihazların zaman zaman kontrol edilmeleri ve bu hataların düzeltilmesi gerekmektedir. Theodolitler için çift yönlü kullanım, hataların bir kısmını azaltsa da tamamını yok edemez. Yeni tip theodolite ve total stationlar'da oluşan hataları düzeltecek yazılımlar mevcuttur.

Theodolitler üç eksene sahiptir; yatay eksen, düşey eksen ve teleskop ekseni. Bu eksenlerin hepsi birbirlerine dik olmalı ve tek bir noktada kesişmelidir. Theodolitlerdeki hataların çoğu bu iki prensibin uyumsuzluğundan kaynaklanmaktadır.

Nivolarda iki eksen vardır; düşey eksen ve teleskop ekseni. Çalışma prensibine uygun olarak bu iki eksen dik olmalı ve cihaz, teleskop ekseni ile referans bir düzlem oluşturabilmelidir. Nivolardaki hatalar ise bu eksenlerden kaynaklanmaktadır.

Cihazlardaki hataların bulunması ve giderilmesi, arazi ölçümleri ve laboratuvar ölçüm ve ayarları olarak iki ayrı kısımda yapılmaktadır. Arazi ölçümlerinde mesafesi bilinen nirengi noktaları ve hedefler yeterli olurken, laboratuvar ölçümlerinde farklı referans cihazlar kullanılır.

2. THEODOLİTE ve NİVO'lar İÇİN HATA KAYNAKLARI

Farklı kaynaklardan alınan bilgiler ve üreticilerin sınıflandırması göz önüne alındığında, hataların sınıflandırması ve sıralaması kolay değildir. Literatürde kullanılan terimlerin farklılığı üstüne eklendiğinde, zaman zaman bahsedilen hata kaynağı aynı olmasına rağmen 3-4 farklı isim ve tanım ile karşılaşmak sıradan bile sayılabilir. Bu yüzden genel bir tanımlama çalışmasından sonra cihazlardan kaynaklanan muhtemel hatalar theodolite için 5 adet, nivo için 1 adet olarak kabul edilebilir [1].

Theodolite Hataları

1. Kolimasyon Eksen Hatası
 - a. Yatay Kolimasyon
 - b. Düşey Kolimasyon
2. Düşey Eksen Sıfır Hatası (Düşey eksen Kolimasyon Hatası Dahil)
3. Yatay Eksen Hatası
4. Teleskop Eksen Hatası
5. Enkoder Merkezleme Hatası

Nivo

1. Düzeyleme Hatası

Theodolitler için ise 2 yüzlü ölçüm alınması ve sonucun ortalama değerinin kullanılması bu hataların büyük bir kısmını azaltmaktadır. Yeni tip (elektronik) cihazlarda ise bu hatalar cihaz üzerindeki yazımlar ile kompanse edilebilmektedirler.

Kolimasyon eksen hatası hem düşey hem yatay kolimasyon hatasını içerisinde barındıran bir hatadır. Fakat aslında bahsedilen yatay kolimasyon hatasıdır. Teleskop eksenini yatay eksene dik olmalıdır. Teleskop aşağı yukarı hareket ettirildiğinde, yatay eksene dik bir düzlemde hareket etmelidir. Bu iki şart sağlanmadığı durumda kolimasyon hatası oluşur. Yatay kolimasyon hatası ise düşey eksen sıfır hatasının bir parçasıdır. Düşey kolimasyon hatasını, düşey eksen sıfır hatasından ayırmak imkansızdır. Bu yüzden bu iki hata aynı anda bir ayar yöntemi ile giderilir.

Düşey eksen sıfır hatası, düşey eksen açısı tablasındaki "0" noktasının düşey eksen tepe noktası ile çakışmamasından kaynaklanan bir hatadır. Mekanik hata olması sebebiyle eski tip cihazlarda mekanik olarak giderilebilir. Yeni tip cihazlarda ise yazılım sayesinde düzeltilebilmektedir.

Yatay eksen hatası, düşey eksene dik düzlem ile yatay eksen arasındaki kaymadan kaynaklanan hatadır. Kısaca yatay eksenin düşey eksene dik olmamasından kaynaklanır.

Teleskop eksenini hatası, teleskop eksenini ve düşey eksen merkezde kesişmelidir. Eğer farklı bir noktada kesişiyor veya kesişmiyor ise bu hata oluşmaktadır.

Enkoder merkezleme hatası yatay ve düşey enkoderlerin merkezlerinin yatay ve düşey eksenlerden geçmemesinden kaynaklanan hatadır. Yeni tip elektronik teodolitlerde bu hata enkoder skalasının taranması ile bulunmakta ve giderilmektedir.

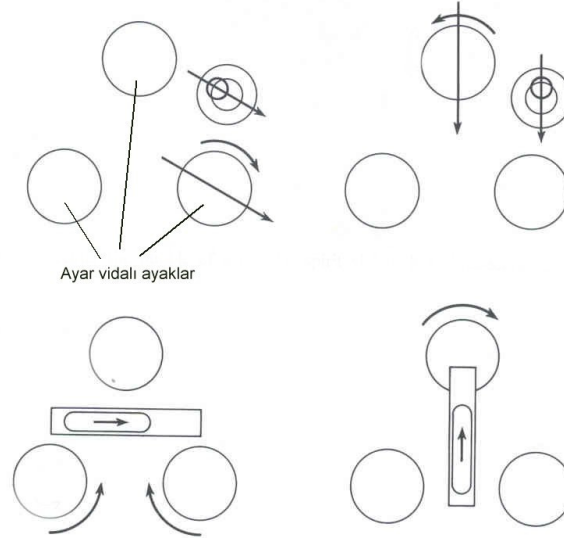
Theodolitlerde meydana gelen fakat cihazdan kaynaklanmayan en önemli hatalardan bir tanesi düşey eksen hatasıdır. Bu hata cihazdan kaynaklanan bir hata değildir, kurulum hatasıdır. Kullanıcı tarafında cihazın tam düzeylenmemesinden veya düzeyin yanlış göstermesinden kaynaklanan hatadır. Yeni tip cihazlarda bu hata belirli bir oranda azaltılabilir.

Nivolarda ise meydana gelen en önemli hata düzeyleme hatasıdır. Bu hata çekül çizgisine dik bir eksen oluşturamamaktan kaynaklanan hatadır.

Farklı kaynaklarda bildiride aktarılan hatalara ek olarak burada bahsedilmeyen hatalara da rastlamak mümkündür.

3. ÖLÇÜM ve AYAR İŞLEMLERİ

Arazi ölçüm cihazlarında kullanım öncesi veya kalibrasyon öncesi doğru düzeyleme işleminin yapılması önemlidir. Her ne kadar yeni cihazlarda düzeyleme hatasını düzeltmek için sistemler (Kompanzasyon sistemleri) bulunsun da klasik ve mekanik cihazlarda ölçüm güvenilirliği büyük oranda operatörün düzeyleme yeteneğine bağlıdır. Bu yüzden cihazlarda kullanılan su terazilerinin doğrulukları kontrol edilmeli ve var ise hataları giderilmelidir. Bu işlem için cihaz kabaca düzeylenir ve su düzeyi bir ayak tarafından ayarlanabilecek şekilde yerleştirilir. Ayak kullanılarak ayarlanır ve 180° çevrilir. Hatanın yarısı cihazın ayağından geri kalan kısmı su terazisi ayar vidasından alınır. Her iki konumda su düzeyi dengede kalana kadar işleme devam edilir [2].



Şekil 1. Üç ayar vidalı ayaklarda düzeçleme [3].

3.1 DIŞ MEKAN ÖLÇÜMLERİ

Dış mekan ölçümleri, çalışma ortamında veya açık alanda yapılan ölçüm ve ayar işlemlerini kapsamaktadır. Dış mekan ölçümleri ikiye ayrılır: Üretici firmaların tavsiye ettiği ve laboratuvarda yapılan uygulamaların bir kısmını kapsayan ölçümler ile mevcut standartlarda anlatılan ölçüm yöntemleri.

Üretici firmalar tarafından tavsiye edilen ölçümler daha çok, genelde kullanım öncesi olmak üzere, cihazların kontrol işlemlerini kapsamaktadır. Bu çalışma sırasında laboratuvarda yapılan ölçümlerin bazıları tekrarlanmaktadır. Theodolitler için yatay ve düşey kolimasyon hataları kontrol edilirken, nivoların düzeçleme hatalarına bakılmaktadır. Theodolitlerin ayarı sırasında herhangi bir standart veya referans kullanılmazken, nivolar için cetvel veya mira kullanılabilir. Theodolitlerin ayarları sırasında 100 m'den uzak hedeflerin kullanılması tavsiye edildiğinden bu kontroller sırasında, hedef olarak uzaktaki cami minaresi, köprü ayakları, antenler veya yüksek bina kenarları kullanılabilir. Nivo ölçümleri 30 m ile 200 m mesafe içerisinde yapılabilir. Bu ölçümler profesyonellikten uzak olmakla beraber, sadece kullanıcı için cihazın kontrolünü yapmak amacı ile gerçekleştirilmektedir.

Theodolite ve Nivo'lar için dış mekan ölçümleri ile ilgili, ürün çeşitliliğinin çok olması sebebiyle, uluslararası alanda kabul görmüş yazılı bir kalibrasyon standardının olmamasına rağmen, cihaz doğrulama ve cihazların birbirleri ile karşılaştırılması amacıyla hazırlanmış aşağıda sıralanan güncel standartlar kullanılmaktadır. Bu yüzden bu standartlar tam anlamıyla kalibrasyon işlemlerini karşılamamaktadırlar.

1. BS 7334-1 1992, ISO 8322-1 Measuring instruments for building construction.- Measuring instruments-Procedures for determining accuracy in use PART I : Theory
2. BS 7334-3 ISO 8322-3 Methods for determining accuracy in use optical levelling instruments
3. BS 7334-4 and ISO 8322-4 Methods for determining accuracy in use of theodolites
4. ISO 17123-1 Optics and optical instruments; Field procedures for testing geodetic and surveying instruments PART I Theory
5. ISO 17123-2 Optics and optical instruments; Field procedures for testing geodetic and surveying instruments PART II Levels
6. ISO 17123-3 Optics and optical instruments; Field procedures for testing geodetic and surveying instruments PART III Theodolites

Üretici firmaların tavsiye ettiği yöntemler, hem standartlarda anlatılan hem de laboratuvar ortamında yapılan ölçümler ile benzerlik göstermektedir.

3.1.2 MEVCUT STANDARTLARDA TAVSİYE EDİLEN ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Çalışma yapılmadan önce cihazların doğruluk değerlerinin, yapılan çalışma için uygun olup olmadığının anlaşılması önemlidir. Bu kısımda anlatılan BS 7334 serisi ve ISO 17123 serisi standartların açıklama bölümlerinde, kullanılan cihazın doğruluk değerinin tespit edilmesi amacıyla bu standartlarda kullanıcı için metotlar önerildiği özellikle belirtilmektedir.

Ayrıca ölçümlerin açık alanda yapılıyor olması sebebiyle ölçüm ortamında meydana gelebilecek ani değişimlerin ölçüm sonuçlarını etkileyecek olması nedeniyle, bulunan sonuçlardan emin olmak için farklı zamanlarda ölçümlerin tekrar edilmesi gerektiği bütün standartlarda hatırlatılmaktadır.

BS 7334-1 (ISO 8322-1) standardı ile ISO 17123-1 standardı, bu standartların devamı olan diğer standartlarda kullanılan hesaplama yöntemlerinin açıklandığı ve diğer bölümlerde zaman zaman atıfta bulunulan standartlardır.

BS 7334-3 ISO 8322-3 “Methods for Determining Accuracy in use Optical Levelling Instruments (Kullanım Sırasında Nivolarında (Optik Hizalama Araçlarında) Doğruluk Değerlerinin Belirlenmesi İçin Yöntemler) ”

İsminden de anlaşılacağı gibi kullanım sırasında, nivoların doğruluklarının hesaplama metotlarını anlatan standarttır. Genel olarak nivoların doğruluk değerleri 1 km mesafe ve çift tur için verilmektedir. Fakat cihazlar genellikle 40 m mesafenin altında çalışmaktadır. Bu yüzden standartta, birisi 1 km mesafede diğeri 40 m'nin altında mesafedeki performansı olmak üzere iki farklı metot anlatılmaktadır. 1 km'de bulunan bir hedefi görmek zor olduğu ve hatayı yükselteceği için yapılan çalışma en fazla 250 m'de yapılmaktadır. Cihazdan beklenen doğruluk değeri ise yapılan ölçümler sonunda elde edilen standart sapma değerinin 2,5 katının, cihaz üreticisi tarafından verilen değere eşit veya düşük olmasıdır.

1. Ölçüm Metodu (1km mesafe için)

İki adet hedef 250 m arayla yerleştirilir. Farklı zamanda, her birinde 5 ölçüm olmak kaydıyla 2 set ölçüm yapılır. 1 set ölçümde cihaz iki farklı noktaya (Forward - Reverse) yerleştirilerek ölçüm yapılır. Alınan her ölçüm, seçilen iki ölçüm noktası arasındaki yükseklik farkı olarak kaydedilir (Tablo 1'de Sütun 2). Ortalama değer hesaplanır (Tablo 1'de Sütun 3). Ortalamadan fark değerleri alınır (Tablo 1'de Sütun 4) ve kareleri hesaplanır (Tablo 1'de Sütun 5).

250 m' lik ölçüm sonuçları için Standart sapma 10 ölçüm için;

$$S_1 = \sqrt{\frac{94,50}{9}} = 3,2 \text{ mm} \quad (1)$$

1 km'lik mesafe için standart sapma hesabı :

$$S_{1(\text{km})} = 3,2\sqrt{4} = 6,4 \text{ mm} \quad (2)$$

1 km'lik mesafe için çift tur (double run) standart sapma hesabı :

$$S_{1(\text{kmdoublelevel})} = \frac{6,4}{\sqrt{2}} = 4,5 \text{ mm} \quad (3)$$

Aynı işlem ve ölçümler 2. Set ölçüm için de tekrarlanır ve ölçüm sonuçları bileştirilir. Eğer;

$$S_{2(\text{kmdoublelevel})} = 7,8 \text{ mm olarak bulunmuş ise,} \quad (4)$$

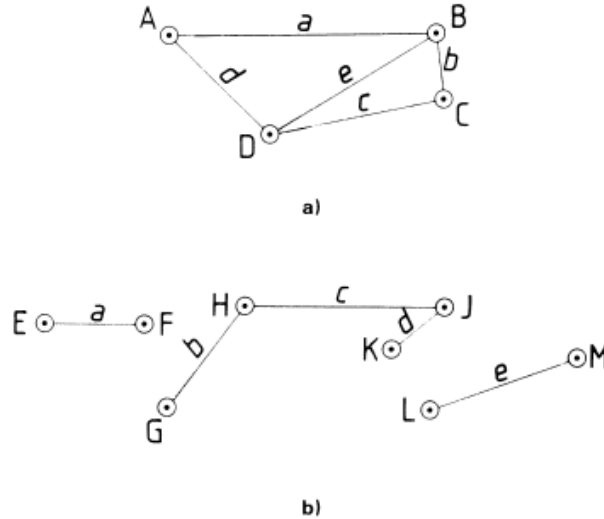
$$S = \sqrt{\frac{S_{1(\text{kmdoublelevel})} + S_{2(\text{kmdoublelevel})}}{2}} = 6,4 \text{ mm olarak hesaplanır.} \quad (5)$$

Tablo 1. 1. Ölçüm Metodu Hesap Tablosu [4].

Measurement	Difference in level mm	Mean mm	v mm	v^2 mm ²
1	2	3	4	5
1 Forward	320		+ 1,5	2,25
Reverse	315		- 3,5	12,25
2 Forward	324		+ 5,5	30,25
Reverse	317		- 1,5	2,25
3 Forward	319		+ 0,5	0,25
Reverse	319		+ 0,5	0,25
4 Forward	314		- 4,5	20,25
Reverse	316		- 2,5	6,25
5 Forward	323		+ 4,5	20,25
Reverse	318		- 0,5	0,25
		318,5	$\Sigma v = 0,0$	$\Sigma v^2 = 94,50$

2. Ölçüm Metodu (40 m mesafeden az ölçümler için)

Ölçüm için; mesafeleri birbirinden farklı en az 4 adet ölçüm noktası belirlenir (Şekil 2 a). Ölçüm noktaları toplu olarak seçilebileceği gibi dağınık olarak da (Şekil 1 b) seçilebilir. Sırası ile seçilen noktalar arasındaki yükseklik farkları bulunur ve bir set ölçüm için beş noktanın değeri iki farklı noktadan (Forward - Reverse) ölçülerek kaydedilir.

**Şekil 2.** İkinci Metot için ölçüm noktası belirlemede seçim noktaları öneri şeması [4].

Her set ölçümde elde edilen iki farklı (Forward - Reverse) ölçümün farkları bulunur (Tablo 2 Sütun 26, 7 ve 9, 10). Bulunan değerlerin mutlak farkları hesaplanır (Tablo 2 sütun 8) ve karelerinin toplamı bulunur (Tablo 2 Sütun 9).

Tablo 2. İkinci Ölçüm Metodu Hesap Tablosu [4].

No.	Point i	Point j	Distance from instrument to		Reading reverse	Reading forward	Reverse forward	Reading reverse	Reading forward	Reverse forward	Absolute difference	d ² mm ²
			Point i m	Point j m	Point i mm	Point j mm	mm	mm	mm	Point j mm	Point i mm	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	A	B	4	10	1 437	781	+ 656	823	1 482	- 659	3	9
2	B	C	15	15	1 841	3 921	- 2 080	3 942	1 865	+ 2 077	3	9
3	D	B	4	25	251	2 410	- 2 159	2 392	236	+ 2 156	3	9
4	D	E	20	10	671	1 349	- 678	1 503	821	+ 682	4	16
5	E	A	30	6	2 003	2 410	- 407	2 392	1 995	+ 397	10	100

$$\Sigma d^2 = 143$$

Ölçüm sonuçlarının Standart sapması 10 ölçüm için;

$$S_1 = \sqrt{\frac{143}{10}} = 3,8 \text{ mm} \quad (6)$$

çift tur (double run) standart sapma hesabı :

$$S_{1(kmdoublelevel)} = \frac{3,8}{\sqrt{2}} = 2,7 \text{ mm} \quad (7)$$

Aynı işlem ve ölçümler 2. Set ölçüm için de tekrarlanır :

$$S_{2(kmdoublelevel)} = 4,0 \text{ mm} \quad (8)$$

Cihaz için toplam standart sapma,

$$S = \sqrt{\frac{S_{1(kmdoublelevel)}^2 + S_{2(kmdoublelevel)}^2}{2}} = 3,4 \text{ mm olarak hesaplanır.} \quad (9)$$

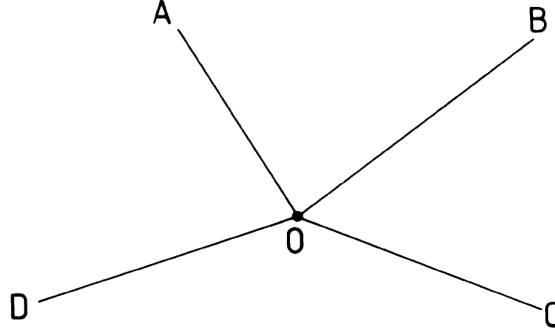
BS 7334-4 and ISO 8322-4 “Methods for Determining Accuracy in use of Theodolites (Kullanım Sırasında Teodolite’lerin Doğruluk Değerlerinin Hesaplanması İçin Yöntemler)”

Kullanım sırasında theodolitlerin doğruluklarının hesaplama metotlarını anlatan standarttır. Cihazdan beklenen doğruluk değeri ise yapılan ölçümler sonunda elde edilen standart sapma değerinin 2,5 katının, cihaz üreticisi tarafından verilen değere eşit veya düşük olmasıdır.

1. Yatay Açı ölçümleri

Yatay açı ölçümleri için theodolite’in görüş açısında olan, aralarındaki açı en az 100 gon veya 90° olmak üzere, farklı mesafelerde dört adet hedef noktası belirlenir (Şekil 3). Her set ölçümde her bir hedef için açı ölçümü yapılır ve kaydedilir. İlk ölçüm; cihazın I. Yüzünden (Sol-yüz) sırasıyla A, B, C, D hedefleri ölçülerek gerçekleştirilir (Tablo 3 Sütun 3). İkinci ölçüm; cihazın II. Yüzünden (Sağ-yüz) sırasıyla D, B, C, D hedefleri ölçülerek gerçekleştirilir (Tablo 3 Sütun 4). Yatay açı değeri 50 gon veya 45° döndürülerek üç set daha ölçüm yapılır (Tablo 3 Sol Yüz). Her iki ölçüm için A ölçüm sonucu sıfırlanarak kaydedilir. I. ve II. Yüz ölçüm değerlerinin (sıfıra ayarlanmış değerler: Tablo 3 Sütun 5,6) ortalaması “m” alınır ve kaydedilir (Tablo 3 Sütun 7). Yapılmış olan dört ölçümün ortalama değerleri “M” alınır ve kaydedilir (Tablo 3 Sütun 8). Her ölçüm için ortalama değerlerin farkları “d” bulunur ve

farkların ortalamaları hesaplanır (Tablo 3 Sütun 9). Ortalama değerlerin ortalaması ile ortalama değerlerin farkları (Tablo 3 Sütun 10) bulunur, kareleri ve karelerinin toplamı hesaplanır (Tablo 3 Sütun 11).



Şekil 3. Yatay açı ölçümleri için dört adet hedef seçim öneri şeması [5].

1. Set ve her iki yüz ölçümü için standart sapma;

$$S_1 = \sqrt{\frac{3,33}{9}} = 0,6 \text{ mgon} \quad (10)$$

Aynı işlem ve ölçümler 2. Set ölçüm için de tekrarlanır :

$$S_2 = 0,8 \text{ mgon} \quad (11)$$

Cihaz için toplam standart sapma;

$$S = \sqrt{\frac{S_1 + S_2}{2}} = 0,7 \text{ mgon olarak hesaplanır.} \quad (12)$$

Açı ölçümleri için standart sapma;

$$S_{(\text{Angle})} = \sqrt{2} \cdot 0,7 = 1,0 \text{ mgon olarak bulunur.} \quad (13)$$

Tablo 3. Yatay açı ölçümleri için hesap tablosu [5].

Set	Target	Face left gon	Face right gon	Reduced face left gon	Reduced face right gon	Mean of set, <i>m</i> gon	Mean of station, <i>M</i> gon	<i>d</i> mgon	<i>v</i> mgon	<i>v</i> ² mgon ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	A	8,981 3	208,981 7	0,000 0	0,000 0	0,000 0	0,000 0	0,0	-0,2	0,04
	B	70,795 8	270,796 3	61,814 5	61,814 6	61,814 6	61,815 4	+0,8	+0,6	0,36
	C	135,146 5	335,145 3	126,165 2	126,163 6	126,164 4	126,165 1	+0,7	+0,5	0,25
	D	221,541 3	21,541 0	212,560 0	212,559 3	212,559 6	212,559 1	-0,5	-0,7	0,49
								Σ $\bar{d} = \frac{\Sigma d}{4}$	+1,0 +0,2	+0,2
2	A	59,054 6	259,055 8	0,000 0	0,000 0	0,000 0		0,0	0,0	0,00
	B	120,869 7	320,870 9	61,815 1	61,815 1	61,815 1		+0,3	+0,3	0,09
	C	185,220 8	385,221 1	126,166 2	126,165 3	126,165 8		-0,7	-0,7	0,49
	D	271,613 8	71,614 3	212,559 2	212,558 5	212,558 8		+0,3	+0,3	0,09
								Σ 0,0	-0,1 0,0	0,0
3	A	109,304 8	309,304 4	0,000 0	0,000 0	0,000 0		0,0	+0,6	0,36
	B	171,121 0	371,121 2	61,816 2	61,816 8	61,816 5		-1,1	-0,5	0,25
	C	235,471 1	35,470 4	126,166 3	126,166 0	126,166 2		-1,1	-0,5	0,25
	D	321,864 3	121,863 8	212,559 5	212,559 4	212,559 4		-0,3	+0,3	0,09
								Σ -0,6	-2,5 -0,1	-0,1
4	A	159,291 1	359,290 0	0,000 0	0,000 0	0,000 0		0,0	-0,4	0,16
	B	221,105 7	21,105 9	61,814 6	61,815 9	61,815 2		+0,2	-0,2	0,04
	C	285,455 0	85,454 3	126,163 9	126,164 3	126,164 1		+1,0	+0,6	0,36
	D	371,849 7	171,848 6	212,558 6	212,558 6	212,558 6		+0,5	+0,1	0,01
								Σ +0,4	+1,7 +0,1	+0,1
										Σ <i>v</i> ² = 3,33 mgon ²

2. Düşey Açı ölçümleri

Düşey açı ölçümleri için theodolitein görüş açısında olan, farklı yüksekliklerde dört adet hedef noktası belirlenir. Ölçüm sıralaması isteğe bağlı olarak seçilebilir. Bir set içerisinde her iki yüz (sağ ve sol) kullanılarak yapılmak üzere toplam dört set ölçüm yapılır. Yapılan ölçümler kaydedilir (Tablo 4 Sütun 3 ve 4).

400 gon (veya 360°)'den II. Yüz farkı alınır ve I. ölçüm sonucuna eklenir (Tablo 4 Sütun 5) ve sonuç 2 ye bölünür "m" (Tablo 4 Sütun 6). Yapılmış olan dört ölçümün ortalama değerleri "M" alınır ve kaydedilir (Tablo 4 Sütun 7). Her ölçüm için ortalama değerlerin farkları "v" bulunur (Tablo 4 Sütun 8). Ortalama değerlerin kareleri ve karelerinin toplamı hesaplanır (Tablo 4 Sütun 9).

1.Set ve her iki yüz ölçümü için standart sapma;

$$S_1 = \sqrt{\frac{1,65}{12}} = 0,37 \text{ mgon} \quad (14)$$

Aynı işlem ve ölçümler 2. Set ölçüm için de tekrarlanır:

$$S_2 = 0,3 \text{ mgon} \quad (15)$$

Cihaz için toplam standart sapma;

$$S = \sqrt{\frac{S_1 + S_2}{2}} = 0,35 \text{ mgon olarak hesaplanır.} \quad (16)$$

Tablo 4. Düşey açı ölçümleri için hesap tablosu [5].

Set	Target	I Face left gon	II Face right gon	I + (400 - II) gon	Mean of set, m $\frac{I + (400 - II)}{2}$ gon	Mean of station, M gon	v mgon	v^2 mgon ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	A	100,276 6	299,742 4	200,534 2	100,267 1	100,267 3	- 0,2	0,04
	B	96,376 9	303,638 4	192,738 5	96,369 2	96,368 9	+ 0,3	0,09
	C	100,566 2	299,447 9	201,118 3	100,559 2	100,559 8	- 0,6	0,36
	D	98,053 6	301,963 2	196,090 4	98,045 2	98,045 3	- 0,1	0,01
							Σ - 0,6	0,50
2	A	100,275 4	299,741 3	200,534 1	100,267 0		- 0,3	0,09
	B	96,376 0	303,638 8	192,737 2	96,368 6		- 0,3	0,09
	C	100,567 4	299,448 1	201,119 3	100,559 6		- 0,2	0,04
	D	98,053 2	301,963 0	196,090 2	98,045 1		- 0,2	0,04
							Σ - 1,0	0,26
3	A	100,276 8	299,741 8	200,535 0	100,267 5		+ 0,2	0,04
	B	96,377 1	303,639 4	192,737 7	96,368 8		- 0,1	0,01
	C	100,568 2	299,447 1	201,121 1	100,560 6		- 0,8	0,64
	D	98,054 0	301,962 8	196,091 2	98,045 6		+ 0,3	0,09
							Σ + 1,2	0,78
4	A	100,277 1	299,741 9	200,535 2	100,267 6		+ 0,3	0,09
	B	96,376 8	303,639 0	192,737 8	96,368 9		+ 0,0	0,00
	C	100,567 3	299,447 5	201,119 8	100,559 9		+ 0,1	0,01
	D	98,053 6	301,962 8	196,090 8	98,045 4		+ 0,1	0,01
							Σ + 0,5	0,11
							$\Sigma v^2 = 1,65 \text{ mgon}^2$	

ISO 17123-2 “Optics and Optical Instruments; Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments PART II Levels (Optikler ve Optik Cihazlar; Jeodezi ve Arazi Ölçüm Cihazları Testleri için Arazi Prosedürleri BÖLÜM II Nivo)

Test prosedürü, sadeleştirilmiş ve tam test prosedürü olarak iki kısma ayrılmıştır.

Sadeleştirilmiş test prosedüründe sadece cihazın izin verilen sapmalar içerisinde çalışıp çalışmadığının teyidi yapılabilir. Bu yüzden daha hassas ölçümler için tam test prosedürü önerilmektedir.

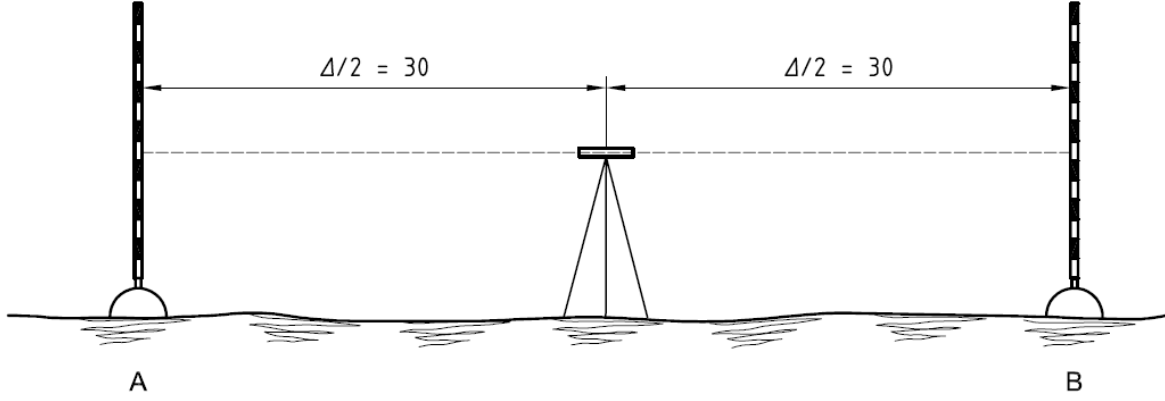
Tam test prosedürü ile cihaz ve ekipmanlar ile ulaşılabilecek hassasiyet belirlenebilmektedir. Bu yüzden daha hassas işlerde kullanılacak nivolar için tavsiye edilmektedir.

Sadeleştirilmiş Test Prosedürü

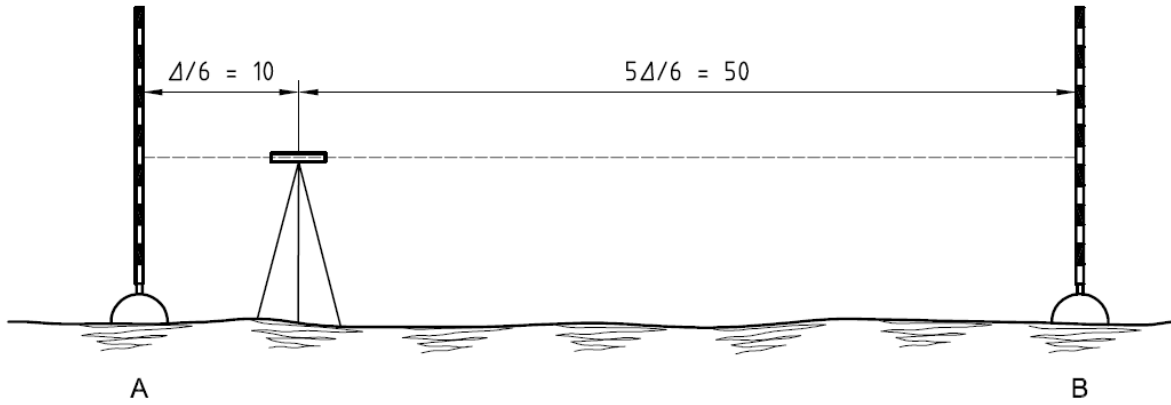
Sadeleştirilmiş test prosedürü işlemi, 60 m aralıkla yerleştirilmiş hedefler kullanılarak yapılan ve hedefler arasındaki yükseklik farkının hesaplanması ile hatanın bulunmasını sağlayan yöntemdir.

Ölçüm sırasında (başlangıç ve bitiş süresi içerisinde) sıcaklık değerinin 2 dakika içerisinde 1°C’ den fazla değişmemesi gerekmektedir. Aksi takdirde ölçümün tekrarlanması tavsiye edilmektedir.

Ölçülecek cihaz A ve B hedeflerinin (Şekil 4) orta noktasına yerleştirilir ve 10 adet ölçümden oluşan birinci set ölçümler alınır. Ölçümler ilk 5 ölçüm için önce A hedefi ($X_{A1}, X_{B1} \dots X_{A5}, X_{B5}$), sonra B hedefi olarak yapılır ($X_{A1}, X_{B1} \dots X_{A5}, X_{B5}$). Daha sonraki 5 ölçüm, önce B sonra A hedefi için tekrarlanır ($X_{B5}, X_{A5} \dots X_{B10}, X_{A10}$). Her A ve B hedefi ölçüldükten sonra cihazın kaldırılıp tekrar yerleştirilmesi ve ayarlanması tavsiye edilmektedir.



Şekil 4. Sadeleştirilmiş ölçüm yöntemi için ilk konfigürasyon [6].



Şekil 5. Sadeleştirilmiş ölçüm yöntemi için ikinci konfigürasyon [6].

İkinci set ölçümler için cihaz, A noktasından 10 m uzak bir noktaya yerleştirilir. İlk sette yapıldığı şekliyle 10 ölçüm tamamlanır ($X_{A11}, X_{B11} \dots X_{A20}, X_{B20}$).

Her ölçüm için A ve B noktası farkı hesaplanır ve farkların ortalaması bulunur :

$$d_j = X_{Aj} - X_{Bj} \quad (17)$$

$$\bar{d}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{10} d_j}{10} \quad (18)$$

Ortalama değer gerçek değer olarak kabul edilerek A ve B noktası arasındaki yükseklik farkı ile aralarındaki fark hesaplanır:

$$r_j = \bar{d}_1 - d_j \quad (19)$$

İlk ölçüm seti için deneysel standart sapma, serbestlik derecesi $v = 10 - 1 = 9$ olmak kaydıyla,

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} r_j^2}{v}} \quad (20)$$

Formülü kullanılarak hesaplanır.

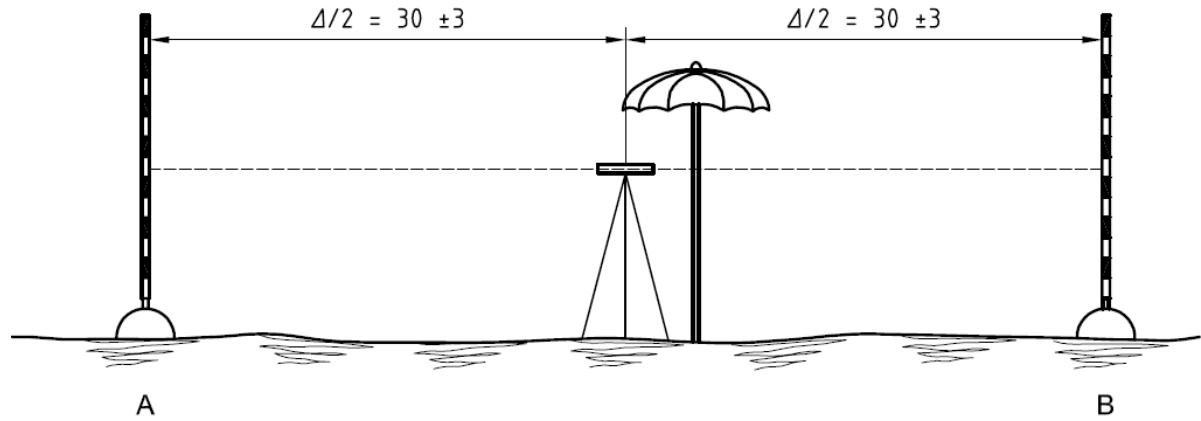
İkinci set ölçümün ortalama değeri \bar{d}_2 olmak üzere $\bar{d}_1 - \bar{d}_2$ farkı cihaz için izin verilen sapma değerinden küçük olmalıdır. Eğer izin verilen sapma değeri tanımlanmamış ise,

$$|\bar{d}_1 - \bar{d}_2| < 2,5 \cdot s \quad (21)$$

eşitliğini sağlamalıdır.

Tam Test Prosedürü

Tam test prosedürü işlemi, 60 m aralık ile yerleştirilmiş hedefler kullanılarak yapılan ve hedefler arasındaki yükseklik farkının hesaplanması ile hatanın bulunmasını sağlayan yöntemdir.



Şekil 6. Tam ölçüm için hedef yerleşimi [6].

Cihazın güneşten etkilenmesini engellemek için cihazın şemsiye ile korunması tavsiye edilmektedir. Ölçülecek cihaz A ve B hedeflerinin (Şekil 6) orta noktasına yerleştirilir ve 20 adet ölçüm içeren 2 set ölçüm yapılır.

Sadeleştirilmiş test prosedürünün hesap kısmında anlatılan yöntemler kullanılarak her set için ortalama değer gerçek değer olarak kabul edilerek, A ve B noktası arasındaki yükseklik farkı ile aralarındaki fark hesaplanır.

$$r_j = \bar{d}_1 - d_j \quad j = 1 \dots 20 \quad (22)$$

$$r_j = \bar{d}_1 - d_j \quad j = 21 \dots 40 \quad (23)$$

60 m mesafedeki deneysel standart sapma, serbestlik derecesi $v = 2 \cdot (20 - 1) = 38$ olmak kaydıyla,

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{v}} \quad (24)$$

1 km mesafe ve çift tur için standart sapma ise,

$$S_{\text{ISO-LEV}} = \frac{s}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\frac{1000}{60}} = s \cdot 2.86 \quad (25)$$

Formülü ile hesaplanır.

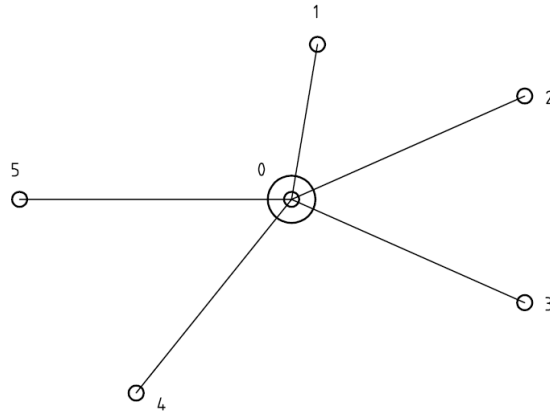
ISO 17123-3 “Optics and Optical Instruments; Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments PART III Theodolites ((Optikler ve Optik Cihazlar; Jeodezi ve Arazi Ölçüm Cihazları Testleri için Arazi Prosedürleri BÖLÜM III Theodolite)

Test prosedürü, sadeleştirilmiş ve tam test prosedürü olarak iki kısma ayrılmıştır.

Sadeleştirilmiş test prosedüründe cihazın izin verilen sapmalar içerisinde çalışıp çalışmadığının teyidi yapılabilir. Bu yüzden daha hassas ölçümler için tam test prosedürü önerilmektedir.

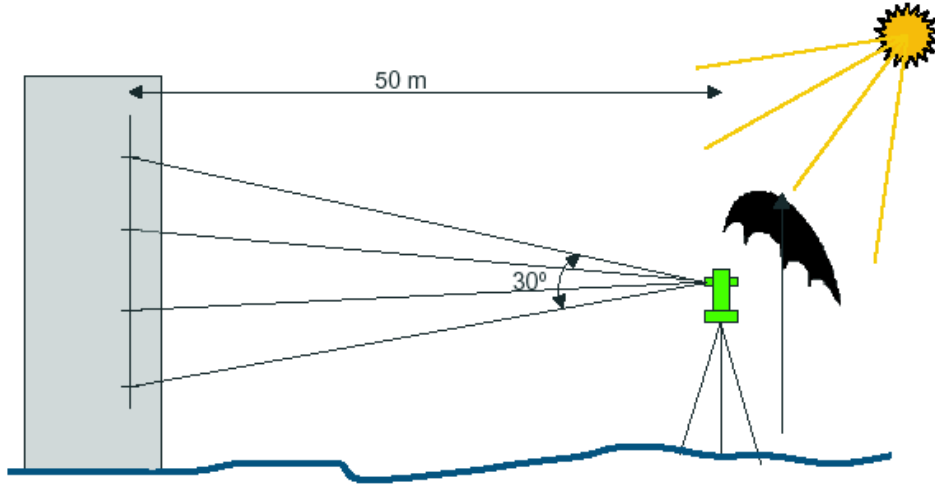
Tam test prosedürü ile cihaz ve ekipmanlar ile ulaşılabilecek hassasiyet belirlenebilmektedir. Bu yüzden daha hassas işlerde kullanılacak theodolite'ler için tavsiye edilmektedir. Theodolite'lerde yatay ve düşey açı için, çift yüzden yapılan ölçümler ile elde edilen standart sapma değerleri hesaplanmaktadır.

Yatay açı ölçümleri için 100 m ile 250 m aralığında yatay düzlemde yayılmış, sadeleştirilmiş yöntemde 4, tam test işleminde 5 hedef kullanılır (Şekil 7).



Şekil 7. Yatay Açı ölçümleri için hedef dizilişi [7].

Düşey açı ölçümlerinde, theodolite'e 50 m mesafede yüksek bir bina üzerine 10° aralıklar ile yerleştirilmiş (toplamda 30° tarayan) 4 adet hedef kullanılır.



Şekil 8. Düşey Açı ölçümleri için hedef dizilişi [7].

Yatay Açı Ölçümleri

Sadeleştirilmiş Test Prosedürü

Sadeleştirilmiş ölçümde 1 set (m) ölçüm yapılması yeterlidir. Ölçümler X_{jkl} , X_{jkl} , j set numarası, k hedef, (I) I.yüz, (II) II.yüz olmak kaydıyla isimlendirilmektedir. Bütün ölçümler için I. ve II.yüz ölçümlerinin ortalama değerleri hesaplanır.

$$X_{jk} = \frac{X_{jkl} + X_{jkl} \pm 180^\circ}{2} \quad (26)$$

eğer birim grad ise 180° yerine 200 gon yazılır, $J=1,2,3$; $k=1,2,3,4$. Birinci hedefe göre düzeltme yapılır,

$$X'_{jk} = X_{jk} - X_{j1} ; J=1,2,3; k=1,2,3,4 \quad (27)$$

Her bir hedef için ortalama değer hesaplanır :

$$\bar{X}_k = \frac{X'_{1k} + X'_{2k} + X'_{3k}}{3} ; k=1,2,3,4 \quad (28)$$

Ortalama ile her ölçümün farkı bulunarak ortalama değer hesaplanır:

$$d_{jk} = \bar{X}_k - X'_{jk} ; J=1,2,3; k=1,2,3,4 \quad (29)$$

$$\bar{d}_j = \frac{d_{j1} + d_{j2} + d_{j3} + d_{j4}}{4} ; j=1,2,3 \quad (30)$$

Artık bulunur.

$$r_{jk} = d_{jk} - \bar{d}_j ; J=1,2,3; k=1,2,3,4 \quad (31)$$

3 set ölçüm ve 4 hedef için serbestlik derecesi $v = (3-1).(4 - 1) = 6$ 'dır.

Bir set ölçüm için standart sapma ;

$$S = \sqrt{\frac{\sum r^2}{6}} \quad (32)$$

olarak hesaplanır.

Tam Test Prosedürü

Tam ölçümde 4 set (m) ölçüm yapılır. Her seri (i) ölçüm, 5 (k) hedef için n = 3 set (j) ölçüm alınır. Her hedef; saat yönü istikametinde I. Yüzden, saat yönü tersinde II. Yüzden ölçülür. 1. Set tamamlandıktan sonra yatay açı tablası, mekanik cihazlarda 60° elektronik cihazlarda 120° çevrilerek diğer ölçümler alınır. Ölçümler X_{jkl} , X_{jkl} , j set numarası, k hedef, (I) I.yüz, (II) II.yüz olmak kaydıyla isimlendirilmektedir. Bütün ölçümler için I. ve II.yüz ölçümlerinin ortalama değerleri hesaplanır:

$$X_{jk} = \frac{X_{jkl} + X_{jkl} \pm 180^\circ}{2} \quad (33)$$

eğer birim grad ise 180° yerine 200 gon yazılır. J=1,2,3; k=1,2,3,4,5

Birinci hedefe göre düzeltme yapılır :

$$X'_{jk} = X_{jk} - X_{j1} ; J=1,2,3; k=1,2,3,4,5 \quad (34)$$

Her bir hedef için ortalama değer hesaplanır :

$$\bar{X}_k = \frac{X'_{1k} + X'_{2k} + X'_{3k}}{3} ; k=1,2,3,4,5 \quad (35)$$

Ortalama ile her ölçümün farkı bulunarak ortalama değer hesaplanır:

$$d_{jk} = \bar{X}_k - X'_{jk} ; J=1,2,3; k=1,2,3,4,5 \quad (36)$$

$$\bar{d}_j = \frac{d_{j1} + d_{j2} + d_{j3} + d_{j4} + d_{j5}}{5} ; j=1,2,3 \quad (37)$$

Artık (kalan) bulunur.

$$r_{jk} = d_{jk} - \bar{d}_j ; J=1,2,3; k=1,2,3,4,5 \quad (38)$$

3 set ölçüm ve 5 hedef için serbestlik derecesi $v_i = (3-1).(5-1) = 8$ 'dir.

Bir set ölçüm için standart sapma;

$$S = \sqrt{\frac{\sum r^2}{8}} \quad (39)$$

olarak hesaplanır. 4 set ölçüm ve 5 hedef için bütün ölçümler hesaplandığında serbestlik derecesi $v = 4$, $v_i = 32$ 'dir. Bütün ölçümler için standart sapma;

$$S_{\text{ISO-THEO-HZ}} = 8 \quad (40)$$

Düşey Açı Ölçümleri

Sadeleştirilmiş Test Prosedürü

Sadeleştirilmiş ölçümde 1 seri (m) ölçüm yapılması yeterlidir. Ölçümler X_{jkl} , X_{jkl} , (n=3 set), j set numarası, k hedef (t=4), (I) I.yüz, (II) II.yüz olmak kaydıyla isimlendirilmektedir. I. yüzden ölçümler 1. Hedeften 4. hedefe kadar ölçülür, 2. Yüzden ölçümler ise 4. hedeften 1. hedefe doğru tamamlanır.

Bütün ölçümler için I. ve II.yüz ölçümlerinin ortalama değerleri hesaplanır :

$$X_{jk} = \frac{X_{jkl} + X_{jkl} + 360^\circ}{2} \quad (41)$$

eğer birim grad ise 360° yerine 400 gon yazılır. J=1,2,3; k=1,2,3,4

n=3 set ve her bir hedef için ortalama değer hesaplanır :

$$\bar{X}_k = \frac{X'_{1k} + X'_{2k} + X'_{3k}}{3} ; k=1,2,3,4 \quad (42)$$

Artık bulunur.

$$r_{jk} = X'_{jk} - \bar{X}_k ; J=1,2,3; k=1,2,3,4 \quad (43)$$

i.Ölçüm için artığın veya kalanın karelerinin toplamı hesaplanır :

$$\sum r_i^2 = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 r_{jk}^2 \quad (44)$$

3 set ölçüm ve 4 hedef için serbestlik derecesi $v_i = (3-1).4 = 8$ 'dir.

Bir set ölçüm için standart sapma ;

$$S = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{8}} \quad (45)$$

olarak hesaplanır.

3 set ölçüm ve 4 hedef için bütün ölçümler hesapladığında serbestlik derecesi $v = v_1$ ve $s=s_1$. Bütün ölçümler için standart sapma ;

$$S_{\text{ISO-THEO-V}} = S \quad (46)$$

Tam Test Prosedürü

Tam ölçümde 4 seri (m) ölçüm yapılması yeterlidir. Ölçümler X_{jkl} , X_{jkl} , (n=3 set) j set numarası, k hedef (t=4), (I) I.yüz, (II) II.yüz olmak kaydıyla isimlendirilmektedir. I. yüzden ölçümler 1. Hedeften 4 hedefe kadar ölçülür, 2. Yüzden ölçümler ise 4. hedeften 1. hedefe doğru tamamlanır.

Bütün ölçümler için I. ve II.yüz ölçümlerinin ortalama değerleri hesaplanır :

$$X_{jk} = \frac{X_{jkl} + X_{jkll} + 360^\circ}{2} \quad (47)$$

eğer birim grad ise 360° yerine 400 gon yazılır. $J=1,2,3$; $k=1,2,3,4$.

$$\delta_i = \frac{1}{nxt} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 \frac{X_{jkl} + X_{jkll} - 360^\circ}{2} \quad (48)$$

eğer birim grad ise 360° yerine 400 gon yazılır.

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^4 \delta_i}{4} \quad (49)$$

$n = 3$ set ve her bir hedef için ortalama değer hesaplanır :

$$\bar{X}_k = \frac{X'_{1k} + X'_{2k} + X'_{3k}}{3} ; k=1,2,3,4 \quad (50)$$

Artık (kalan) bulunur.

$$r_{jk} = X'_{jk} - \bar{X}_k ; J=1,2,3; k=1,2,3,4 \quad (51)$$

i.Ölçüm için artığın (kalanın) kareleri toplamı hesaplanır :

$$\sum r_i^2 = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 r_{jk}^2 \quad (52)$$

3 set ölçüm ve 4 hedef için serbestlik derecesi $v_i = (3-1).4 = 8$ 'dir. Bir set ölçüm için standart sapma

$$S = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{8}} \quad (53)$$

olarak hesaplanır.

3 set ölçüm ve 4 hedef için bütün ölçümler hesapladığında serbestlik derecesi $v = 4$ ve $v_i = 32$. Bütün ölçümler için standart sapma;

$$S_{ISO-THEO-V} = S \quad (54)$$

Şeklinde hesaplanır.

3.1.3 ÜRETİCİLER TARAFINDAN TAVSİYE EDİLEN ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

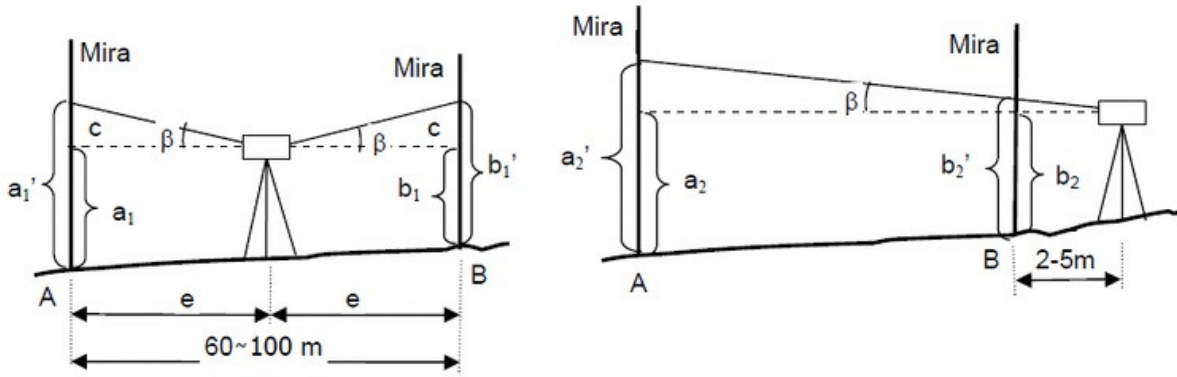
Üretimdeki çeşitlilik sebebiyle gerek dış mekan gerekse laboratuvar ölçümlerinde kullanılan ölçüm yöntemleri de çeşitlilik arz etmektedir. Bu bildiri içerisinde anlatılan yöntemlerin, yaygın kullanılan veya kolay anlaşılabilir yöntemler olmasına dikkat edilmiştir.

Nivo

Nivolarda düzeçleme ayarına başlanmadan önce (+) hedefin dönüklüğünün kontrol edilmesi ve dönüklük mevcut ise giderilmesi tavsiye edilmektedir. Bu işlem için bir çekül uygun bir konumda asılır ve (+) hedef ile düşey eksenin çakışıp çakışmadığı kontrol edilir. Kayma mevcut ise üretici tarafından tavsiye edilen yöntem ile (+) hedef döndürülerek hata giderilir.

Nivolarda düzeçleme hatasının bulunması ve giderilmesi için arazi şartlarında en yaygın kullanılan ayar ve kalibrasyon yöntemi PEG metodu olarak bilinen ve iki hedef yardımıyla ölçüm yapılan yöntemdir. Farklı PEG metotlarına ulaşmak mümkündür, bu yüzden bunlardan bir tanesi için örnek alınması tercih edilmiştir. Bu metot da üreticilere göre değişiklik gösterebilmektedir.

Nivo 60 m veya 100 m aralıklar ile yerleştirilmiş 2 adet Mira'nın (A ve B) arasına yerleştirilir (Şekil 9).



Şekil 9. PEG metodu ile düzeçleme hatasının giderilmesi

Nivo ayarlandıktan sonra A ve B noktalarındaki mira'lara bakılarak a_1' , b_1' okumaları yapılır. Cihaz hatasız olsaydı a_1 ve b_1 değerlerinin okunması gerekirdi. A ve B noktalarındaki mira okumalarında yapılan hata miktarları birbirine eşittir. İki nokta arasındaki yükseklik farkı,

$$a_1 = a_1' - c \text{ ve } b_1 = b_1' - c \quad (55)$$

olmak üzere,

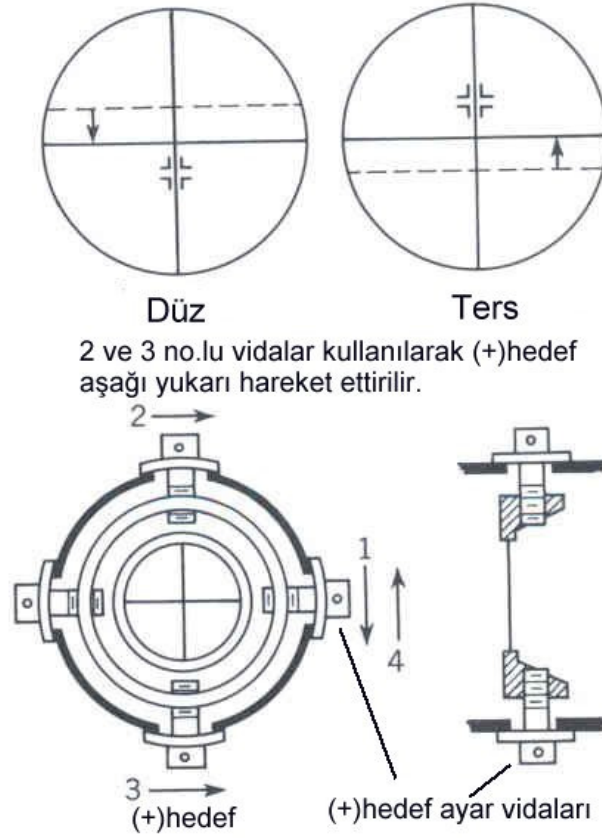
$$\Delta h = a_1 - b_1 = a_1' - c - (b_1' - c) = a_1' - c - b_1' + c = a_1' - b_1' \quad (56)$$

ile hatasız olarak elde edilir.

Cihazda hata olup olmadığını anlamak için B noktasının (2-5) m uzağına cihaz yerleştirilir. A ve B noktalarındaki mira'lara bakılarak ve a_2' ve b_2' ölçümleri yapılır. B noktası cihaza yakın olduğundan B noktasındaki hatasız kabul edilebilir, yani $b_2 = b_2'$ alınır. Cihazda düzeçleme hatası olmasaydı,

$$a_2 = b_2 + \Delta h = b_2 + a_1' - b_1' \quad (57)$$

eşitliğini sağlaması gerekirdi. Hatanın giderilmesi için (+) hedef, üreticinin tavsiye ettiği yöntem ile, A noktasında a_2 değeri okununcaya kadar kaydırılır (Şekil 10).



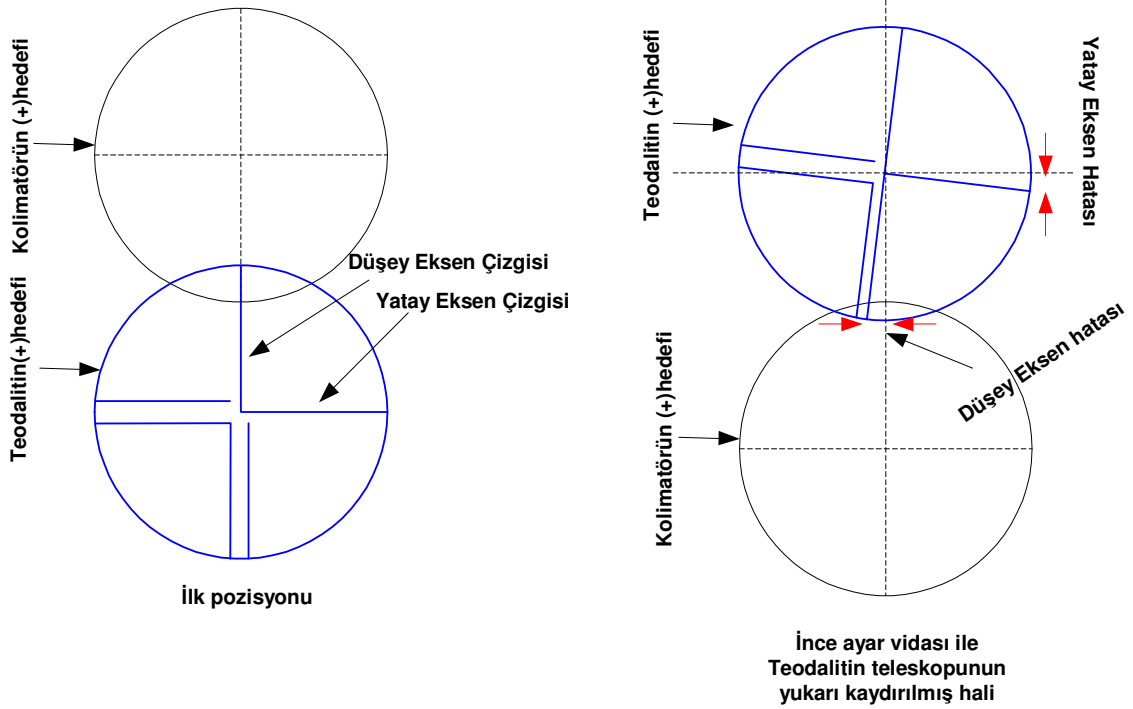
Şekil 10. Düzçeleme hatasının (+) hedef kaydırılarak ayarlanması [3].

Theodolite

Theodolite'lerde de hataların giderilmesi ve ayar işlemlerinden önce (+) hedef hatası, nivelarda anlatıldığı şekilde kontrol edilmeli ve düzeltilmelidir.

Yatay ve düşey kolimasyon hatasının bulunması ve giderilebilmesi için görüşün açık olduğu bir havada uzak ve görüşü açık bir hedef seçilir. Genellikle bu işlem için yüksek binaların kenarları, antenler veya cami minareleri kullanılmaktadır. Cihazın hatası her yüzden yapılan ölçüm ile tespit edilmektedir. Bulunan hatanın ayardan önce teyit edilmesi için ölçümlerin en az üç kez tekrarlanması gerekmektedir.

Cihaz ayarlandıktan ve hedef seçimi tamamlandıktan sonra I. yüzde (+) hedef, seçilen hedef ile karşılaştırılır ve düşey açı V_1 ve yatay açı H_1 ölçümü yapılır. II. Yüz de aynı şekilde yapılır ve düşey açı V_2 ve yatay açı H_2 ölçümleri alınır. Her yüzde yapılan en az üç ölçümün ortalaması alındıktan sonra aşağıdaki formüller kullanılarak yatay ve düşey kolimasyon hataları bulunur:



Şekil 11. Düşey ve yatay eksen (+)hedef pozisyon hatası [2].

$$H_z = \frac{H_{z1} + (H_{z1} - 180^\circ)}{2} \quad (58)$$

$$V = \frac{(V_1 + V_{II}) - 360^\circ}{2} \quad (59)$$

Eğer birim grad ise 180° yerine 200 gon, 360° yerine 400 gon yazılır. Bulunan hataların giderilmesi için mekanik cihazlarda, (+) hedef kaydırma işlemi yapılırken, elektronik cihazlarda düzeltme yazılımları kullanılarak yapılmaktadır. Bu yazılım kısımları bazı cihazlarda kullanıcılara açık iken bazı cihazlarda şifre veya özel tuş konfigürasyonları ile girişe izin vermektedir.

3.2 LABORATUVAR ÖLÇÜMLERİ

Dış mekan ölçümlerinde hedeflerin uzakta olmaları sebebiyle hedefleme hatalarının artması olasıdır. Ortam şartlarındaki değişimler nedeniyle cihazın hatalarının artması beklenen bir durumdur. Bu yüzden ölçümlerin kontrollü bir ortamda ve kolimatörler ile yapıyor olması sebebiyle, hata tespitinin daha hassas yapılması ve dış mekanda yapılamayacak kadar hassas bir şekilde ayarlanması sağlanmış olacaktır.

Sistemde kullanılan kolimatörlerin özellikleri sayesinde hedefin boyutları değiştirilmeden ve netliğinde bozulma olmadan yansıtma yapması sağlanır. Bu sebeple 100 m'den daha uzak hedefler bile net ve ince bir çizgi şeklinde görülebilmektedir.

Laboratuvarda yapılan ölçümler sırasında teleskop, kolimatör, özel hedefler kullanılmaktadır. Bu sistemleri kendi bünyesinde bulunduran kolimatör sistemleri kullanılabileceği gibi bu sistemlerin ayrı ayrı kullanılmaları da mümkündür.



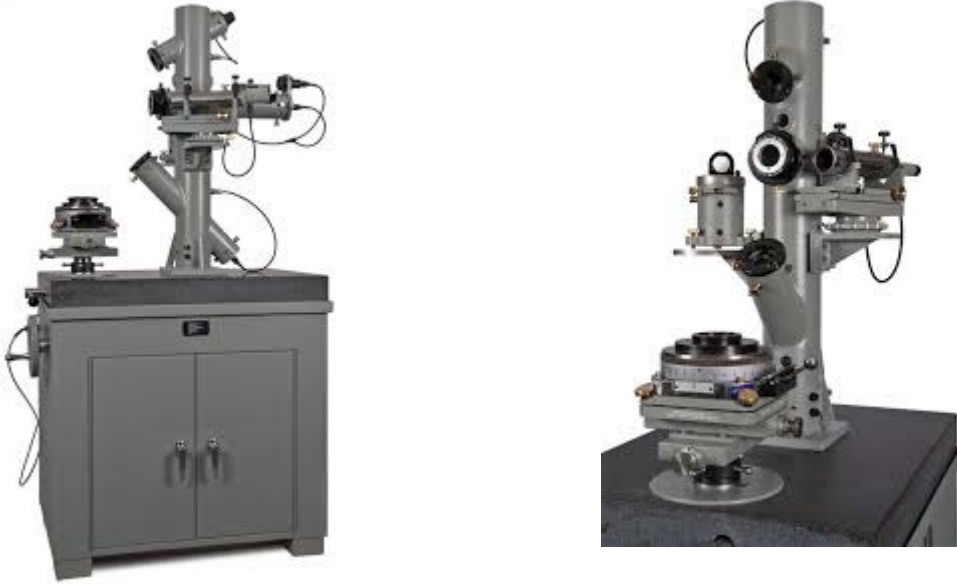
Şekil 12. Laboratuvar ölçümlerinde kullanılan çok ve tek hedefli kolimatörler [2]

Nivo

Nivolarda düzeçleme hatasının giderilebilmesi için, kolimatör sisteminin düzecinin ayarlı olması gerekmektedir. Kolimatör sistemin üzerindeki su terazisi yardımı ile düzeçleme işlemi yapıldıktan sonra nivo'nun (+) hedefi ile kolimatörün ∞ hedefi ile karşılaştırılır. Eğer cihazda hata var ise yatay çizgiler çakışmayacaktır. Hatanın giderilmesi için (+) hedef çakışana kadar kaydırılır.

Bazı sistemlerde karşılıklı iki kolimatör mevcuttur. Cihaz birinci kolimatörün (+) hedefi ile karşılaştırılır ve diğer kolimatöre çevrilerek hatası bulunur ve düzeltilmesi için (+) hedef kaydırılarak düzeltilir.

Laboratuvarında yapılan çalışma sırasında eğer çok hedefli kolimatör kullanılıyor ise bu çalışmalar ek olarak cihazın odaklama doğrusallık hataları (Yatay ve düşey eksen için) ölçülebilmektedir. Bu çalışma için çok hedefli kolimatör ile nivo eksenleri karşılaştırılır ve daha sonra çok hedefli kolimatör üzerindeki her bir hedef sırası ile (sadece cihazın odaklama ayarı değiştirilerek) (+) hedef ile karşılaştırılarak hem düşey hem yatay eksendeki hatalar (optik wedge veya optik mikrometre ile) ölçülerek bulunur.

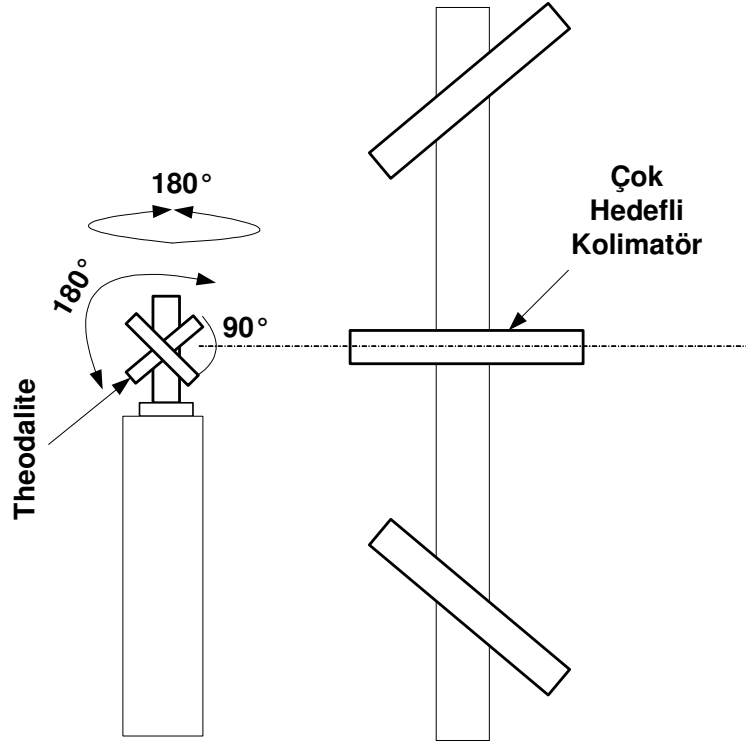


Şekil 13. Nivo ve Theodolite ayar ve ölçümlerinde kullanılan optik kolimatör sistemi

Theodolite

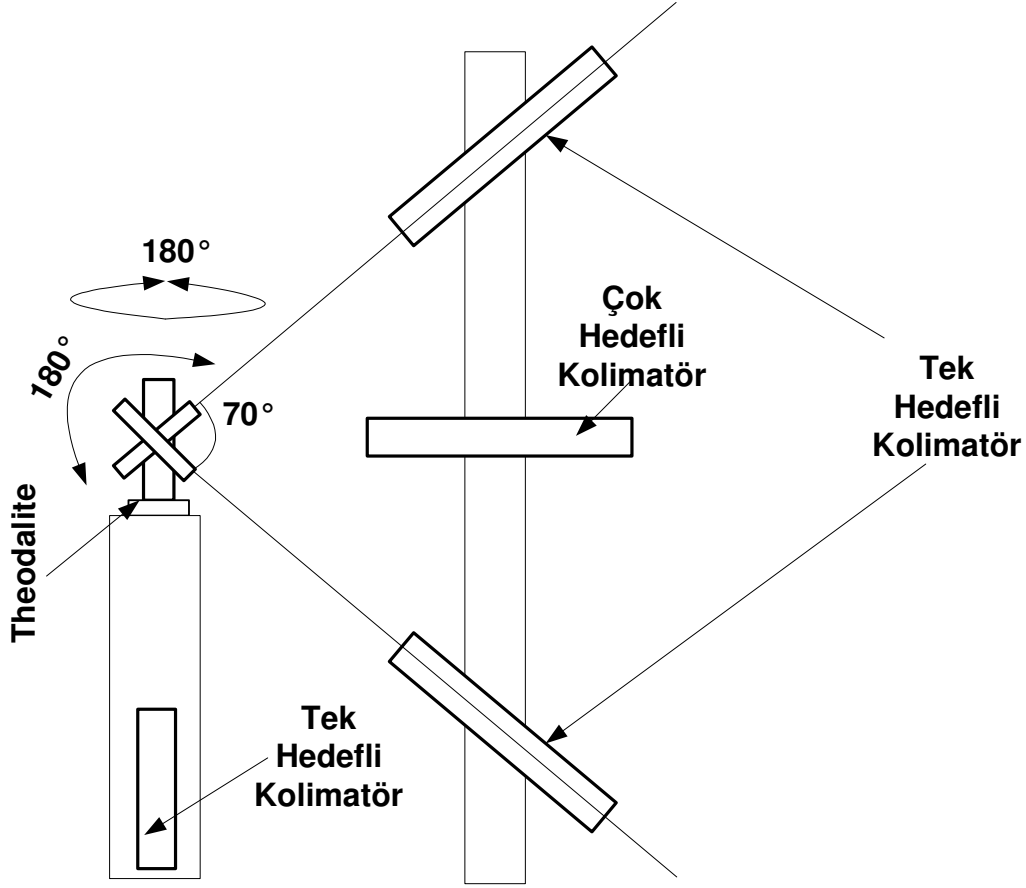
Theodolitlerde yapılacak çalışma daha önce dış mekan ölçülerinde anlatılan ölçümlerden farklı değildir. Tek fark uzak hedef olarak kolimatörün ∞ hedefinin kullanılmasıdır. Yatay ve düşey kolimasyon hataları 58. ve 59. formüller kullanılarak hesaplanır.

Odaklama doğrusallık hataları (Yatay ve düşey eksen için) nivo kısmında anlatıldığı gibi ölçülebilmektedir.



Şekil 14. Yatay ve Düşey kolimasyon hatası ayarı, odaklama doğrusallık ölçümleri (Çok hedefli kolimatörler ile) [2]

Theodolitler için ek olarak optik çekül çizgisi kontrolleri ve ayarları yapılabilmektedir. Bu işlem için optik kolimatör sisteminde, bu ölçümler için, dik olarak yerleştirilmiş kolimatör kullanılabileceği gibi laboratuvar zeminine yerleştirilmiş hedef kullanılabilmektedir. Ayak üzerine yerleştirilmiş ve düzeçlenmiş cihazın optik çekülü ile aşağıdaki hedef çakıştırılır. Cihaz 180° çevrilir ve hedefin ne kadar kaydığı gözlenir. Hatanın yarısı hedef kaydırılarak diğer yarısı ise optik çekülün (+) hedef ayar vidalarından alınır, işlem her iki pozisyonda da hedef yer değiştirmeyene kadar devam edilir.



Şekil 15. Yatay eksen hatası, yatay ve düşey eksen dikliğinin kontrolü ve ayarı (Tek hedefli kolimatörler ile), [2]

Yatay eksen hatası oluşmaması için cihazın düşey eksenini yatay eksenine dik olmalıdır. Bu hatanın bulunması için kolimatör sisteminde açılı olarak yerleştirilmiş (70° bir açı ile) iki adet kolimatör kullanılmaktadır (Şekil 15).

Theodolit 1. Yüzde teleskop sistemde yukarıda açılı duran kolimatöre çevrilir ve (+) hedefler çakıştırılır. Teleskop aşağıya indirilir ve hedefler kolimatörün ayar vidaları kullanılarak çakıştırılır. Cihaz 180° düşey ekseninde çevrilir ve teleskop 2. Yüze çevrilir ve tekrar üstteki kolimatöre çakıştırılır. Teleskop aşağıdaki kolimatöre çevrilir ve düşey eksenler arasındaki fark yatay eksen hatasıdır. Elektronik cihazlarda bu işlem cihaz tarafından kullanıcıya sırasıyla yaptırılır ve bulunan değer düzeltme değeri olarak kaydedilir. Mekanik cihazlarda ise üreticinin tavsiye ettiği şekilde giderilebilir.

SONUÇ

Nivo ve theodolite kalibrasyon ve ayarları için bu bildiriye anlatılan yöntemler haricinde çok farklı yöntem ve metoda farklı kaynaklardan ulaşmak mümkündür.

BS 7334-3 ISO 8322-3 ve ISO 17123-2 standartları incelendiğinde, bu standartların kalibrasyon işlemlerini değil, daha çok cihazların doğruluk değerlerinin belirlenmesi ve cihazların birbirleri ile karşılaştırılmalarında kullanılabilecek yöntemleri içerdiği görülmektedir. Standartlarda ayar ve kalibrasyonlardan çok istatistiksel çalışma ve hesaplamalar ile cihaz doğruluklarının bulunması yönünde metot ve yöntemler mevcuttur.

Dış mekan ölçümleri için üretici tavsiyeleri göz önüne alınarak yapılacak bir literatür taramasında bildiride bahsedilmeyen farklı bir ölçüm yöntemine ulaşmak mümkündür. Bu sebeple yayın içerisinde anlatılan metotların en doğru metotlar olduğunu iddia etmek doğru değildir. Bildiri için seçilen metotların yaygın kullanılan metotlar olmasına dikkat edilmiştir.

Laboratuvar içerisinde yapılan ölçümler için kullanılan yöntemlerden bir çoğu yine üretici firmaların tavsiye ettikleri yöntemlerdir. Laboratuvar çalışmalarındaki yöntemler ise mevcut cihaz alt yapısına göre çeşitlilik arz etmektedir. Kullanılan yöntem amaca uygun olarak değişimler gösterebilmektedir. Bu yüzden yapılacak çalışmanın belirsizlik bütçesi de, kullanılan cihaz ve yapılacak çalışma için değişiklik arz edecektir.

Arazi ölçüm cihazları konusunda çalışma yapacak kişilerin ilk karşılaşacakları en önemli problem ise kullanılan terimlerin ve isimlendirmelerin çeşitliliğidir. Cihazlar 3 eksene sahip olmalarına rağmen her eksene en az 3 farklı isim verilebilmektedir. Aynı durum hataların isimlendirilmesi ve tanımlanmasında da görülmektedir.

Laboratuvarların kontrollü bir ortam olması ve hedef olarak kolimatör sistemlerinin kullanılması laboratuvarda yapılacak olan ölçümlerin güvenilirliğini artıran unsurlardandır. Laboratuvarda yapılan ölçümler için belirsizlik değeri, kullanılan referans sistemlere bağlı olarak değişmesine rağmen, 2 arc saniye kadar düşebilmektedir.

Theodolitlere ait hataların neredeyse tamamının, Çift Yönlü ölçüm sırasında giderildiği veya azaltıldığı bilinen bir gerçek olmasına rağmen, yaygın uygulama sırasında cihazlar ile yapılan ölçümlerde çoğunlukla tek yönlü ölçüm yapılmaktadır. Tek Yönlü ölçüm, yapılan çalışmada alınan nokta sayısının zaman zaman binler ile ifade edildiği göz önüne alındığında, çalışma süresini kısaltmaktadır. Bu yüzden belirli periodlar ile cihazların kontrol edilmesi ve hatalarının giderilmesi gerektiği üretici firmalar tarafından tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] MARTİN D., MILLEFAUD J.D., GATTA G., "The ESRF Calibration Bench Activities", FIG Working Week Paris, 2003.
- [2] TUBİTAK-UME Eğitim Dokümanı, "Optik Takımlar, Tanımları, Kullanımı ve Kalibrasyonları", 2012
- [3] PHİLLİP K., "Optical Tooling", McGraw-Hill Toronto, 1962.
- [4] BS 7334-3 ISO 8322-3 "Methods for determining accuracy in use optical levelling instruments", 1990
- [5] BS 7334-4 and ISO 8322-4 "Methods for determining accuracy in use of theodolites", 1992
- [6] ISO 17123-2, "Optics and optical instruments; Field procedures for testing geodetic and surveying instruments PART II Levels", 2001
- [7] ISO 17123-3, "Optics and optical instruments; Field procedures for testing geodetic and surveying instruments PART III Theodolites", 2001
- [8] BS 7334-7, ISO 8322-7, "Measuring instruments for building construction. Methods for determining accuracy in use of instruments when used for setting out", 1992
- [9] ISO 17123-1, "Optics and optical instruments; Field procedures for testing geodetic and surveying instruments PART I Theory", 2010

ÖZGEÇMİŞ

Okhan GANİOĞLU

1969 yılı İstanbul doğumludur. 1993 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1996 yılında Yüksek Lisans derecesi almıştır. 1996-1997 yılları arasında özel bir firmada Arazi Ölçüm Cihazları konusunda teknik servis personeli olarak çalışmıştır. 1997 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 1999-2012 Yılları arasında Laboratuvar sorumlu vekili olarak görev yapmıştır. Haziran 2012 tarihinden itibaren Boyutsal Laboratuvarı sorumlusu olarak görev yapmaktadır. 2005 yılında uzman araştırmacı, 2012 yılında başuzman araştırmacı unvanını almıştır. 2009 - 2011 yılları arasında TURKAK Ölçme Tekniği ve Kalibrasyon Sektör Komitesi'nde görev almıştır. 2012 yılından itibaren EURAMET Uzunluk Teknik Komitesinde (TC-L) ve Uzunluk Danışmanlar Komitesi (CCL) Boyutsal Çalışma Gruplarında (WGDM) ülkemizi temsil etmektedir.