

AÇI STANDARDLARI VE AÇI ÖLÇÜMLERİNDE İZLENEBİLİRLİK

Nuray Karaböce, MSc., Alper Tiftikçi, MSc.
TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)

ÖZET

Bu bildiri, açı referans standartlarının çalışma alanları ve özellikleri açıklanmıştır. Açı ölçümlerinde izlenebilirliğin nasıl sağlandığı hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca açı ölçümlerinde UME Boyutsal Laboratuvarı'nda kullanılan referans cihazlar tanıtılmıştır. Uluslararası karşılaştırma ölçümlerinde açı standartları için gereken belirsizlik değerleri verilmiştir.

1. GİRİŞ

Metre, ışığın boşlukta $1/299\,792\,458$ saniyelik zaman aralığında katettiği yolun uzunluğudur [1]. Bu birim, frekansı yüksek kararlılıkla stabilize edilmiş He-Ne lazerin dalgaboyu cinsinden, enterferometrik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilir. Uzunluk ve boyutsal ölçümlerinde He-Ne lazeri referans standard olarak kullanılır. Açı ölçümlerinde ise uzunluk örneğinde olduğu gibi bir referans standard mevcut değildir. Radyan ve steradyan açı birimleri, SI birimler sisteminde ek temel birimler olarak yer almıştır. Açı birimi dairenin eşit bölünmesiyle ve trigonometrik prensiplere dayalı metodlarla gerçekleştirilir [2,3]. Açı referans ve çalışma standartlarını kalibre etme kabiliyeti, referans dairenin ne kadar hassas ve doğru bölünmesine bağlıdır. Sanayi uygulamalarında kullanılan açı ölçme cihaz ve ekipmanlarının bir hiyerarşik ölçme sistemi içerisinde kalibre edilmeleri gerekir.

Açı büyüklüklerini, teknik ölçümlerde sinüs, cosinüs, tanjant gibi trigonometrik fonksiyonlarla tanımlamak ve incelemek daha uygundur. Bu yüzden uygulamalı açı ölçümleri trigonometrik fonksiyonlara bağlı olarak gerçekleştirilir [3].

2. AÇI REFERANS STANDARDLARI

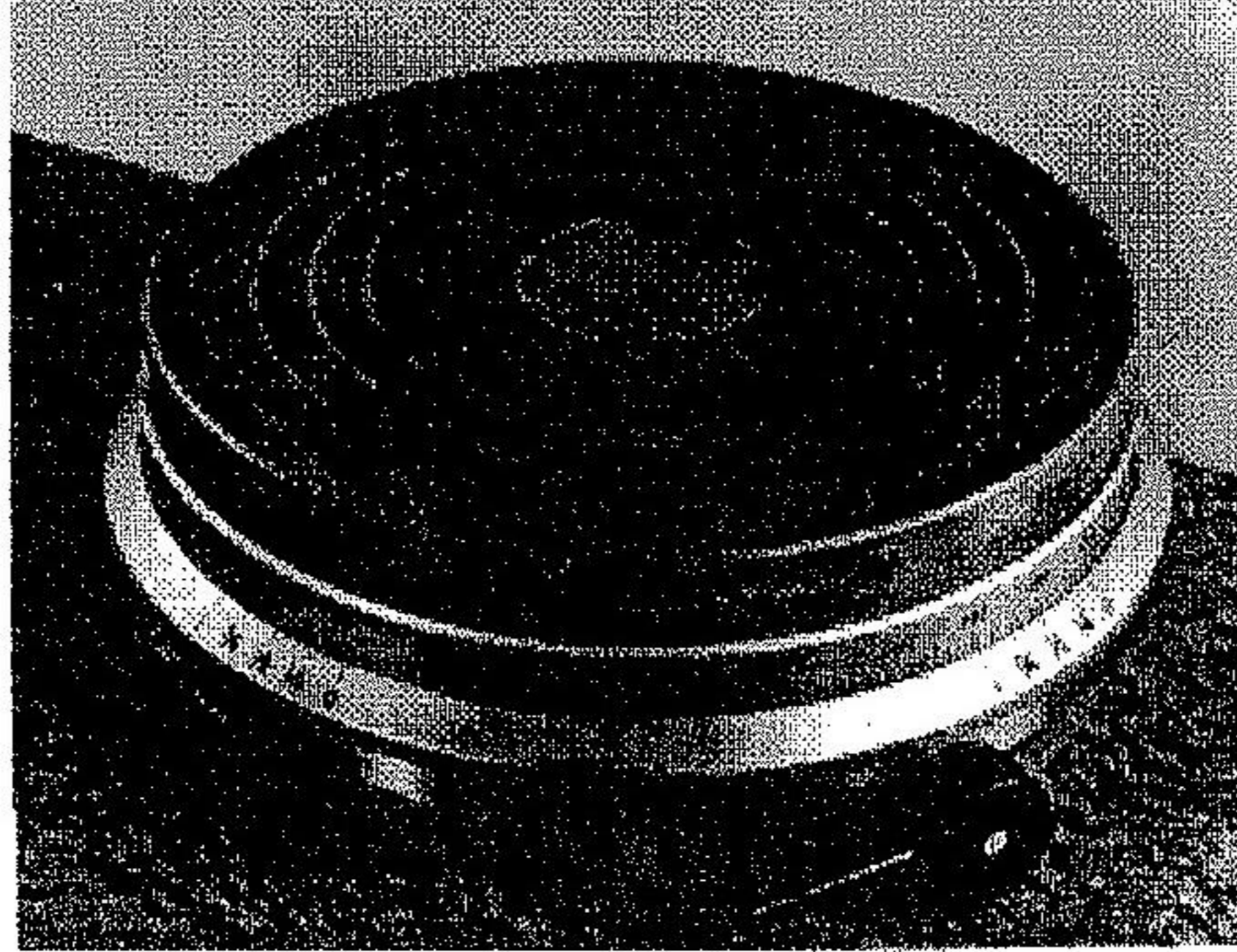
Açı ölçümlerinde hassas uzunluk ölçümlerinin aksine, mutlak açı standardına ihtiyaç yoktur. 360° lik dairenin hassasiyetle bölünmesiyle istenilen açı elde edilebilir. Pratik açı ölçümlerinde referans ve çalışma açı standartları kullanılır. Aşağıda referans açı standartlarının çalışma alanları, özellikleri ve belirsizlikleri açıklanmıştır.

(a) Hassas Index Tabla

Dairenin hassas bölünmesiyle açıyı oluşturan bir ekipmandır. Index tablanın en küçük açı aralığı, çentiklerin sayısına göre değişir. Örneğin şekil 1'de gösterilen Moore 1440 index tablası ticari olarak elde edilebilen ve en çok bilinen index tablalardan birisidir. Alt sabit taban ve üst döner tabla üzerinde 1440 radyal çentiğe sahiptir. 0.25 derece ve katlarını oluşturabilir. Toplam

aralıktaki hata 0.2 saniye'den fazla değildir, tekrarlanabilirlik ise 0.05 saniye'dir [2]. İki adet Moore 1440 index tabla UME Boyutsal Laboratuvarı'nda referans standard olarak kullanılmaktadır.

Hassas index tabla, poligonların ve açı master bloklarının, döner tablaların ve optik bölücülerin kalibrasyonunda, otokolimatör ile birlikte kullanılır.



Şekil 1. Moore 1440 index tabla

(b) Hassas Poligonlar

Sertleştirilmiş çelik ya da özel optik camdan imal edilirler. En az 5 ve en fazla 72 yüzlü olan poligonların, en çok 6, 8 ve 12 yüzlü olanları kullanılır. Poligonların yüzeylerinin yansıtıcı özelliği (%90) vardır. Hassas poligonlar, döner açısal indexlerin ve ölçme ekipmanlarının kalibrasyonu için uygun ve hassas laboratuvar standartlarıdır. Poligonun bitişik yüzeyleri arasındaki açılar, poligondaki yüzeylerin sayısına göre, 360° 'nin doğrulukla eşit bölümlere bölünmesiyle oluşturulur [4].

Poligonlar optik camdan ya da çelikten yapılmış disklerdir. Poligon yüzeyleri arasındaki açılar birkaç saniye aralığında anma değeriyle imalat edilmişlerdir. Yüzeyler işlenmiş, çok yüksek derecede düzgünlüğe sahiptir. UME Boyutsal Laboratuvarı'nda referans olarak kullanılan 8 yüzlü poligonun sertifika değerleri örnek olarak aşağıda Tablo 1.'de verilmiştir.

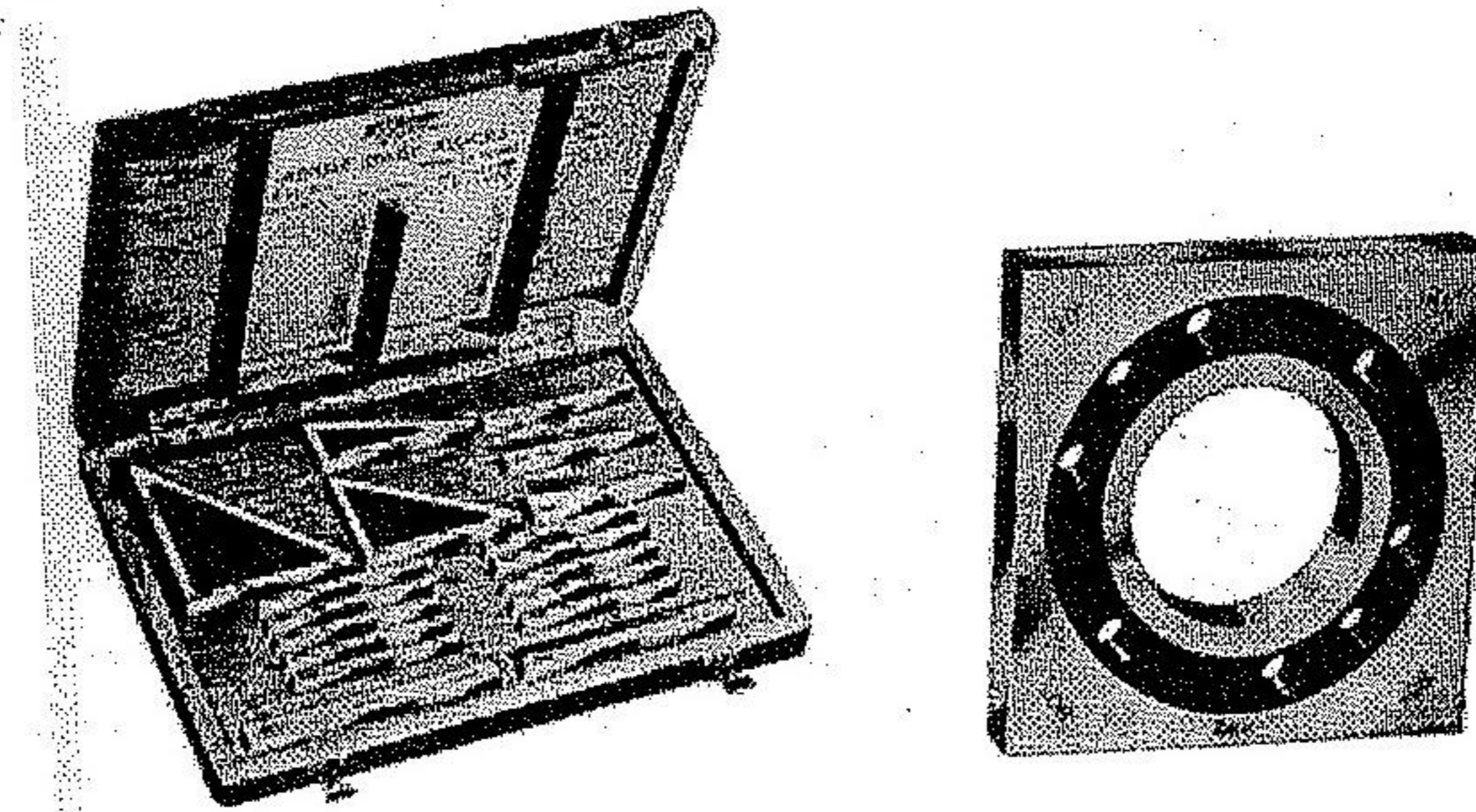
Poligon, otokolimatör ile birlikte index tabla ve döner tabla, optik bölücüler gibi çeşitli açı ekipmanlarının kalibrasyonunda kullanılır.

Tablo 1. UME Boyutsal Laboratuvarı referans 8 yüzölçümü poligonunun sertifikasyon değerleri

Yüzeyler arasındaki açı	Anma açısından ölçülen sapma
Derece	Arc saniye
0 - 45	+ 3.3
45 - 90	- 3.0
90 -135	- 0.8
135 - 180	+ 0.3
180 - 225	- 3.8
225 - 270	- 0.7
270 - 315	+ 0.5
315 - 0.	+ 4.2

(c) Açık Mastar Blokları

Açık mastarlarının imali ve ayarlanması 1950 yılında Knoyle tarafından tanımlanmıştır. Tesa'nın 14 parçalık açık mastar bloğu ve kare blok şekil 2'de gösterilmiştir ve tablo 2'de açık mastar bloklarının özellikleri verilmiştir.



Şekil 2. Açık mastar blokları

Özel sertleştirilmiş çelikten imal edilmiş ve optik kalitede bir yüzeye sahip olan açık mastarları, iki komşu yüzey arasında açı değerini muhafaza etmektedir [4]. Açık mastarlarını, uzunluk mastarları gibi açık mastar setleri oluşturmaktadır. Bu mastarlarla, birbirlerine eklenerek 1.5 saniye'ye varan belirsizlik değerine sahip çeşitli açılar oluşturulabilmektedir [4,6].

Tablo 2. Açı masterlarının özellikleri

Açı Masterlarının Özellikleri	Doğruluk Değeri		
	Atölye	Kontrol	Laboratuvar Referansı
Malzeme	Çelik	Çelik	Sert metal
Master sertlik değeri	800 Hv(64Rc)	800 Hv(64Rc)	800 Hv(64Rc)
Nominal değerden sapma	3"	2"	1"
Masterın kalınlığı boyunca düzlemsellik değeri	0.2 µm	0.2 µm	0.2 µm
Masterın uzunluğu boyunca düzlemsellik değeri	0.2 µm	0.2 µm	0.2 µm
Yan yüzeylerin düzlemsellik değeri	0.3 µm	0.3 µm	0.3 µm
Yüzey pürüzlük değeri	0.2 µm	0.2 µm	0.2 µm
Ölçme yüzeyinin diklik değeri	± 2"	± 2"	± 1"
Kalibrasyon doğruluğu	1"	0.5"	0.25"

Genel bir açı master seti 12 adet master içerir. Bu set ve kare blok ile 3 saniye aralıklarla 90 derecenin üstünde istenilen açıyı elde etmek mümkündür.

41, 27, 9, 3, 1 dereceler

27, 9, 3, 1 dakikalar

27, 9, 3 saniyeler

(d) Dairesel Skala

Genelde uzama katsayısı düşük özel camdan imal edilir ve vakumda kaplama tekniği kullanarak cam yüzey üzerinde bölüntü çizgileri oluşturulur. Ayrıca bölüntü yerine gray kodlama sisteminde kodlanmış dairesele skalalarda mevcuttur. Dairesel skalalı goniometrik açı ölçme sistemlerinde 0.01 arc saniye'ye varan belirsizlik değerine ulaşılabilir. Dairesel skalaların hassasiyet ve tekrarlanabilirliği skalanın eksenlenmesinden ve patern çizgilerinin genişliğinden kaynaklanmaktadır. Eksantriklik hatası birbirleri ile 180° konum farkı olan iki detektör yardımıyla algılanır [7].

3. KÜÇÜK AÇI ÖLÇME CİHAZLARI

(a) Hassas Elektronik Düzeyler

Dikey ya da yatay ekseninde, küçük açıların eğimini ölçmek için kullanılır. Elektronik ya da bölüntülü tipi vardır. Hassas bölüntülü düzeyler, 2 saniye çözünürlük ve 20 saniye ölçme aralığına sahiptir. Fakat çoğu bölüntülü düzeyler düşük doğruluk ve dar ölçme aralığındadır. Genellikle elektronik düzeyler yüksek çözünürlük, doğruluk ve geniş ölçme aralığına sahiptir. Elektronik seviye uzaktan kontrollüdür ve çoğu ölçme noktası arasında bağıl açıyı ölçebilir.

(b) Otokolimatör

Küçük açısal yerdeğişimleri ölçen optik bir cihazdır. Dikey ve yatay yönde açı sapmalarını ölçme kabiliyetine sahip olan otokolimatörler, mikrometrik vida veya fotoelektrik tip olmak üzere ikiye ayrılır. Bu cihazlar bilgisayar ve yazıcılarla birlikte kullanılabilirler, uzaktan kumanda edilip veriler otomatik hesaplanabilir. İndex tabla , poligon ve açı masterları gibi açı standartlarının kalibrasyonunda kullanılır [8].

(c) Lazer Enterferometre ve Açı Ölçme Optikleri

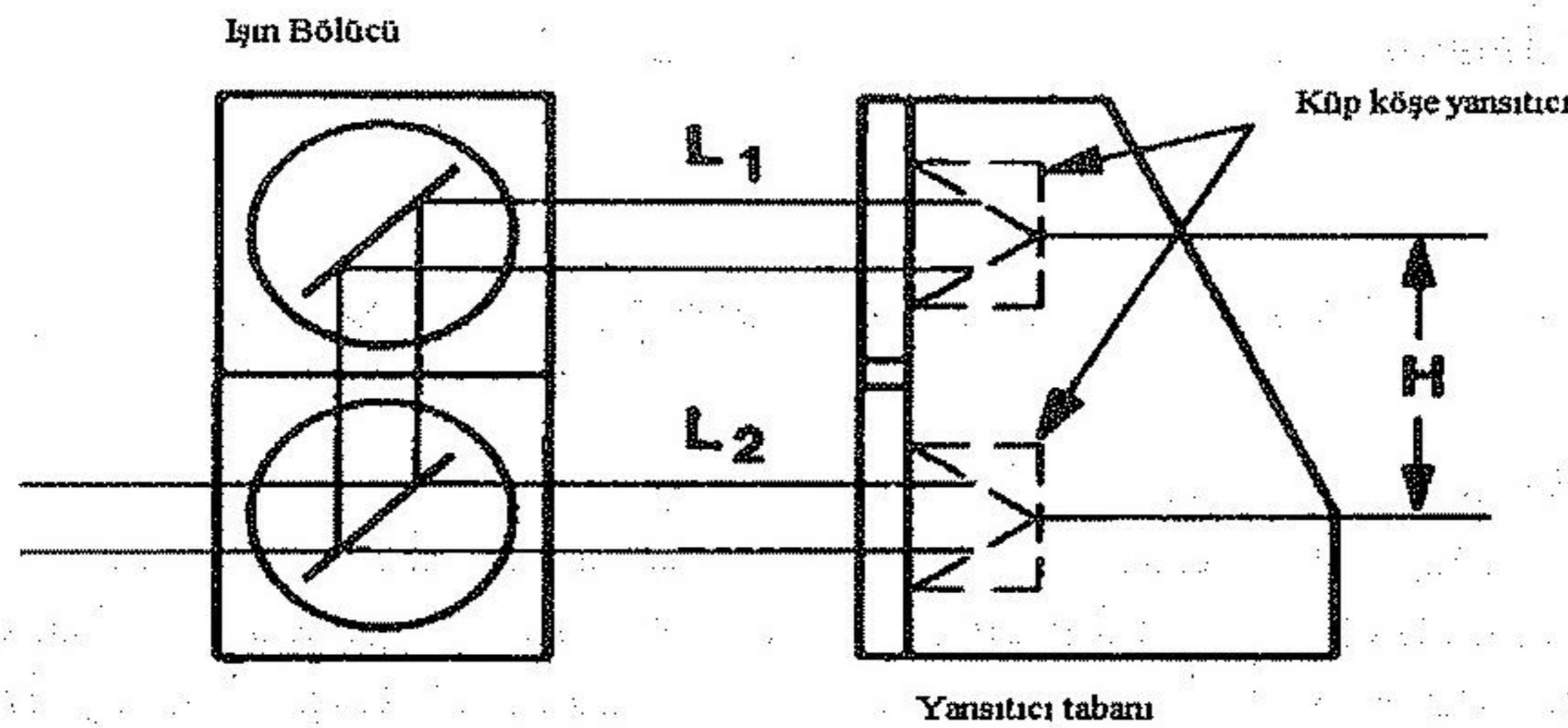
Lazer enterferometreler temel olarak takım tezgahlarındaki doğrusal konumlandırma hatalarının kalibrasyonu için geliştirilmiştir. Lazer enterferometre sistemi, birbirine monteli iki küp köşe yansıtıcı açı optikleri ile açı ölçümleri yapılabilir. Şekil 3'de görüldüğü gibi cihaz, açı ölçümünde sinüs prensibini kullanır.

İki yansıtıcının kutupları arasındaki mesafe H , dik üçgenin hipotenüsünü gösterir ve yansıyan ışınların uzunluk farklarındaki değişikliği ölçer. Örneğin L_1-L_2 , ölçülen zıt açının üçgen kenarını gösterir.

Lazer enterferometre sistemi, örneğin Hewlett Packard 5529, standard açı optikleri dahil edildiği zaman 0.05 saniye çözünürlüğe ya da 0.005 saniye genişletilmiş çözünürlüğe sahiptir [9]. Bu sistemle ± 1 derece'ye kadar olan açılar ± 0.5 saniye doğrulukla ölçülebilir. Cihazın çözünürlüğü, 0.1 saniye ve uygun sinüs düzeltmelerini uygulayarak ± 10 derece açı aralığında kullanılabilir. Bu aralıkta elde edilebilen doğruluk değeri gösterge değerinin % 2'sidir.

Doğrusallık ve Düzlük Ölçümleri;

Yukarıda anlatılan küçük açı ölçme cihazları yüzeylerdeki doğrusallık ve düzlüğün incelenmesinde kullanılabilir. İncelenen yüzey, otokolimatörün yansıtıcısının ya da lazer enterferometrenin küp köşe yansıtıcısının taban uzunluğunun çift katı aralıklarla adım adım taranır. İki adım yüksekliği farkı açısal eğimi verir. Bu değerlerin toplamı yüzeyin doğrusallığı hakkında bilgi verir. Çeşitli metodlarla (Union Jack, grid metodu vb.) bütün bir yüzeyin taranması ile düzlemsellik ölçümü yapılır.



Şekil 3. Lazer enterferometre açı ölçme optikleri

4. AÇI ÖLÇÜMLERİNDE İZLENEBİLİRLİK

Küçük ve büyük açların oluşturulması ve ölçülmesindeki izlenebilirlik zinciri aşağıda Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. İzlenebilirliğin sağlanması

Küçük açların oluşturulması	Küçük açların ölçülmesi	Büyük açların oluşturulması	Büyük açların ölçülmesi
<ul style="list-style-type: none">Optik simülatorSinüs çubuğu (uzunluk / yerdeğiştirme ölçümü ; lazer enterferometre sistemi ile)	<ul style="list-style-type: none">HP açı optikleriOtokolimatörElektronik seviyeler	<ul style="list-style-type: none">Index tabla	<ul style="list-style-type: none">Poligon + OtokolimatörIndex tabla + otokolimatörAçı master bloğu + otokolimatörOptik kare (pentagon prizma)+ otokolimatör

Optik simülator



HP açı optikleri ve otokolimatör

Index tabla



poligon ve iki otokolimatör
index tabla ve otokolimatör

Otokolimatör ve elektronik seviye



sinüs çubuğu

Açı master bloğu ve otokolimatör



index tabla

5. UME'DE AÇI ÖLÇÜMLERİ VE İZLENEBİLİRLİĞİN SAĞLANMASI

a) Küçük açı oluşturulması

Mevcut sistemde Rank Taylor Hobson (RTH) küçük açı jeneratörü ile ± 200 saniye ölçme aralığında küçük açlar oluşturulmaktadır. Cihazın tekrarlanabilirliği 0.3 saniye olarak bulunmuştur. Bu cihazın kalibrasyonu ise kalibreli bir otokolimatör ile yapılabilir. Laboratuvarında Möller Wedel HR otokolimatörle RTH küçük açı jeneratörü kalibre edilmiştir. Sanayiden gelen otokolimatörlerde küçük açı jeneratörü ile ± 200 saniye ölçme aralığında kalibre edilmektedir.

b) Küçük açı ölçümü

Küçük açların ölçümü için Möller Wedel HR ve Rank Taylor Hobson otokolimatörler, açı master blokları ve Hewlett Packard lazer enterferometre ile açı optikleri kullanılmaktadır.

Otokolimatörlerin kalibrasyonu için 1 metre'lik sinüs çubuğu yapılacaktır. Dik açılı bir üçgende karşı dik kenarın hipotenüse oranı olan sinüs prensibi temel çalışma prensibidir. Burada hipotenüsün boyu, otokolimatörün ölçme aralığına göre hesaplanır. ± 300 saniye ölçme aralığı olan otokolimatör için çubuğun boyu 1203.21 mm olarak hesaplanmıştır. Dik kenardaki yükseklik ayarı ise Mitutoyo calibration tester ile yapılacaktır. Ulusal açı standardı olarak kullanılacak olan 1 m'lik sinüs çubuğu ile otokolimatörlerin yanında su terazileri ve elektronik düzeçlerin kalibrasyonu da yapılabilecektir.

1 derece'ye kadar olan açı master blokları Moore 1440 index tabla ve iki otokolimatör kullanılarak yapılmaktadır. Aynı zamanda açı master bloklarının, elektromekanik komparatörde 20 mm'nin üzerindeki paralellik sapması ölçülmektedir.

1 derece'den büyük açı master blokları Moore 1440 index tabla ve iki otokolimatör kullanılarak, lazer enterferometre ve açı optikleri ile yapılmaktadır.

c) Büyük açıların oluşturulması

± 0.05 saniye belirsizliğe sahip olan Moore 1440 index tabla ile 15 dakikalık adımlarla istenilen açı elde edilebilir. Bu index tabla izlenebilirliğini laboratuvarında mevcut bulunan ikinci referans Moore 1440 index tabla üzerinden sağlamaktadır. Index tabla kalibreli bir poligonla ya da kalibreli bir index tabla ile kalibre edilebilir.

d) Büyük açılarının ölçülmesi

Büyük açılar, poligon, optik kare (penta prizma, 90°), döner tabla ya da açı master blokları ile ölçülebilir. Poligon kalibrasyonu ise iki otokolimatör ve index tabla ile yapılmaktadır. Laboratuvarında 5, 8, 12, 21 ve 36 yüzlü poligonlar referans olarak kullanılmaktadır.

Uluslararası karşılaştırma ölçümlerinde referans standartlar için öngörülen gerekli belirsizlik değerleri aşağıda belirtilmiştir.

Döner tablalar	: 0.2-0.5 saniye
Poligonlar	: 0.2-0.4 saniye
Otokolimatörler	: 0.1 saniye
Elektronik düzeçler	: 0.5 saniye
Açı master blokları	: 0.1 saniye + 2 saniye / 10 derece

KAYNAKLAR

- [1] "Documents Concerning the New Definition of Metre", Metrologia, (1984),19,163-177
- [2] W.R. Moore, "W.R Moore Foundations of Mechanical Accuracy", (1970)
- [3] Ted Busch, "Fundamentals of Dimensional Metrology", Wilkie Brothers Foundation, Second Edition, Newyork, copright (1989).
- [4] Brezina, "Grundlagen der Winkelmesstechnik", Berlin : Verl Technick, (1986)
- [5] Hilger & Watts Ltd., "Precision Polygons, Methods of Use", 98St. Pancras Way, London, Pub. Bz.125
- [6] Peter J. Sim, Proceedings of the regional metrology workshop "Angle standards and the calibration" (1982)

- [7] Jae-Sun Lim, Length Standard Laboratory, Korea Standards Research Institute, Taedok Science Town, Republic of Korea.
- [8] J.F.W. Galyer, C.R. Shotbolt, "Engineering Metrology", Pergamon Press, Headington Hill Hall Oxford OX3 0BW, England, First Edition (1986)
- [9] Kullanma Kılavuzu "5528A Laser Interferometer Systems" : Service Manual, Hewlett-Packard Company, 5301 Stevens Creek Boulevard, Santa Clara, California 95052-8059, (1990)