

MASTAR BLOKLARINDA İNTERFEROMETRİK ÖLÇÜMLER

S. Aslı AKGÖZ, Tanfer YANDAYAN

TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü - UME, 41470 Gebze - KOCAELİ
Tel: 262 646 63 55
e-mail: asli.akgoz@ume.tubitak.gov.tr, tanfer.yandayan@ume.tubitak.gov.tr

ÖZET

Uzunluk birimi metrenin tanımı, ışığın vakum ortamda $1/299\,792\,585$ saniyede aldığı yol olarak yapılır ve bu birimin endüstriye ve ölçüm laboratuvarlarına aktarılmasında master blokları olarak adlandırılan ölçme elemanları kullanılır. Master blokları üretimleri sonucunda sınıflara ayrılır ve bu sınıflara göre kullanıldıkları yerler farklıdır. Master bloklarının referans olarak kullanılanları, en hassas şekilde ve en düşük belirsizlikle ışığın dalga boyu kullanılarak ölçülür ki, bu da interferometrik ölçüm olarak adlandırılır. UME Boyutsal laboratuvarı 2000 yılından beri master bloklarını interferometrik olarak birincil seviyede ölçmekte ve izlenebilirliğin doğrudan UME üzerinden verilmesini sağlamaktadır. Bir masterın interferometrik olarak ölçülebilmesi için taşınması gereken özellikler vardır. Masterlar daha önceden interferometrik ölçüme uygun özellikler taşırken sonradan kullanım ve saklama şartları sonucunda bu özelliklerini yitirebilirler.

Bu bildiride interferometrik ölçüm prensibi, ölçümün yapılabilmesi için gerekli şartlar ve master bloğun taşınması gereken özellikler anlatılacaktır.

Anahtar sözcükler: Master bloğu, interferometrik ölçüm, uzunluk standardı

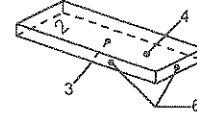
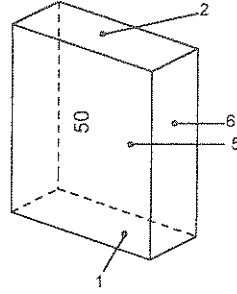
1. GİRİŞ

Yaşam içinde yaygın bir kullanım alanı olan metre birimi endüstriyel alanda da geniş bir kullanım sahasına sahiptir. Teknoloji geliştikçe, üretim çeşitleri arttıkça ve seri üretime geçildikçe metrenin hassas olarak ölçülmesi ihtiyacı doğmuştur. Yüzyıllar boyunca çeşitli metre tanımlamaları yapılmış ve sonunda modern teknolojinin imkanlarından yararlanılarak uzunluk standardının fiziksel bir olaya dayandırılan tanımı yapılmıştır. Günümüzde metre tanımı, ışığın vakum ortamda $1/299\,792\,458$ saniyede aldığı yol olarak yapılmaktadır.

Uzunluk birimi metrenin endüstriye ve ölçüm laboratuvarlarına aktarılmasında master blokları olarak adlandırılan ölçme elemanları kullanılmaktadır. Master bloğu; birbirine paralel iki ölçme yüzeyi arasında uzunluk birimini hassas olarak muhafaza eden ölçme elemanları olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1) ve nominal boydan sapma ve yüzey düzgünlük özelliklerine göre sınıflara ayrılmaktadır.

Master bloklarının sınıflandırılma amacı doğru yerde doğru masterın kullanılmasını sağlamaktır. Şöyle ki, düşük sınıflı master blokları, nominal boydan sapmalarının ve yüzey düzlemselliklerinin fazla olması nedeniyle referans olarak kullanıma uygun değildirler. Basit ölçme aletlerinin kalibrasyonlarında ve iş tezgahlarında kullanılan master bloklarının çok iyi bir sınıfta olmalarına gerek yoktur, buralarda da düşük sınıflı masterlar kullanılmalıdır.

- 1-Sol ölçme yüzeyi
- 2-Sağ ölçme yüzeyi
- 3-İşaretlememiş ölçme yüzeyi
- 4-İşaretli ölçme yüzeyi
- 5-İşaretli yan yüzey
- 6-Yan yüzeyler



a) Nominal boy, $l_n \geq 6$ mm

b) Nominal boy, $l_n < 6$ mm

Şekil 1 Master bloğu yüzeyleri

Master bloklarının kalibrasyonunda iki yöntem kullanılır:

- 1) Karşılaştırma yöntemi
- 2) İnterferometrik yöntem

Karşılaştırma yöntemi, kalibrasyonu yapılacak olan master bloğunun referans master bloğu ile karşılaştırılarak kalibrasyonunun yapılmasıdır. Bu kalibrasyon yönteminde kullanılan referans masterın daha önceden mutlak (interferometrik) ölçümünün yapılmış olması gerekmektedir.

İnterferometrik ölçme yöntemi ise ışığın dalga boyuna göre masterın boyutunun belirlenmesidir ve master direkt olarak ölçülür, herhangi bir referans kullanılmamaktadır. İnterferometrik ölçümden aşağıda daha detaylı bahsedilecektir.

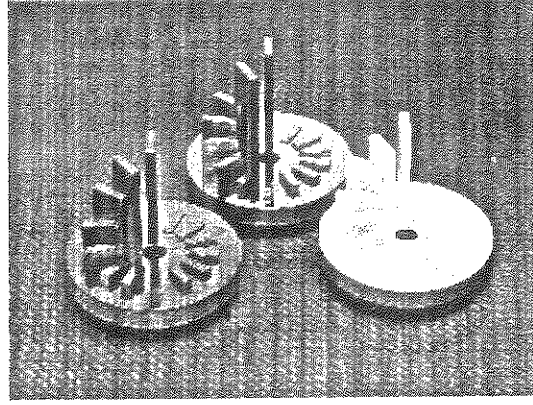
Master bloklarının kullanım alanlarına göre master bloğunun hangi yöntemle kalibrasyonunun yapılacağı belirlenir. Referans olarak kullanılan yüksek sınıf master blokları ışığın dalga boyuna göre interferometrik (mutlak) olarak çok düşük bir belirsizlikle kalibre edilirken düşük sınıflı master bloklarının karşılaştırma yöntemiyle ölçülmeleri yeterli olmaktadır. Zaten düşük sınıflı master blokları yüzey düzlemsellikleri iyi olmaması nedeniyle interferometrik ölçüm için uygun değildirler.

2. İNTERFEROMETRİK ÖLÇÜM

Işığın, doğada varolan girişim olayından yararlanılarak yapılan ölçümlere interferometrik ölçümler denir. Uzunluk biriminin tanımı ışığın dalga boyuna göre yapılmaktadır ve buna göre elde edilen uzunluk biriminin parça başına aktarılması sırasında yapılan işleme interferometrik (mutlak) ölçüm denir.

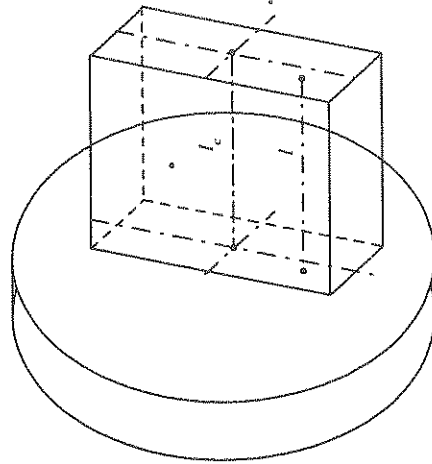
İnterferometrik ölçüm yapılmasının en önemli nedeni uzunluk birimi olan metrenin doğrudan ışığın dalga boyundan master bloklarına aktarılmasıdır. Böylece master bloklarının boyu çok düşük bir belirsizlikle bilinebilir ve boyutunun bilinmesindeki kesinlik artar.

İnterferometrik ölçümlerde, master bloğu yüzey düzlemselliği çok iyi olan (~50 nm civarı) ve master blok ile aynı malzemeden yapılmış referans bir düzleme (platen) yapıştırılır. Buradaki yapıştırmadan kastedilen bir yapıştırıcı yardımıyla yapılan yapıştırma değildir. Buradaki yapıştırma (wringing), yüzeyleri çok düzgün olan iki yüzey arasında atomlar arası bağların çekiminden dolayı meydana gelen çekim nedeniyle iki yüzeyin birbirini çok sıkı tutmasıdır. Şekil 2' de master bloğu ile aynı malzemeden üretilmiş referans düzleme (Platen) yapıştırılmış master blokları görülmektedir.



Şekil 2 Referans düzleme yapıştırılmış master blokları

Masterın oluşturmuş olduğu yükseklik, masterın ve referans düzlemin üzerine dikey olarak gönderilen ışığın dalga boyu ile ölçülür. Zaten en yaygın olarak kullanılan standart ISO 3650'ye göre master bloğunun boyu, master bloğunun yüzeyindeki herhangi bir nokta ile referans düzlemin yüzeyi arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3). Master bloğun yapıştırılması sırasında master blok ile referans düzlem arasında yapıştırma filmi (wringing film) meydana gelir, bu film kalınlığı interferometrik ölçümlerde master bloğu boyuna dahil edilmektedir.



Şekil 3 ISO 3650'ye göre master blok tanımı

2.1. İNTERFEROMETRİK ÖLÇÜM PRENSİBİ

İnterferometrik ölçümde belli dalga boylarında sağlanan ışın, master bloğunun ölçüm yüzeyi ile masterın yapıştırılmış olduğu platen (referans düzlem) üzerine gönderilir. Dönen ışık referans aynadan yansıyan ışık ile girişime sokulur ve fringe'lerin (girişim çizgilerinin) oluşması sağlanır. Oluşan fringe'lerin birbiriyle olan durumlarına göre de dalga boyu cinsinden masterın boyutu belirlenir. Fringe'lerin detaylı oluşumu şöyle açıklanabilir:

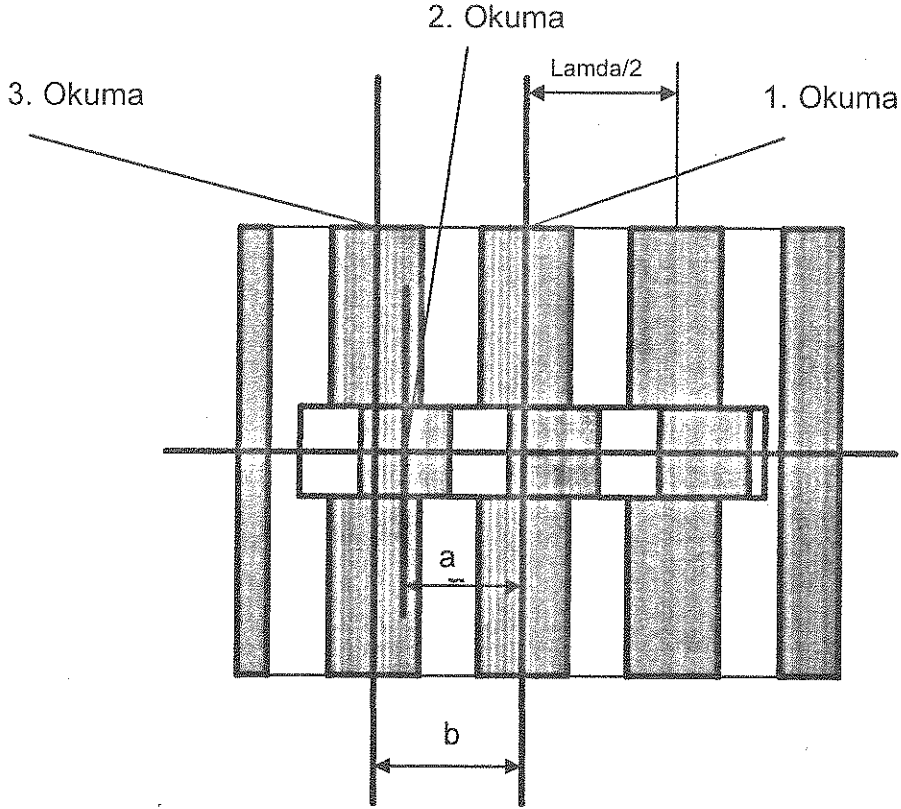
Tek bir ışık kaynağından çıkan ve optik düzenekler yardımı ile ikiye ayrılan ışık demetlerinin tekrar birleşmesi sırasında interferans olayı gerçekleşir. İnterferans olayı iki ışığın dalgalarının faz farkları durumuna göre birleşmesiyle ortaya çıkar ve fringe'lerin oluşmasını sağlar. Fringe oluşması için bir ışığın diğerine göre λ dalga boyu kadar kayması gereklidir. Ancak ışığın gidiş ve dönüşü düşünülünce aldığı yol $\lambda/2$ kadar

olacaktır (mestar bloğunun yüksekliği boyunca). Yani iki girişim çizgisi arası (fringe kalınlıkları ne olursa olsun) her zaman $\lambda/2$ kadardır.

İnterferometrik ölçümlerde de dalga boyu belli olan lazerden çıkan ışın, master bloğu ve masterın yapıştırılmış olduğu platen üzerine düşürülür. Lazerden gelen ışın, ışın bölücü (beam splitter) ile ikiye ayrılır ve biri masterın diğeri referans aynanın üzerine düşürülür. Yansıyan her iki ışın demeti daha sonra birleşir. Birleşme sırasında fringe'ler oluşur. Ardarda iki fringe arasındaki mesafe masterın yüksekliği doğrultusunda $\lambda/2$ kadar mesafeyi temsil etmektedir.

İnterferometrik ölçüm sırasında platen üzerine gelen ışın demetinin bir kısmı platen üzerindeki master bloğu yüzeyinden bir kısmı da platen'in kendi yüzeyinden yansır. Master bloğunun yüksekliğine göre masterın yüzeyindeki fringe'ler ve platen üzerindeki fringler ile konum farkı oluşur. Bu konum farkına göre master bloğunun boyu hassas bir şekilde tespit edilir.

24 mm master bloğu için hesaplama örneği aşağıda açıklanmıştır:



Şekil 4 Platen'a Yapıştırılmış Master Bloğunun Fringe Resmi

Şekil 4'teki fringe'lerden yararlanarak master bloğun boyunu bulmak mümkündür. İnterferometrik ölçümlerde bu işlemler artık bilgisayar tarafından otomatik ve daha hassas yapılmaktadır. Bu örnekte fringe'ler arası mesafenin gözle okunarak masterın boyunun hesaplanması anlatılmıştır.

Şekil 4'de hedef çizgileri ve okuma sırası belirtilmiştir. Buna göre takip edilen işlemler aşağıdaki gibi açıklanabilir.

1. okuma : Mastarın orta noktası hedef çizgisine getirilir ve platen'in üzerindeki fringe bu hedefe ortalanır. Burası başlangıç noktası olarak alınır.

2. okuma : Mastarın üzerindeki fringe'in hedefe gelmesi için, daha doğrusu platen'daki fringe'ten mastardaki fringe'e olan mesafenin ölçülebilmesi için, optik yörüngeye yerleştirilen wedge veya referans ayna (wedge yok ise) ilerletilerek, fringe'ler kaydırılır. Bu ilerletme sonucu fringe'lerin sağa veya sola doğru hareket etmesi sağlanır. Mastar üzerindeki fringe hedefe gelince, referans aynaya veya wedge'e bağlı mesafe ölçerden (mikrometre, prob, PZT v.b.) 1.okuma ile 2. okuma arasındaki mesafe okunarak "a" bulunur.

3. okuma : Son olarak 1.okuma sırasında okunan platen'in fringe'niin ardından gelen fringe'i hedefe getirilir ve sıfır başlangıç yerinden itibaren olan mesafe yani "b" değeri ölçülmüş olur. Burada "b" değeri fringe'ler arası mesafe $\lambda/2$ 'yi temsil etmektedir. Aynı konum ve şartlarda yapılan "a" ve "b" okumalarının oranı bize mastarın boyunun, dalga boyunun yarısı $\lambda/2$ 'ye bölünmüş halinin küsüratını verir.

Ortam şartları ölçülür. Bu ortam şartları altındaki mastar bloğunun boyu, nominal boyuna ve ortam şartları değerlerine göre hesaplanır. Burada mastarın bulunan boyu tamamen ölçülen ortam şartlarındaki boyudur. Aynı şekilde ışığın dalga boyunun, Edlen formülü [5] kullanarak ortam şartlarındaki gerçek değeri bulunur. Yani ortam şartlarındaki kırılma indisi (refractive index) ve bu ortam şartlarına göre dalga boyu bulunup sonra da $\lambda/2$ hesaplanır.

Kullanılan lazerlerin dalga boyları hesaba katılır (eğer 3 lazer kullanılan bir interferometre olursa 3 farklı dalga boyu için hesaplama yapılır) ve fringe'ler arasındaki uzaklık dalga boyunun yarısı olduğu için;

$$\lambda/2 \text{ red} = 0.32192513 \mu\text{m}$$

$$\lambda/2 \text{ green} = 0.25429237 \mu\text{m}$$

olarak alınır.

24 mm mastar için Şekil 4'den yararlanılarak yapılan okumalar sonucunda a / b oranları aşağıdaki gibidir.

Kırmızı	a/b = 0.72
Yeşil	a/b = 0.85

Mastar bloğunun boyu $\lambda/2$ 'ye bölünerek mastarın uzunluğu boyunca kaç adet fringe geçtiği bulunur:

Örneğin kırmızı dalga boyu için hesaplama yapalım;

$$24000 \mu\text{m} / 0.32192513 \mu\text{m} = 74551.51 \text{ adet fringe bulunur.}$$

74551 tam ve 0.51 küsürat olmaktadır. 24 mm nominal için küsürat değeri 0.51 olması gerekmesine rağmen göz ile okunan küsürat değeri 0.72'dir.

$$0.72 - 0.51 = 0.21 \quad \text{kadar mastarın pozitif sapması vardır.}$$

$$0.21 \times 0.32192513 = 0.067 \mu\text{m}$$

Kırmızı fringe'ler ölçülerek elde edilen mastar bloğu boyu 24 mm + 0.067 μm dir.

Bulunan değer nominal değere katılır (24000.067 mm) ve sonra bu boyun 20 °C'deki değeri bulunarak sonuç verilir.

yeşil dalga boyu için yapılan hesaplama;

$$24000\mu\text{m} / 0.25429237\mu\text{m} = 94379.57 \text{ adet fringe bulunur.}$$

94379 tam ve 0.57 küsürat olmaktadır. 24 mm nominal boy için küsürat değeri 0.57 olması gerekmesine rağmen göz ile okunan küsürat değeri 0.85'dir.

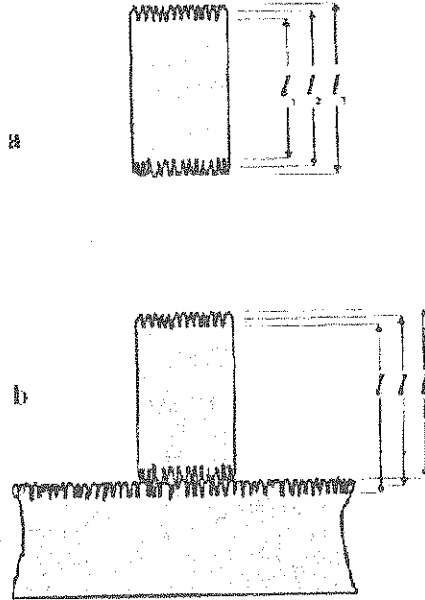
$$0.85 - 0.57 = 0.28 \text{ kadar mastarın pozitif sapması vardır.}$$

$$0.28 \times 0.25429237 = 0.079 \mu\text{m}$$

İki dalga boyu ile elde edilen sonucun ortalaması alınır ve düzeltme değerleri de eklenerek boyut bulunur. Burada iki dalga boyunun ortalaması $0.069 \mu\text{m}$ 'dir. $0.01 \mu\text{m}$ düzeltme değeri de eklenince sonuç $0.079 \mu\text{m}$ 'dir. Yani 24 mm sapması, $+0.079 \mu\text{m}$ 'dir.

2.2. FAZ DÜZELTMESİ (PHASE CORRECTION)

İnterferometrik ölçümlerde mastar bloğu platen'a yapıştırılarak üzerlerinden yansıyan ışının birbirleriyle yaptıkları girişim sonucunda oluşan fringe'ler esas alınarak boyut bulunur. Burada mastar blok ve platen yüzeylerinin pürüzlülük değerleri büyük önem taşır. Şöyle ki, mastar blok ve platen aynı pürüzlülük değerlerine sahipse ışınların yansımaları sırasında alacakları yol da aynı olacaktır, pürüzlülük değerleri arasında ciddi farklar olması durumunda mastarın boyutu eksik ya da fazla ölçülecektir. Bu durumu ortadan kaldırmak için faz düzeltmesinin yapılması gereklidir. Bu yüzden eğer bir setin ölçümü yapılıyorsa o setin ölçüldüğü platen ile sete ait mastar bloklar arasındaki faz düzeltmesi belirlenmelidir ve eğer mastarın boyutu eksik ölçülüyorsa bulunan en son sonuca bu faz düzeltme değeri eklenir, fazlaysa çıkarılır.



Şekil 5 Mastar bloklarının interferometrik ölçümünde yüzey yapısının etkisi

Şekil 5'te görüldüğü gibi mastar ve platen yüzeyi üzerinde girinti çıkıntılar vardır ve ışın burarlardan yansırken yüzey yapısından kaynaklı olarak farklı yerlerden yansıyabilir. Eğer yüzeyler arasında farklılıklar varsa faz düzeltmesi büyük olacaktır. Yakınsa bu yüzey yapısının sonuca büyük bir etkisi olmayacaktır.

Bu konu ile UME-Boyutsal Laboratuvarında faz düzeltmeleri ile ilgili yapılan bir çalışmanın sonuçları aşağıda verilmiştir. Bu çalışmada farklı master blokları aynı platen kullanılarak faz düzeltme değerleri bulunmuş ve master bloklarından yüzey yapıları platen'inkine yakın olanlar için bu düzeltme değeri düşük bulunmuştur.

Tablo 1 Farklı masterların Aynı Platen' da Ölçümleri Sonucu Bulunan Faz Değerleri

Master Blok Üretici Firması	Platen	Faz Düzeltme Değerleri
FRANK	TESA LP119	-20 nm
TESA		-9 nm
STARRET		-30 nm

3. MASTAR BLOĞU İNTERFEROMETRESİ

Master bloklarının interferometrik olarak ölçümlerinin gerçekleştirildiği cihazlara master bloğu interferometresi denir. Master bloğu interferometresi, referans düzleme yapıştırılmış olan master bloğunun ve referans düzlemin üzerine ışık gönderilerek girişim çizgileri elde edilmesi ve dalga boyu cinsinden iki yüzey arasındaki mesafenin hesaplanması prensibi ile çalışmaktadır.

UME-Boyutsal Laboratuvarında bulunan interferometre ile 0-300mm arasındaki boyutlara sahip master blokları 1 nm çözünürlükle ölçülmektedir. Sıcaklık kontrolü 3 adet Pt100 sensörü ile yapılmakta, diğer ortam şartları (nem, basınç) sürekli ölçülerek cihazın bilgisayarına gönderilmektedir. Sıcaklık, bu ölçümlerde büyük önem taşımaktadır. Ölçümler $20 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 'de yapılmaktadır ve sıcaklık dengeye gelmeden ölçüm alınması doğru değildir. Bu nedenle yapıştırma işlemi bittikten sonra master bloklar master bloğu interferometresinin içinde nominal boylarına göre birkaç saat bekletilmektedir (Tablo 2). Kalibrasyon sırasındaki sıcaklık kayması maksimum 0.005°C dir. Master yüzeylerinden alınan Fringe (girişim) değerleri CCD kamera ile yüksek çözünürlükte okunup bilgisayara aktarılmakta ve ortam şartları değerlerini de dikkate alarak master bloğunun 20°C 'deki boyu hassas bir şekilde hesaplanmaktadır.

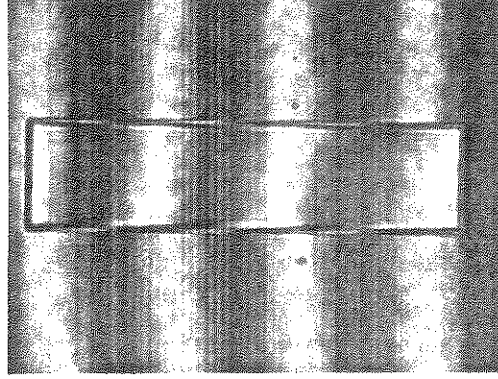
Tablo 2 Referans düzleme (platen) yapıştırılmış master bloklarının sıcaklık bekleme süreleri

Master Blok Boyu (mm)	Master Blok Boyu (inch)	Sıcaklık Bekleme Süresi (dak.)
0.5-2.49	0.02-0.1	60
2.5-25	0.1-1.0	90
50-100	2.0-4.0	180

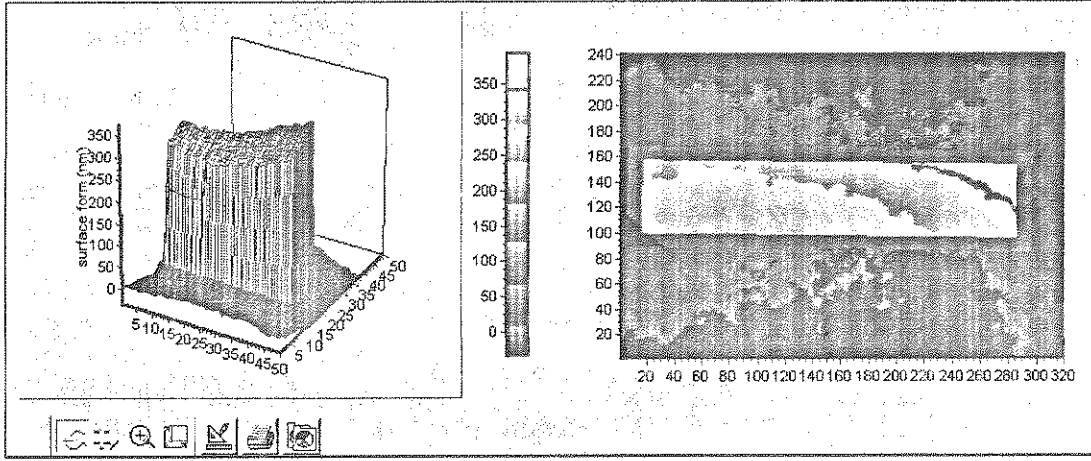
4. MASTAR BLOĞU İNTERFEROMETRESİ KULLANILARAK MASTAR BLOKLARININ ÖLÇÜMÜ

İnferometrik olarak ölçülecek master bloğu referans düzleme her iki ölçme yüzeyinden de yapıştırılarak ölçüm yapılır. Ölçüm sırasında sıcaklık, basınç, nem gibi ortam şartları ölçümleri otomatik olarak yapılmakta ve sonuçta 20°C 'ye düzeltme yapılarak master blok boyu bulunmaktadır.

Her iki ölçme yüzeyinden alınan ölçüm sonuçları arasındaki farkın 20 nm değerini geçmemesi gerekir. Şekil 6'da referans düzleme yapıştırılmış bir master bloğunun ölçüme başlamadan önce alınan fringe resmi görülmektedir. Bu fringeler yardımıyla daha ölçüm yapmadan yüzey hakkında fikir edinmek mümkündür. Şekil 7'de ise interferometrik ölçüm sonucunda alınan yüzey haritası görülmektedir.



Şekil 6 Master bloğun interferometreden görülen fringe resmi



Şekil 7 UME Master İnterferometresi ile alınan master bloğu yüzey haritası

5. İNTERFEROMETRİK OLARAK ÖLÇÜLECEK OLAN MASTAR BLOĞUNUN ÖZELLİKLERİ

Her master bloğu interferometrik olarak ölçülebilmek için uygun değildir. Master bloğuna interferometrik ölçüm yapılabilmesi için master bloğun taşıması gereken özellikler vardır:

1. Master bloğun ölçme yüzeyleri düzgün olmalıdır,
2. Master bloğun boy değişiminin yani iki ölçme yüzeyinin birbirine paralellığının belli bir limitin altında olması gerekmektedir.

Buradan anlaşılacağı gibi interferometrik ölçümler ancak referans master bloklarına uygulanabilmektedir. Özellikle yüzey düzgünlüğü büyük önem taşımaktadır. Çünkü ölçme yüzeyleri düzgün olmayan bir master bloğunun referans düzleme yapıştırılması problem olacaktır ve yapıştırılabilse bile masterın boyunun bulunması sırasında her iki yüzeyden alınan ölçüm sonuçlarının aralarındaki farkın 20 nm'yi geçmeme şartının sağlanması mümkün olmayacaktır, ya da boy bulunurken hata yapma olasılığı artacaktır.

Bir master bloğu interferometrik olarak ölçülmeden önce yüzeyleri mutlaka optik flat yardımıyla kontrol edilir ve böylece hem yüzeyin yapışabilecek durumda olup olmadığı hem de yüzey üzerinde yapışmayı engelleyebilecek pas, çizik, çapak vb. bir hasarın bulunup bulunmadığı tespit edilir. Ayrıca bu tip pas, çizik gibi hasarlı master blokları yapıştırma sırasında referans düzleme de zarar verebilirler. Bu tip hasarlar

yapıştırma işleminden önce giderilmelidir, giderilemiyorsa yapıştırılmamalıdır. Master bloklarının kalibrasyonu sırasında dikkat edilecek diğer bir husus da masterın özellikle orta noktası civarında hasar bulunmasıdır. Eğer böyle bir hasar mevcut ise master onarımına gidilmeksizin kullanılmamalıdır. Çünkü orta nokta hem interferometrik hem de karşılaştırma ölçümlerinde ölçülen noktadır.

6. SONUÇ

1. Uzunluk biriminin transferinde kullanılan master blokları kullanım alanlarına göre interferometrik ya da karşılaştırma yöntemi kullanılarak kalibre edilirler.
2. İnterferometrik ölçümlerde lazer ışığının dalga boyuna göre tanımlanmış olan metre birimi parça başına aktarılır.
3. Her master bloğu interferometrik olarak kalibre edilemez. İnterferometrik olarak kalibrasyonunun yapılabilmesi için yüzey düzlemselliği ve yüzeylerinin birbirine paralellliği iyi olmalıdır. Master bloklar kalibrasyona başlanmadan önce optik flat ile kontrol edilmeli ve yüzeylerinde çizik, pas vb. hasar bulunup bulunmadığı kontrol edilmelidir. Hasarlı master blokları hasarın ölçme noktalarında olmamaları şartıyla eğer mümkünse onarılmalıdır.
4. İnterferometrik ölçümlerde sıcaklık çok önemlidir ve mutlaka ölçümden önce yapıştırılan master bloklarının sıcaklık dengesine gelmeleri beklenmelidir. Ayrıca ölçüm sırasında da sıcaklık değişimi 0.01°C ' yi geçmemelidir.
5. İnterferometrik ölçüm sayesinde belirsizlik çok düşürülmekte ve böylece master blok boyunun daha kesin bilinmesi mümkün olmaktadır. Bu nedenle referans olarak kullanılan master blokları interferometrik olarak kalibre edilmelidirler. İnterferometrik olarak kalibrasyonu yapılan 100mm lik bir master bloğun boyunun bulunmasındaki belirsizlik 0.04 mm iken mekanik karşılaştırma yöntemiyle kalibre edilen 100mm lik bir master bloğunun en iyi şartlarda belirsizliği 0.1 mm olacaktır. Burada şu hususa özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir: Mekanik karşılaştırma yöntemiyle kalibrasyon yapılırken bulunan belirsizlik değeri asla kalibrasyonda kullanılan referans master bloğunun sertifikasında belirtilen belirsizlik değerine eşit ya da daha az olamaz.
6. UME-Boyutsal Laboratuvarında 2000 yılının başından beri master bloğu interferometresi kullanılmaktadır ve böylece uzunluk biriminde izlenebilirlik doğrudan UME üzerinden sağlanabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] "BOY 2 Eğitim Dokümanı (Mart 2001)", Ulusal Metroloji Enstitüsü, Gebze-Kocaeli.
- [2] ISO 3650, 1998 "Gauge Blocks"
- [3] NPL-TESA Automatic Gauge Block Interferometer User Manual, 1999, Brown&Sharpe Limited, Telford, İngiltere.
- [4] Bönsch, G. " Proceedings of SPIE ", Vol. 3477, 1998, San Diego, USA.
- [5] Lewis, A.J. " Absolute Length Measurement Using Multiple-Wavelength Phase-Stepping Interferometry" Doktora Tezi, 1993, University of London, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Londra, İngiltere.