

# ÇİZGİ SKALALI ÖLÇME STANDARTLARI VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

**Bülent ÖZGÜR**  
**Tanfer YANDAYAN**

## ÖZET

Çizgi Skalalı Ölçme Standartları, boyutsal ölçümlerde izlenebilirliğin endüstriye aktarılmasında yaygın olarak kullanılan ve teknoloji ile birlikte gelişen lineer mesafe ölçme ekipmanlarıdır. Çizgi Skalalı Ölçme Standartlarının endüstride kullanılan başlıca çeşitleri, Çelik Cetvel ve Şerit metreler, Profil Projektör standartlarının kalibrasyonlarında kullanılan tek ve iki boyutlu cam cetveller, Sertlik ölçme cihazları ve muhtelif mikroskopların kalibrasyonunda kullanılan adım ( stage ) mikrometreleri, CMM ve üniversal ölçüm cihazlarının kalibrasyonunda kullanılan hassas çizgi skalaları (linescales), Video görüntülü optik ölçüm cihazları ve mikroskop kalibrasyonlarında kullanılan çizgi skalalı standartlar, Nano teknolojide kullanılan elektron mikroskoplarının kalibrasyonlarında kullanılan hassas cam skalalar olarak kısaca sıralanabilir. Kullanım alanlarına göre çizgi skalaların, ölçme aralıkları ve boyutları onlarca metreden nanometre seviyesine, doğruluk değerleri 'milimetre' mertebesinden 'nanometre' (milimetrenin milyonda biri) mertebesine kadar geniş bir yelpazede karşımıza çıkmaktadır.

TÜBİTAK UME izlenebilirlik zincirinin Türkiye'deki en üst seviyedeki kurumu olarak dünya çapındaki gelişmelerin takip edilmesi, bilgilerin sanayiye aktarılması ve sürdürülebilir rekabetin sağlanması için yeni ölçüm standartların geliştirilmesi noktasında çalışmalar yapmaktadır. Makalede, yukarıda belirtilen çizgi skalalarının ve cihazlarının hakkında detaylı bilgilendirme yapıldıktan sonra TÜBİTAK UME'nin konu ile ilgili çalışmaları, geliştirmiş olduğu cihazlar ve bu konu hakkında literatürdeki son gelişmeler anlatılacaktır.

Anahtar sözcükler: Çelik ve Şerit Metre, İki ve tek boyutlu cam skalalar, Adım mikrometresi, Linescale, Nanometroloji, Elektron mikroskopları, nonometrik skalalar.

## 1. GİRİŞ

Metre'nin tarihsel gelişimini incelersek , [3]

- 1528 yılında teknolojinin gelişimi ve ihtiyaçları doğrultusunda o ana kadar geçerli olan ölçme ve ağırlık sisteminin, dünyanın boyutlarından oluşturulması fikri Fransız Jean Fernel tarafından ortaya atılmıştır. Referans olarak Paris ile Amiens arasındaki mesafenin bu şehirden geçen meridyen boyunca ölçülmesi önerilmiştir.
- 1790 lı yıllarda tekrar dünyanın çevresinden uzunluk birimi türetilmeye karar verilmiştir. Metre'nin Dunkirk ve Barcelona arasında Paris'ten de geçen, meridyen uzunluğunun 10 milyonda biri olmasında görüş birliğine varılmıştır.
- 22 Haziran 1799 tarihinde, metrik sistemin uzunluk standardı olarak Hollanda'lı Jan Hendrik van Swinden tarafından dikdörtgen kesitli bir platinyum çubuk sunulmuştur. Standard aynı yıl Ulusal Fransız arşivine kaldırılmıştır.

- O yıllarda metre'nin yanında değişik standartlarda kullanılmaktaydı. 1871 yılında orta Avrupa'da "Würterberger inch'i, Ren inch'i ve Viyana Inch'i kullanılmakta idi. Ülkeler arası karmaşıklığı önlemek için 1875 yılında METRE KONVANSİYONU, 17 ülke tarafından PARIS'te imzalanmıştır
- 1889 da yeni metre prototipi 20mmx20mm boyutunda X-kesitinde bir çubuk olarak imal edilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Bu çubuk %90 platinyum ve %10 iridyum alaşımı "platinum iridyum bar" adı ile adlandırılarak standart olarak kabul edilmiştir. 1 metrelik çubuğun uçlarındaki iki kenar arasındaki mesafe yerine uçlara yakın yerlerde belirlenen iki çizgi arasına konan çizgiler arasındaki mesafe olarak ifade edilmiştir.
- Doğal afetler sonunda metre prototipine zarar gelme ihtimalinin olması veya boyutunda değişiklik meydana gelmesi ihtimaline karşı uzunluk standardının doğal bir kanuna veya olaya dayandırılması çalışmalarına başlandı. İlk defa 1892 yılında Albert Michelson metreyi Kadmiyum'dan yayılan kırmızı ışığın dalga boyu cinsinden ölçmüştür.
- 1933 yılında T.C. Hükümeti "Metre Konvansiyonu" na tekrar üye olmak için BIPM'e üye olmak için başvuruda bulunmuştur. 1935'te 21 no'lu "Metre Prototipi" Türkiye'ye verilmiştir.



**Şekil 1. TÜRKİYE 21 no'lu Ulusal Metre Prototipi görünümü**

- 1960 yılında Kripton-86 gazından elde edilen kırmızı-turuncu ışığın dalga boyunun 1.650.763,73 katının 1 metreyi verdiği kabul edilmiştir.
- 1970 li yıllarda kararlılığı yüksek lazerlerin geliştirilmesi ile birlikte 17 Ekim 1983 yılında herhangi bir dalga boyunu belirlemek yerine ışığın hızının vakum ortamda 299.792.458 m/s olarak elde edilmesi ile uzunluk standardı fiziksel bir olaya dayandırılması tanımı kabul edilmiştir.

Metre, 1960 lı yıllara kadar çizgi skalalı ölçme standardı olarak kalmış ve 1960 yılından sonra ise ışığın dalga boyuna ve günümüzde de ışığın vakum ortamdaki hız değerine bağlanmıştır [1].

İki asır boyunca evrim geçiren metre, Türkiye'de TÜBİTAK bünyesinde 1992 yılında kurulan UME-Ulusal Metroloji Enstitüsünde 1993-1994 yılları arasında, imal edilen kararlı lazerler ile elde edilmiş ve geçerliliği BIPM tarafından onaylanmıştır.

Çizgi skalalar ise günümüzde endüstride, imalat sektöründe, ölçme laboratuvarlarında, bilimsel çalışmalarda, nano teknolojide, litografide, nano metrolojide farklı versiyonları ile kullanılmaktadır. Fakat çizgi skalaları, birinci seviye standart olan kararlı lazerler ile kalibre edilmek zorundadır.

## 2. ÇİZGİ SKALALI ÖLÇME STANDARTLARI

Çizgi skalalı ölçme standartları endüstride yaygın olarak birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu standartları genel olarak adlandırmak gerekir ise şu şekilde sınıflandırılabilir.

1. Çelik cetvel ve Şerit metreler
2. Tek ve iki boyutlu cam cetveller
3. Adım ( Stage ) mikrometreler ( Mikroskopların kalibrasyonunda kullanılan)
4. CMM ve Universal Ölçüm cihazlarının kalibrasyonunda kullanılan hassas çizgi skalaları ( linescales )
5. Video görüntülü optik ölçüm cihazları ve mikroskop kalibrasyonlarında kullanılan çizgi skalalı standartlar
6. Nano teknolojide kullanılan skalalar

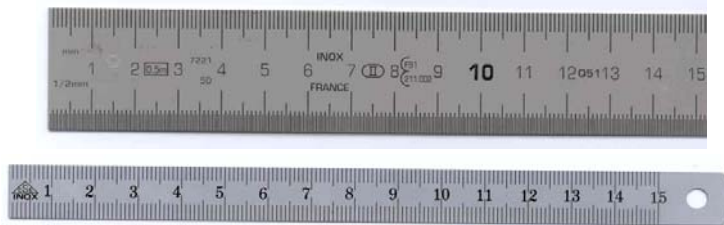
olarak sınıflandırılabilirler.

## 2.1 Çelik Cetvel ve Şerit metreler

Şerit metre ve Çelik Cetveller, boyutsal ölçümlerde izlenebilirliğin endüstriye aktarılabilmesi için kullanılan en temel ölçme ekipmanlarıdır. Şerit Metre ve Çelik Cetvel'lerin kalibrasyonu mutlak veya karşılaştırma metodu ile yapılır. Mutlak yöntemde, çizgi skala aralıkları referans standart ile direkt olarak ölçülür. Karşılaştırma metodu ise referans standart ile kalibre edilmiş bir standart ile ölçülmek istenen metrenin aynı pozisyonlarda karşılaştırması esasına dayanır. Öncelikle kullanılacak olan referans metrenin izlenebilirliğinin temini amacı ile lazer interferometre ile kalibre edilmesi gerekir. Kalibre edilen referans şerit metre ile ölçülecek test şerit metresi uygun bağlama ve gerdirme işlemleri ayarlandıktan sonra belirlenen ölçüm adımlarında karşılaştırılarak kalibrasyon işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 2. Şerit metreler



Şekil 3. Atölye Cetvelleri

Bu ekipmanlar Uluslararası Yasal Metroloji kapsamına girdikleri için, OIML No35 standartlarında belirtilen sınıf değerlerine göre imal edilirler. Ayrıca 73/362/EEC nolu Avrupa standartları ve direktiflerinde de sınıf ve üretim durumları belirtilmektedir.

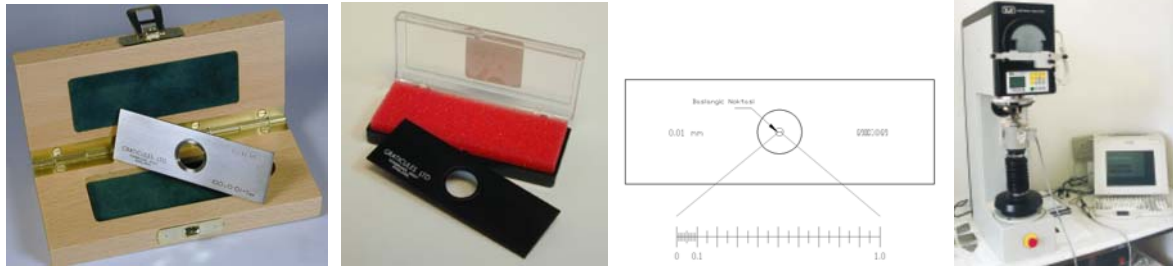
## 2.2. Tek ve İki Boyutlu Cam Cetveller

Cam cetveller, tek veya iki boyutlu amaca yönelik olarak imal edilmiş olabilirler. Tek veya iki boyutlu olarak hareket edebilen ölçme cihazlarının, optik profil projeksiyon cihazlarının ve mikroskopların kalibrasyonlarında kullanılan ölçme standartlarıdır. Bu cihazların çözünürlükleri genellikle 0,5mm, 1mm veya 5mm olabilir.



**Şekil 4.** Tek ve İki boyutlu cam skala örnekleri

### 2.3. Adım Mikrometreleri ( Stage micrometer )

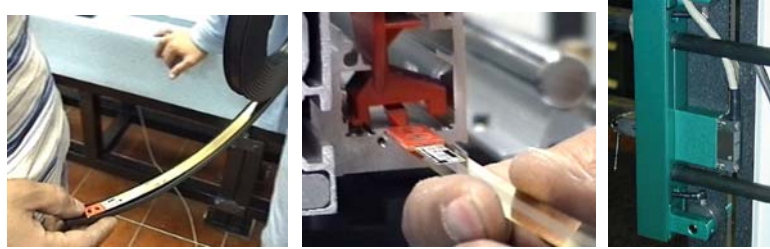


**Şekil 5.** Adım ( Stage ) Mikrometresi örnekleri ve kullanıldığı sertlik ölçme cihazı

Adım mikrometreleri, temassız ölçüm sistemleri olan sertlik ölçme cihazlarının skalalarının kalibrasyonlarında referans standart olarak kullanılmaktadır. Ayrıca muhtelif büyütme oranlarına sahip mikroskop cihazlarının mesafe ölçme sistemleri de bu standartlar ile kalibre edilebilmektedir. Bu cihazların çözünürlükleri ise 0,010mm olmaktadır.

### 2.4. CMM ve Üniversal Ölçüm cihazlarının referans skalası olarak kullanılan hassas çizgi skalaları ( linescales )

Hassas çizgi skalaları endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Oldukça düşük çözünürlüklere ulaşabilen yüksek doğruluk değerlerinde tipleri bulunmaktadır. Uzun mesafe değerlerinde çalışabilen tekparça halinde imal edilmiş ve 0,1µm çözünürlüğe ulaşabilen hassas çizgi skalaları endüstride kullanılmaktadır. İmalat sektöründe freze tezgâhlarının eksenlerinin hareketlerinin uzunluk değeri olarak tespitinde de bu skalalar kullanılmaktadır. CMM tezgâhlarının eksen hareketlerinin uzunluk değeri olarak ölçülebilmesi de bu skalalar sayesinde gerçekleştirilmektedir.



**Şekil 6.** Linescale kullanılan 5 m BENCH ve Form Cihazı üzerindeki görünümü

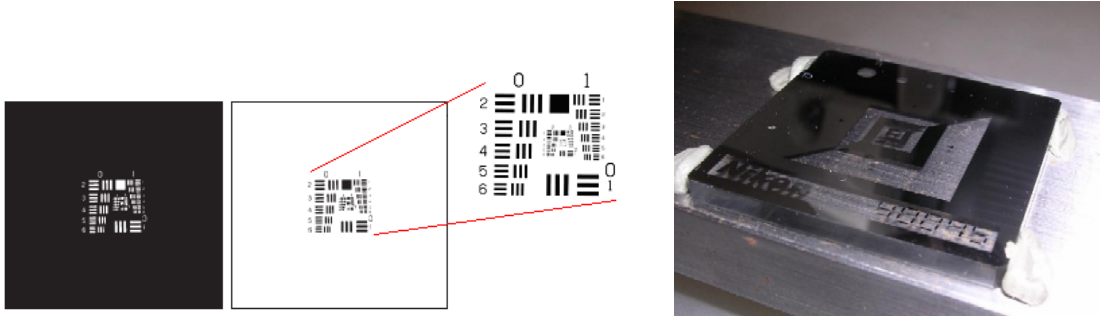


**Şekil 7.** Optik okumalı linescale ve linescale kullanabilen prob örnekleri

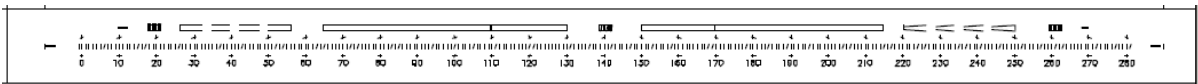
Üretildikleri malzemeler; çelik, invar, cam, quartz veya zerodur olabilmektedir. Lazer interferometre kullanılarak düşük belirsizlik değerleri ile kalibrasyonları gerçekleştirilir.

## 2.5. Video görüntülü optik ölçüm cihazları ve mikroskop kalibrasyonlarında kullanılan çizgi skalalı standartlar

Video görüntülü cihazlarda veya mikroskop cihazlarında, cihazın okuyabileceği en küçük çözünürlüklerin bulunmasında, cihazda lens değişimleri esnasında oluşabilecek büyütme hatalarının tespitinde veya kamera piksel büyüklüklerinin tespitinde, kullanılan çizgi skalalı standartlardır.



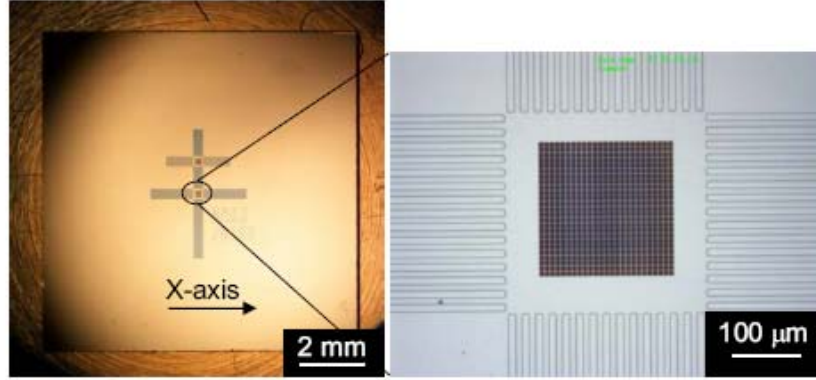
**Şekil 8.** Çözünürlük hedefleri



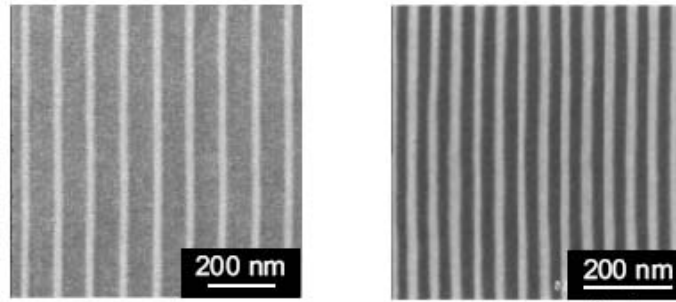
**Şekil 9.** Hassas cam skala

## 2.6. Nano teknolojide kullanılan skalalar ( Nanometrik skalalar )

Nano teknolojide geniş kullanım alanı olan, elektron mikroskoplarının (SEM, AFM, TEM gibi) kalibrasyonunda "nanometrik skalalar" kullanılmaktadır. Aşağıda çeşitli ölçme aralıklarına sahip nanometrik skalalara örnekler verilmiştir.



Nanometrik Skala Fotoğrafları



(a) 100 nm adımlı

(b) 50 nm adımlı

SEM cihazı ile elde edilen ölçeklendirilmiş nanometrik skala görüntüsü

Şekil 10. Nanometrik skalalar

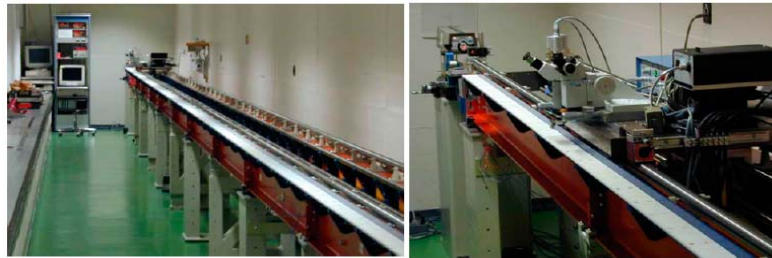
### 3. ÇİZGİ SKALALI ÖLÇME STANDARTLARI ve ULUSLAR ARASI ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Çelik Cetvel ve Şerit Metre Kalibrasyon Sistemleri

Konu ile ilgili olarak TÜBİTAK UME-Türkiye ve 4 farklı ülke METAS – İsviçre, PTB – Almanya ve NMIA – Avustralya ve METROSERT-Estonya'nın yapmış olduğu çalışmaları ele alacağız.

Çelik cetvel ve şerit metre ölçme sistemlerinde prensip aynı olması sebebi ile benzer ölçme cihazlarının geliştirilmiş olduğu gözlenmektedir. Sistemlerin mekanik dizaynlarından ve kullanılan ölçme sistemlerindeki farklılıklardan dolayı ölçüm sonuçları ile belirsizlikleri birbirlerinden farklı olmaktadır.

#### 3.1.1. METAS – İSVİÇRE Ulusal Metroloji Enstitüsünde kullanılan Çelik Cetvel ve Şerit Metre Ölçüm Sistemi



Şekil 11. METAS – İSVİÇRE Çelik cetvel ve Şerit metre Ölçüm Sistemi

METAS İsviçre Ulusal Metroloji enstitüsünde bulunan 50 M Bench ile tek parça halinde çelik cetvel ve şerit metre kalibrasyonları yapılabilmektedir. Sistemde Uzunluk standardı olarak Lazer interferometre kullanılmaktadır. Foto elektrik mikroskop yardımı ile çizgilerin tespiti sağlanmakta ve görüntülü mikroskop kullanılarak elde edilen görüntülerden faydalanılarak bir noktadan diğer noktaya olan mesafe lazer interferometre ile ölçülerek mesafe değerleri elde edilmektedir.

### 3.1.2. PTB – ALMANYA Ulusal Metroloji Enstitüsünde kullanılan Çelik Cetvel ve Şerit Metre Ölçüm Sistemi



Şekil 12. PTB – ALMANYA Çelik cetvel ve Şerit metre Ölçüm Sistemi

PTB Almanya Ulusal Metroloji Enstitüsünde bulunan 50 M Bench ile yine tek parça halinde ölçümler yapılabilmektedir. Uzunluk standardı olarak He-Ne lazer interferometre kullanılmaktadır. Ölçme sistemi kontrüksiyonunda ABBE hatası en aza indirilmiştir. Ölçümlerde 21 adet malzeme sensörü kullanılmaktadır. Fotelektrik mikroskop veya manuel olarak optik mikroskop kullanılarak ölçüm yapılabilmektedir.

### 3.1.3. NMIA – AVUSTRALYA Ulusal Metroloji Enstitüsünde kullanılan Çelik Cetvel ve Şerit Metre Ölçüm Sistemi



Şekil 13. NMIA - Avustralya Çelik cetvel ve Şerit metre Ölçüm Sistemi

NMIA Avustralya Ulusal Metroloji Enstitüsünde bulunan 70 M lik ölçme sisteminde lazer interferometre kullanılarak ölçüm yapılmaktadır. ABBE hatası düşünülerek yapılan sistem bilgisayar kontrollü taşıyıcıya sahiptir. 10 M cetvel ölçümlerinde 3 adet sıcaklık sensörü, 30 M cetvel ölçümünde 4 adet sıcaklık sensörü ve 50 M cetvel ölçümlerinde ise 7 adet sıcaklık sensörü kullanılmaktadır.

### 3.1.4. METROSERT – ESTONYA Ulusal Metroloji Enstitüsünde kullanılan Çelik Cetvel ve Şerit Metre Ölçüm Sistemi



Şekil 14. METROSERT – ESTONYA - Çelik cetvel ve Şerit metre Ölçüm Sistemi

ESTONYA, 21 m bench şerit metre ve çelik cetvel ölçme sistemine sahiptir. Sıcaklık kontrollü laboratuvarlarda sıcaklık stabilitesi  $\pm 0,5$  °C dir. Uzunluk standardı olarak Lazer interferometre kullanılmaktadır. Taşıyıcı üniteye bağlı mikroskop yardımı ile belirlenen hedef noktalara mikroskop içerisindeki hedef çizgileri çakıştırarak ulaşıldığında mesafe değerleri lazer interferometreden elde edilebilmektedir. Sıcaklık sensörleri, bağıl nem ve basınç değerleride ölçümler esnasında izlenmekte ve değerlendirilmektedir.

### 3.1.5. TÜBİTAK – UME – TÜRKİYE Ulusal Metroloji Enstitüsünde kullanılan Çelik Cetvel ve Şerit Metre Ölçüm Sistemi



Şekil 15. 5 m Bench – Çelik Cetvel ve Şerit Metre Ölçme Sistemi

TÜBİTAK-UME TÜRKİYE Ulusal Metroloji Enstitüsünde bulunan 5 m lik ölçme sisteminde aynı anda hem lazer interferometre ve hem de lazer interferometreden izlenebilirliği sağlanmış elektronik cetvel (linescale) kullanılarak çizgi skalalı ölçme standartlarının ölçümü yapılmaktadır. ABBE hatası en aza indirilmesi düşürülerek yapılan sistemin hareketi otomatik kontrol ünitesi ile kontrol edilmektedir. Tüm kalibrasyon parametrelerinin ayarlanabildiği ve sensörlerinin takip edilebildiği bir yazılım ile kullanılmaktadır. Sistemle tek parça halinde 5 m' ye kadar çelik cetvel ve şerit metre kalibrasyonları hem interferometre ve hem de linescale ile yapılabilmektedir. UME bu sistemi sahip olduğu 50 m' lik bir hol içerisinde ileriki yıllarda kurulması düşünülen yeni sistem için bir prototip çalışma niteliğinde hazırlamıştır. [4], [5]

Birçok ülkenin katıldığı ve 10 m, 30 m ve 50 m şerit metre ölçümlerinin yapıldığı "EUROMET 677 Steel Tapes Measures" karşılaştırma sonuçlarından 10 m karşılaştırma sonuçları ile [6]



**Tablo 1** Sonuçlar EUROMET 677 Karşılaştırma sonuçlarından alınmıştır. ,[6]

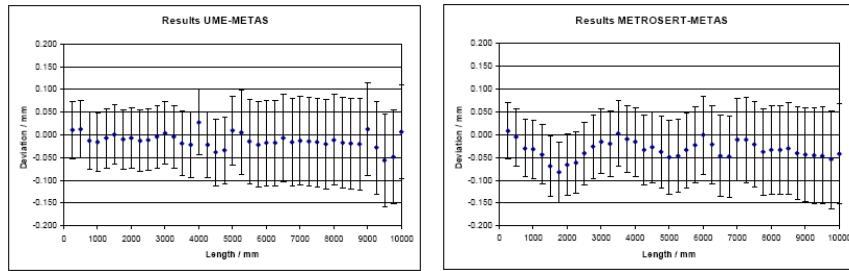
	Nom. Length	Width	Nominal Load & Thermal Expansion	Material	Manufac.	Line marks	Uncertainty at 10 M
METAS	10 m	13 mm	50 N (11,5±1) x 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	Stainless steel	Richter	Etched	0,049 mm
PTB							0,043 mm
NMIA							0,023 mm

METAS ve ESTONYA ile birlikte UME nin katıldığı “EUROMET 875 Steel Tapes Measures” karşılaştırma sonuçlarından 10 m karşılaştırma sonuçlarına bakıldığında ,[7]

**Tablo 2** Sonuçlar EUROMET 875 Karşılaştırma sonuçlarından alınmıştır. ,[7]

	Nom. Length	Width	Nominal Load & Thermal Expansion	Material	Manufac.	Line marks	Uncertainty at 10 M
METAS	10 m	10 mm	50 N (11,5±1) x 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	Steel, White Painted	Richter	Painted	0,063 mm
METROSERT							0,090 mm
UME							0,082 mm 0,050 mm (5 m için)

olduğu görülür. Ölçümlerin değerlendirilmesi  $E_n \leq 1$  'e göre yapılmıştır.  $E_n$  değerleri incelendiğinde METAS, UME ve METROSERT arasında UME'nin değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca pilot laboratuvar METAS 'in sonuçlarına göre sapma sonuçlarında METAS'ın elde ettiği sonuçlara oldukça yaklaştığı görülmektedir. Karşılaştırmada METAS'ın tercih edilmesinin sebebi EUROMET 677 karşılaştırmasında en iyi sonuçları elde eden ülkelerden biri olmasıdır. UME nin katıldığı EUROMET 875 ile de görülmüştür ki UME, METAS'ın sonuçlarına oldukça yaklaşmıştır.

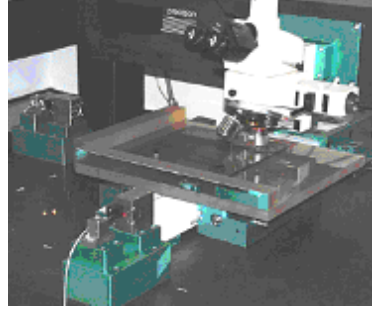
**Şekil 16.** Euromet Project 875 METAS-UME-METROSERT Kalibrasyon sonuçları sapmaları ,[7]**Şekil 17.** TÜBİTAK – UME, 50 m bench için ayrılmış laboratuvar alanı

Önümüzdeki yıllarda UME de geliştirilmesi öngörülen 50 m' lik sistemle birlikte UME bu ölçümlerde de en iyi seviyede kendisine yer bulacaktır.

### 3.2. Cam cetvel, Adım mikrometreleri ve hassas skala ölçümleri

Genel olarak benzer yapı gösteren bu tip çizgi skalalı ölçme standartları farklı ülkelerde farklı yöntemler ile ölçülebilmektedir.

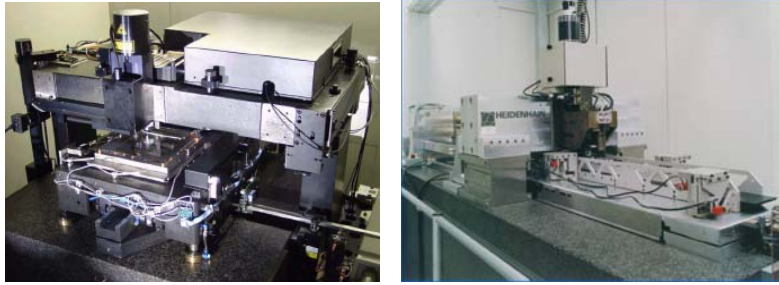
#### 3.2.1. METAS İsviçre Ulusal Metroloji Enstitüsünde çizgi skalalı ölçme standartlarının ölçümlerinde kullanılan ekipmanlar



Şekil 18. 2D Fotomask ölçüm sistemi

2D Photomask ölçüm sistemi kullanılmaktadır. Bu ölçüm sistemi oldukça düşük hata değerlerine sahip hava yastığı üzerinde çalışır. Servo motorlar yardımı ile hassas X/Y yönünde 400x300 mm hareket alanına sahiptir. Düzlemsellik değeri oldukça düşük granit yüzey üzerine oturtulmuş zerodur X/Y tablaya sahiptir. Hava basıncı, sıcaklık ve Nem değeri ile CO<sub>2</sub> değerleri Edlen formülü ile dinamik olarak hesaba katılmaktadır. [2]

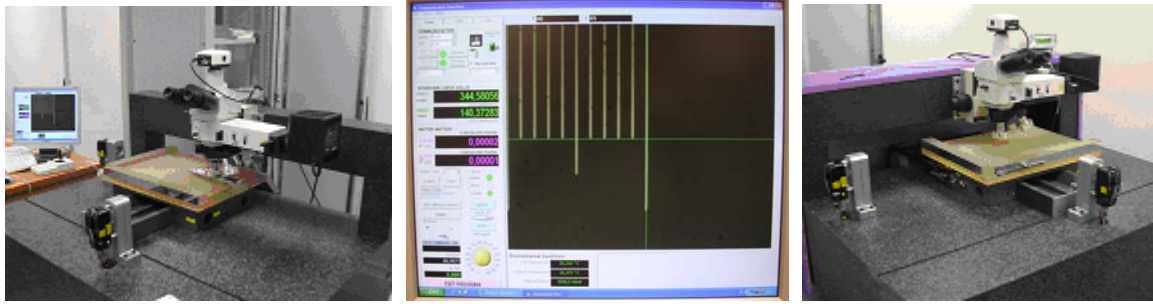
#### 3.2.2. PTB Almanya Ulusal Metroloji Enstitüsünde çizgi skalalı ölçme standartlarının ölçümlerinde kullanılan ekipmanlar



Şekil 19. “2D Fotomask ölçüm sistemi” ve “Nanometre Komparatör”

“2D Photomask measuring system”, X/Y yönünde 235 mm x 205 mm hareket alanına sahip invar malzemeden yapılmış bir tablaya sahiptir. Hava yastığı ile yataklandırılmış ve hareketi sağlayan bir tahrik miline sahiptir. Mesafe değerleri X/Y yönünde lazer diferansiyel interferometre ile tespit edilmektedir. Hava basıncı, sıcaklık ve Nem değeri ile CO<sub>2</sub> değerleri Edlen formülü ile dinamik olarak hesaba katılmaktadır. [2]

### 3.2.3. TÜBİTAK – UME Ulusal Metroloji Enstitüsünde çizgi skalalı ölçme standartlarının ölçümlerinde kullanılan ekipmanlar



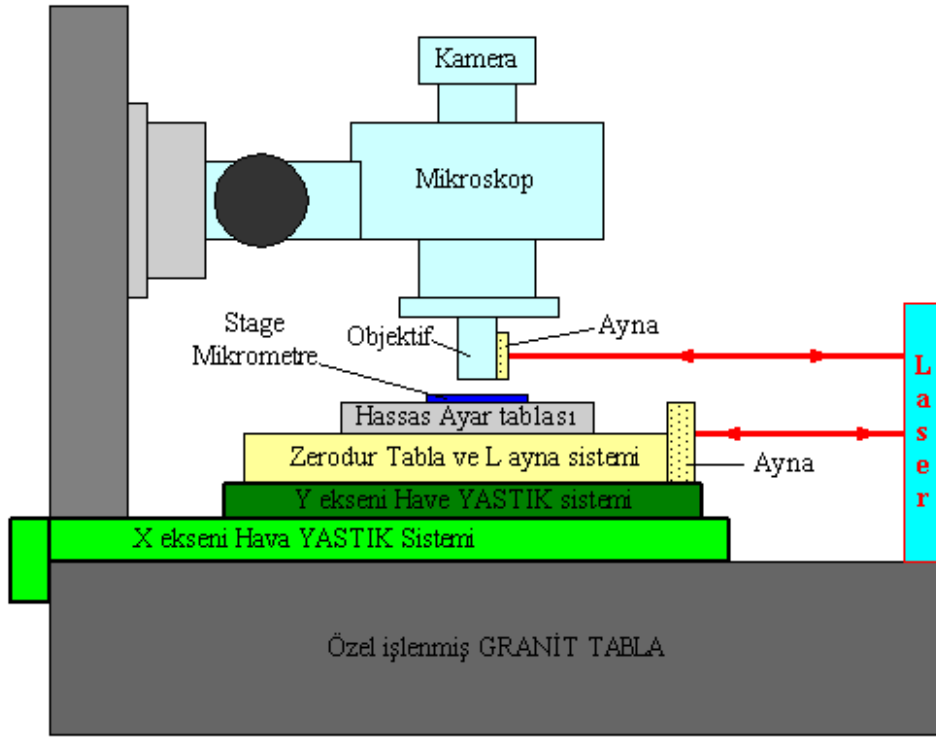
**Şekil 20.** Mask Ölçüm cihazı ve kontrol yazılımı

UME'de Tek ve iki boyutlu cam cetvel kalibrasyonlarında eksenlerine interferometre bağlanmış Optik Profil Projeksiyon cihazı kullanılmaktaydı. Bu yöntemle elde edilen ölçüm sonuçlarının belirsizlik değerleri düşük çözünürlük değerlerine sahip ölçme standartlarının kalibrasyonlarında düşük belirsizlik değerleri gerekeceği için uygun bulunmayabilir. Bu durumda düşük belirsizlik değerleri kullanılmak istendiğinde UME'de faaliyete geçen MASK ölçüm cihazı kullanılmaktadır.

MASK ölçüm sistemi, düzlemselliği oldukça düşük granit tabla üzerinde hava yastığı sayesinde piezo-nanomotorlar yardımı ile hareket edebilen iki boyutlu özel bir X/Y tablası bulunmaktadır. Diferansiyel lazerler mesafe okumasını, piezo-nanomotorlar ise sistemi hareket ettirerek pozisyonlamayı sağlamaktadır. Referans cihaz lazer diferansiyel interferometredir. Sistemin sahip olduğu hava yastıkları üzerinde piezo-nanomotorlar sayesinde hareket eden tablanın hareketleri 2 adet ( X ve Y eksenleri için) lazer diferansiyel interferometre ile ölçülebilmektedir. 4 adet ultrasonik piezo nanomotorla hareket ettirilen X/Y tabla, hava yastıklı granit masa üzerinde bulunmaktadır. X/Y tabla, sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi için zerodur malzemeden yapılmış ve granit masa üzerine kinematik prensibe göre oturtulmuştur. Bunun yanında sisteme bağlı yüksek büyütme oranındaki objektiflere sahip CCD dijital kamera bağlı mikroskop yardımı ile ölçülecek çizgi skala standardının görüntüsü UME-Boyutsal laboratuvarı tarafından geliştirilen özel bir yazılım üzerinde aynı anda elde edilebilmektedir. Bu sayede oldukça detaylı bir görüntü üzerinde doğruluğu ve çözünürlüğü yüksek bir sistem ile düşük belirsizliklerde kalibrasyon yapma imkanı elde edilmektedir.

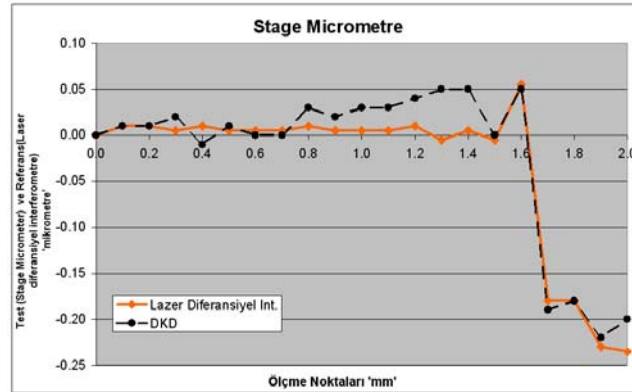
**Tablo 3.** UME 'deki mevcut sistemin teknik özellikleri

Hareketin doğrusallığı	< 0.5 $\mu\text{m}$
Hareketin düzlemselliği	< 1.0 $\mu\text{m}$
Pitch and yaw	< 1.0 arc-sec
Roll	< 1.0 arc-sec
Diklik hatası	< 0.5 arc-sec
Maksimum Yük kapasitesi	30 kg
Maksimum Hız	250 mm/sec



Şekil 21. Mask Ölçüm cihazı şematik gösterimi

UME'de mask ölçüm cihazı ile ölçümlere yeni başlanılmıştır. Cam cetvel, Adım mikrometreleri ve Linescale ölçümleri için bu sistem ile birçok test yapılmıştır. Ayrıca Almanya Ulusal Metroloji Enstitüsü PTB'ye benzer bir ölçme sistemi olan ve 40nm ( $k = 2$ ) belirsizlik veren bir DKD laboratuvarı tarafından kalibrasyonu yapılan adım mikrometresinin UME'de ölçümü gerçekleştirilerek sistemin doğrulamasının yapılması da sağlanmıştır.



Şekil 22. UME ve DKD ölçüm sapma sonuçlarının karşılaştırılması

Adım mikrometresi için UME tarafından DKD sertifikasındaki sapma değerleri ile UME sonuçları dikkate alınarak yapılan değerlendirmede elde edilen sonuçların DKD sonuçlarına ne kadar yakın olduğu görülebilmektedir. Kolondaki değerler 0,05 mikrometre (50nm) adımlardan oluşmaktadır. DKD Lab' in belirsizliğinin  $U=40\text{nm}$  olduğu düşünüldüğünde, sonuçlar üzerinde belirsizlik çubuklarını göstermeye gerek kalmadan, sonuçların uyumlu ve tatminkâr olduğu ortadadır. Tarafımızdan

hesaplanan En değerleri de son derece tatminkâr bulunmuştur. Önümüzdeki yıllarda Hassas Skala ölçümleri için düzenlenecek EURAMET karşılaştırmalarına katılım sağlanacaktır.

#### 4. SONUÇ

TÜBİTAK – UME Ulusal Metroloji Enstitüsü olarak, çizgi skala ölçümleri için çalışmalarına devam etmektedir. İlk olarak 50 metre uzunluğunda bir ölçme sistemi geliştirerek, 55 metrelik yeni laboratuvarda hizmet vermeyi planlamaktadır. Bu cihazın aynı zamanda, Total Station'larda bulunan Elektronik Mesafe Ölçerlerin (EDM) kalibrasyonu için kullanılacağı düşünüldükçe tasarımı gerçekleştirilecektir.

Hassas çizgi skalalarında belirsizlik değerleri çizgi kalitesine göre değişmektedir. Şu an 100nm civarında bir belirsizlik ile hizmet verilebilmektedir. Bir sonraki aşamada, görüntü işlenerek, bu değerin daha aşağıya çekilmesi planlanmaktadır.

Nanometrik Skala (SEM, TEM ve AFM'lerde kullanılan) ölçümleri için çalışmalar devam etmektedir. Bu yöndeki çalışmalar kısaca aşağıda açıklanabilir:

AB 7. çerçeve programı "FP7 Nanotrace" projesinde, 0,05nm (50 pikometre) belirsizlik ile ilerleme miktarı ölçen interferometrik skala geliştirme projesinde çalışmaktadır. Bu proje sonucunda, Elektron mikroskopların eksenlerinde kullanılacak skalalar geliştirilecektir. (Not: Ticari lazer interferometrelerin limiti, lineerite hatalarından dolayı 5 nm civarındadır).

Metroloji AFM (Atomik Kuvvet Mikroskobu) dizayn ve imalatının gerçekleştirilmesi

İzlenebilir Lazer difraktometre imalatı

Interferometrik PZT kalibrasyonları (Nano sensör)

#### KAYNAKLAR

- [1] W.B. Penzes and J.S. Beers, "Evolution of automatic linescale measurement at the national institute of standards and technology", 24-27 September 1990
- [2] PTB - WGDM-7 Preliminary comparison on nanometrology According to the rules of CCL key comparisons , Nano3 LINESCALE STANDARDS, Final Report , Braunschweig , August 29, 2003
- [3] Dr. Tanfer Yandayan, "Metre'nin 200 yıllık yolculuğu", Cumhuriyet Gazetesi, Bilim ve Teknik Dergisi, 18 Mart 2000 Sayı 678
- [4] Dr. Tanfer Yandayan, Bülent Özgür, "5 m-measurement system for traceable measurements of tapes and rules", Recent Developments in Dimensional Metrology - SPIE Conference, San Diego, USA, 1-8 August 2003.
- [5] Bülent Özgür, Dr. Tanfer Yandayan, "5 M BENCH Şerit metre ve Çelik Cetvel Kalibrasyon Sistemi", VI. Ulusal Ölçümbilim Kongresi 17 – 18 Kasım 2005 Eskişehir-Türkiye, .
- [6] Euromet Project 677 "Length intervals on a steel tape" Uluslararası karşılaştırma sonuçları, METAS-İSVİÇRE, BEV-AUSTRIA, CEM-SPAIN, CMI-VUGTK-CZECH REPUBLIC, GUM-POLAND, INM-BRML-ROMANIA, JV-NORWAY, LNMC-LATVIA, MIKES-FINLAND, MIRS-SLOVENIA, NMIA-AUSTRALIA, NCM-BULGARIA, OHM-HUNGARY, PTB-GERMANY, SMD-BELGIUM, SP-SWEEDEN, 12.10.2004
- [7] Metas-İSVİÇRE, Metroser-ESTONIA, TÜBİTAK UME- TÜRKİYE, Euromet Project 875 "Length intervals on a steel tape" Uluslararası karşılaştırma sonuçları, 06.06.2006

## 7. ÖZGEÇMİŞLER

### Bülent ÖZGÜR

1970 yılında Trabzon - Beşikdüzü'nde doğdu. 1987 yılında Haydarpaşa Teknik Lisesi Makine Bölümü'nü bitirdi ve 1991 yılında Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Lisans eğitimini tamamladı. 1992 – 1993 Yılları arasında M.S.B. Sivas İnşaat Emlak Başkanlığında Makine Mühendisi olarak askerlik görevini tamamladı, 1993 – 1997 yılları arasında Metkon Metal Konstrüksiyon A.Ş. de 1997 – 1999 yılları arasında Makine Takım Endüstrisi A.Ş. de Makine Mühendisi olarak çalıştı. 1999 – 2008 Tübitak - UME Boyutsal Lab. da Araştırmacı olarak çalışmaktadır. TÜBİTAK – UME de “Şerit metre ve Çelik Cetvel Kalibrasyon Sistemi” kurulması projesini tamamladı. “Adım ( Stage ) Mikrometre Kalibrasyon Sistemi” nin geliştirilmesi ve laboratuvar içi bir çok projede yazılımların hazırlanması ve dizaynları konusunda ve ayrıca çeşitli boyutsal kalibrasyon çalışmalarının yapılması hususunda çalışmaktadır.

### Tanfer YANDAYAN

Doç. Dr. Tanfer YANDAYAN 1968 yılında Bursa'da doğdu. Orta ve Lise öğrenimini Bursa'da tamamladıktan sonra, 1989 yılında Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl “Ölçme ve Enstrümantasyon” dalında kazandığı devlet bursu ile İngiltere'ye yüksek öğrenim görmeye gitti. 1990–1996 yıllarında, Manchester Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünde, “İleri ve Hassas Üretim Mühendisliği” konusunda Master derecesi, “CNC tezgahlarında dönen iş parçalarının, işlem sırasında lazer ile temassız çap ölçümü” konusunda Doktora derecesini aldı. Mecburi hizmetini tamamlamak üzere Türkiye'ye döndü ve Mart 1997 tarihinde TÜBİTAK-UME'de Boyutsal Laboratuvarında çalışmaya başladı. 2006 yılında, Makine Mühendisliği Bilim Alanında, Üniversite Doçenti unvan ve yetkisini aldı. 1997 yılından itibaren UME Boyutsal Laboratuvarı Sorumlusu olarak görev yapan Tanfer Yandayan, ülkemizi, Dünya Uzunluk-Boyutsal ölçümler ihtisas komitesinde (CCL), Boyutsal Ölçümler için çalışma grubunda (WGDM), Avrupa Metroloji Birliği Teknik Komitesi'nde (EURAMET TC) Türkiye Delegesi olarak temsil etmektedir. Türkiye'de birçok sanayi kuruluşuna, Uluslararası Kurum ve Kuruluşlara boyutsal metrolojisi, genel metroloji alanlarında eğitim ve danışmanlık hizmetleri vermekte olup Türk Akreditasyon Kurumu'na teknik uzmanlık yapmaktadır. Türkiye'de ölçme ve akreditasyon çalışmalarında birçok teknik toplantıda ve Türkak Sektör Komitesi'nde görev almaktadır. Avrupa Birliği projelerinde aktif rol almakta ve FP7-SEA-EU-NET projesinde kurum adına yürütücülük yapmaktadır. Uluslararası dergilerde ve konferanslarda danışmanlar kurulunda hakemlik görevi yapmaktadır. 1997 tarihinden bu yana Ölçüm Bilim Kongrelerinde, Yürütme, Danışmanlar, kurullarında görev almış olan Tanfer Yandayan'ın, SCI, SSCI, AHCI indekslerine giren dergilerde, uluslararası ve ulusal konferanslarda yayımlanan toplam 18 yayını bulunmaktadır.