

# 3 BOYUTLU ÖLÇÜM CİHAZI KALİBRASYONU ve KALİBRASYONDA KULLANILAN REFERANS STANDARTLAR

**İlker MERAL\***  
**Okhan GANIÖĞLU\*\***

TÜBİTAK UME, Barış Mah. Dr. Zeki Acar Cad. Pk54, 41470 Gebze / Kocaeli, Türkiye  
E-mail\* : [ilker.meral@tubitak.gov.tr](mailto:ilker.meral@tubitak.gov.tr)  
E-mail\*\* : [okhan.ganioglu@tubitak.gov.tr](mailto:okhan.ganioglu@tubitak.gov.tr)  
Tel: 0262 679 5000

## ÖZET

Gelişen sanayi ile birlikte, koordinat ölçümleri endüstriyel ölçümlerin en önemli parçalarından birisi olmuştur. Üretim teknolojilerinin gelişmesiyle beraber, artan ölçüm ihtiyacının karşılanabilmesi için 3 Boyutlu Ölçüm Cihazlarının (CMM, Coordinate Measuring Machine) kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ayrıca, karmaşık parçaların üretilmeye başlamasıyla beraber CMM cihazlarına olan ihtiyaç gün geçtikçe artmış ve bu tür cihazların kullanılmasıyla üretilen parçaların kontrol ve ölçümlerinin kısa sürede ve hassas bir şekilde yapılmasına imkan sağlanmıştır.

CMM cihazı ile ölçümlerin arzu edilen hassasiyette yapılabilmesi, CMM cihazlarına ait hataların düzeltilmesiyle sağlanabilmektedir. CMM cihazları toplamda 21 farklı hata üretmektedir. Bu hataların üretici tarafından beyan edilen tolerans değerleri içerisinde indirilmesi için cihazların belirli periyotlarla ara kontrol ve kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. ISO 10360 standardına göre gerçekleştirilen kalibrasyon ve ara kontroller sırasında, bu hataların sadece belli bir kısmı tespit edilebilmektedir. Bunları tespit etmek için yaygın olarak kullanılan standartlar; master blokları, hole-ball Pleyt, özel referans standartlar ve lazer interferometre gibi referanslardır.

Laboratuvar ortamında master blokları kullanılarak, her eksene ait (X, Y, Z Eksenleri) lineer hatalar 0,40 µm'den başlayan belirsizlikle ve eksenler arasındaki diklik hataları 0,75 açısal saniye belirsizlikle ölçülebilmektedir.

**Anahtar Sözcükler** : CMM (3 Boyutlu Ölçüm Cihazı), kalibrasyon, ISO 10360

## ABSTRACT

In conjunction with developing industry, coordinate measurements have become one of the most important parts of industrial measurements. In order to meet measurement demand that has been developed together with production techniques, the use of 3-D measurement equipments (CMM) become widespread. Furthermore, demand of CMM devices has increased along with the production of complex components. By use of these devices, control (verification) and measurement of manufactured components are sensitively carried out in a short time.

The measurements with desired precision can be achieved provided that the errors of CMM devices are corrected. There are 21 different error sources which are resulted from CMM devices. In order to decrease the value of these errors into tolerance declared by manufacturer, calibration and intermediate check of CMM devices should be carried out in specific periods. Only a certain part of these errors can be detected during calibrations and intermediate check which are done in

accordance with ISO 10360 standard. Gauge blocks, hole-ball Pleyt, special reference standards, and laser interferometer are commonly used references to determine these errors.

In laboratory environment, linear errors of each axis (X, Y, and Z axes) can be measured with uncertainties beginning from 0.40  $\mu\text{m}$  and squareness errors among axes can be measured with uncertainties beginning from 0.75 arc second.

**Key Words:** CMM, calibration, ISO 10360, artefact

## 1. GİRİŞ

CMM cihazları, üç boyutta hassas ölçüm yapabilen cihazlardır. Tek boyutta ölçümü yapılamayan, aynı anda farklı eksenlerde ölçüm gerektiren karmaşık parçaların ölçümlerinde kullanılır. Endüstride kullanılan cihazların çoğunun kalibrasyonları düzenli olarak yapılmamaktadır. Ancak, cihazlarda herhangi bir problem olduğu zaman kalibrasyonları yapılmakta ve kompanzasyon değerleri cihazın yazılımına yüklenmektedir. Ölçüm cihazları, ancak periyodik kalibrasyon ve doğrulama işlemleri ilgili standartlara göre yapıldığı zaman güvenilirliğini sağlamaktadır. Standartlar, ölçüm cihazları ve donanımlarının kalibrasyonlarının yapılmasını, doğrulanmasını, ayarlanmasını ve tüm bu uygulamaların izlenebilir olmasını zorunlu kılmaktadır.

Endüstride kullanılan cihazlar için, kalibrasyon işlemi genellikle uzun master blokları kullanılarak yapılmaktadır ve sadece cihazın istenilen doğrulukta çalışıp çalışmadığı kontrol edilmektedir. Eğer cihaz istenilen doğrulukta çalışmıyorsa ve uzun master blokları ile yapılan işlem sonucunda kompanzasyon değerleri girildikten sonra da istenilen sonuçlar elde edilemiyorsa, cihazın kalibrasyonu lazer kullanılarak yapılır. Lazer ile her eksen için lineer, açısal ve doğrusal kontrol ve bu değerler ile gerekli düzeltmeler yazılım üzerinden yapılarak tekrar uzun master blokları ile kalibrasyon işlemi gerçekleştirilir. Yapılan bu işlemlerin tek seferde yapılabilmesi için referans standartlar (Hole Pleyt, Ball Pleyt) geliştirilerek CMM cihazı 21 hata tespit edilerek kompanze edilebilmektedir. Ayrıca, üretici firmalar kendi cihazları için kalibrasyon işlemini kısaltacak referans ve yazılımları kullanmaktadırlar.

CMM'lerin kalibrasyonları standart testlere göre yapılmaktadır. Son yıllarda en yaygın kullanılan standart ise ISO 10360'dır [1].

## 2. CMM Doğrulaması için Kullanılan Standartlar

CMM cihazlarının kullanılmaya başladığı ilk yıllarda, CMM üreticileri ve CMM kullanıcıları cihaz test prosedürleri uygulamaları için aynı görüşte birleşmişlerdir. Fakat, daha sonra CMM üreticileri CMMA (Coordinate Measuring Machine Manufacturers Association) testi ismini verdikleri kabul testlerini yapmaya başlamışlardır. Sonraki yıllarda, cihaz kabul testleri ve ara kontrolleri için ISO tarafından yayınlanan, ISO 10360 standardı kullanılmaya başlanmıştır [2]. Bu sebeple, günümüzde yaygın olarak kullanılan standart ISO 10360 standardı olmuştur.

### 2.1. ISO 10360 Standardı

ISO 10360 standardı yedi bölümden oluşmaktadır. İçerikleri;

- ISO 10360-1: Terimler, tanımlar ve bunların açıklamalarını kapsamaktadır.
- ISO 10360-2: CMM ile ilgili lineer ölçüm ve kalibrasyonları içerir.

- ISO 10360-3: 4. Eksen olarak döner tablaya sahip CMM cihazlarının tabla ölçüm ve kalibrasyonlarını içerir.
- ISO 10360-4: Ölçüm kafası tarama (scanning) yapabilme özelliğine sahip cihazların tarama sisteminin doğruluğunun kontrolünü içerir.
- ISO 10360-5: Tekli ve çoklu prob sistemlerine sahip cihazların performans ölçüm ve testlerini içerir.
- ISO 10360-6: Cihaz içerisinde kullanılan yazılımların kontrolünü içerir.
- ISO 10360-7: Optik ölçüm kafasına sahip CMM cihazlarının ölçüm ve kalibrasyonlarını içerir.
- ISO 10360-8 ve ISO 10360-9 hazırlık aşamasında olan standartlardır.

Cihaz üretildikten sonra, üretici tarafından yukarıda sıralanan testlerin tamamı yapılmaktadır. Cihaz kullanıcıya teslim edildikten sonra (kurulum tamamlandıktan sonra) cihazın özelliklerine göre kalibrasyon işlemi yapılmaktadır. Genellikle, fabrikada yapılmış olan her ölçüm kontrol edilmektedir. Eğer taşıma sırasında tolerans dışına çıkan ölçüler olmamışsa düzeltme yapılmamaktadır. Sadece tolerans dışı kalan ölçümler düzeltilmektedir.

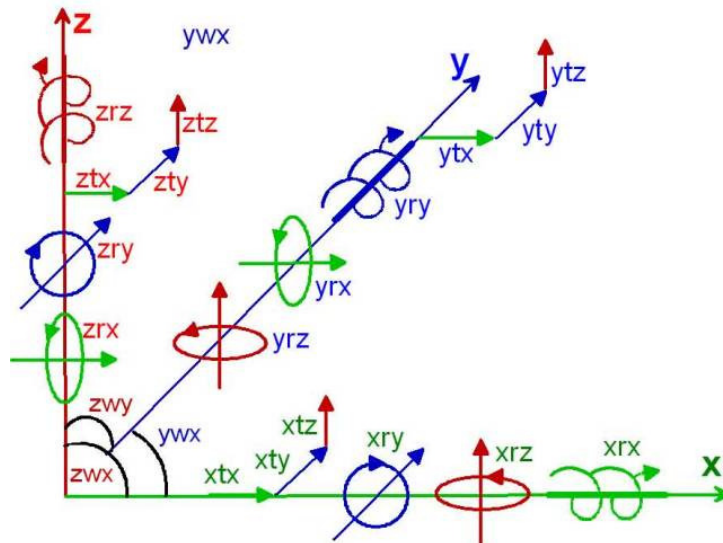
### 3. CMM Geometrik Hata Kaynakları ve Hataları

CMM cihazının doğruluğunu etkileyen birçok hata kaynağı vardır. Bu hatalar, cihazın çalışması sırasında üç eksenin hareketini etkilemektedir ve pozisyon hatalarına sebep olmaktadır. Bundan dolayı cihaz, değerleri olması gereken değerlerden farklı değerleri gösterir. Bu farklılığın büyüklüğü, cihazın hassasiyetine bağlıdır.

CMM cihazlarının hareketleri sırasında, her eksen 6 adet hata üretir. Kartezyen koordinatta 3 eksen toplam 18 hatası vardır. Bunlara ek olarak her eksenin birbirlerine olan 3 diklik hatası ile birlikte, CMM cihazlarında toplam 21 hata kaynağı vardır (Şekil 1). Cihazın ilk montajı ve cihaz bileşenlerinin imalatından kaynaklanan bu hatalar hem cihazın performansını, hem de ölçülen parçaların doğruluğunu etkilemektedir. Bu sebeple, cihazların belirli periyotlarda kontrol edilmesi ve bu hataların kompanze edilmesi (düzeltilmesi) gerekmektedir.

ISO 10360-2 standardına göre yapılan işlemlerde, cihazın sadece lineer hataları ve diklik hataları tespit edilerek düzeltilir ve üretici tarafından verilen hata sınırları içerisinde çalışması sağlanır.

Bu 21 hata; lineer konum, roll, pitch, yaw, yatay ve dikey yönde doğrusallık (straightness) ve 3 eksenin birbirlerine olan diklikleri olarak sıralanır. Hataların açıklamaları, Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. CMM geometrik hataları [3]

**Tablo 1** CMM geometrik hata açıklamaları

xtx, X eksen konum hatası	ytx, Y eksen konum hatası	ztx, Z eksen konum hatası
xty, Y ekseninde doğrusallık hatası	ytx, X ekseninde doğrusallık hatası	ztx, X ekseninde doğrusallık hatası
xtz, Z ekseninde doğrusallık hatası	ytz, Z ekseninde doğrusallık hatası	zty, Y ekseninde doğrusallık hatası
xrx, X ekseninde roll hatası	yry, Y ekseninde roll hatası	zrz, Z ekseninde roll hatası
xry, X ekseninde pitch hatası	yrx, Y ekseninde pitch hatası	zrx, Z ekseninde pitch hatası
xrz, X ekseninde yaw hatası	yrz, Y ekseninde yaw hatası	zry, Z ekseninde yaw hatası
ywx, YX düzleminde diklik hatası		
zwx, ZX düzleminde diklik hatası		
zwy, ZY düzleminde diklik hatası		

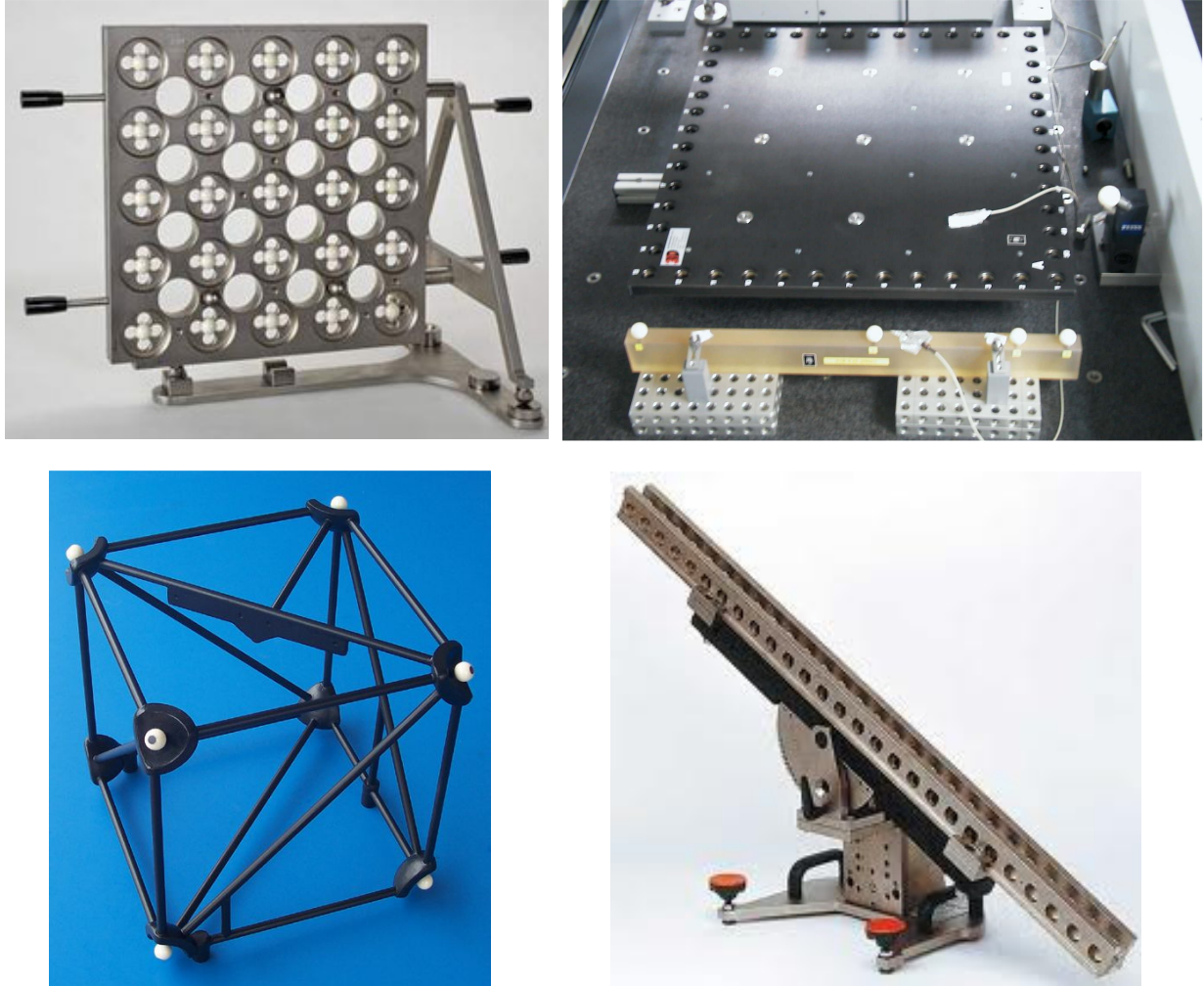
CMM kalibrasyonu ve doğrulaması (verifikasyonu) genelde karıştırılan iki kavramdır. CMM performansını doğrulama (verifikasyon) kuralları ve testleri, cihazın ölçüm kapasitesine bağlı olarak üretici tarafından verilen MPE (maksimum izin verilebilir hata) sınırları içerisinde çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için yapılır. Testler, sadece CMM'in toplam uzunluk ölçme kabiliyeti hakkında bilgi verir. CMM kalibrasyonu ise, cihazların ilk kurulumunda yapılan ve 21 hatanın tespit edildiği işlemdir. Doğrulama kısmında, bütün hataların tespit işlemi yerine sadece lineer ve diklik hatalarının bulunması ve düzeltilmesi işlemi yapılmaktadır. Eğer doğrulama işlemi sonunda, cihaz toleranslar içerisinde çekilemezse tekrar kalibrasyon işlemi yapılması gerekmektedir. Cihaz, çevre şartları kontrol edilen ve değişimin fazla olmadığı şartlarda kullanılıyorsa, cihazın kullanım sıklığına bağlı olarak sadece doğrulama işlemi yeterli gelmektedir. Cihaz taşıma işleminden sonra ise bazı eksenler için ya da bütün eksenler için kalibrasyon işlemi gerekebilir.

#### 4. Kalibrasyonda Kullanılan Referanslar

CMM hatalarının tespit edilebilmesi için ürün çeşitliliğine bağlı olarak farklı kalibrasyon yöntemleri ve standartlar kullanılmaktadır. Kalibrasyon işlemi için, Lazer Interferometre (Şekil 2) kullanımı uzun ve zahmetli olmasının yanında hem de maliyeti yüksek bir çalışmadır. Bu yüzden daha pratik ve portatif yen, standartlar geliştirilmiştir. Hole ve Ball Pleyt gibi standartlar (Şekil 3) kullanılarak cihazın bütün hacmi taranabilmekte ve hacmin her noktasındaki bütün hatalar tespit edilebilmektedir. Eğer Referans Hole-Ball Pleyt boyu CMM ölçüm boyundan kısaysa, ölçüm hacmi içerisinde Pleyt kaydırılarak o ekseninde tüm boyu kapsayacak şekilde ölçümler her düzlemde yapılabilmektedir. Ball Bar, Küreli Küp (Ball Cube) gibi değişik standartlar da kalibrasyon işlemi için kullanılmaktadır. Zaman zaman üreticiler halka master, küre, master blokları gibi ayrı referansları bir araya getirerek yeni standartlar da oluşturmaktadırlar. Lineer ve diklik ölçümleri için yaygın olarak farklı boyutlarda (Cihazın ölçüm kapasitesine bağlı olarak) master blokları da kullanılmaktadır. Bazı firmalar, master bloklarının yerine Adım Mastarı kullanmayı da tercih etmektedirler.



Şekil 2. Lazer Interferometre ile CMM skala kalibrasyonu



Şekil 3. Ball Pleyt, Hole Pleyt, Küreli Küp ve Adım Mastarı

## 5. CMM Kalibrasyonu ve Verifikasyonu

### 5.1. Çevresel Şartlar

CMM kalibrasyonunda, düzeltme işlemi sırasında çevre şartlarının uzun süre sabit olması önemlidir. CMM cihazları, uzun boylarda ve geniş hacimlerde ölçüm yapan cihazlar olduğu için, laboratuvarın sıcaklık kontrolünün sağlanması cihaz eksen boyutlarındaki değişimin minimum seviyede tutulması açısından gereklidir. Sadece ölçümler sırasında değil, kalibrasyona başlamadan ve kalibrasyon sonrasında da ortam şartlarının sabit kalması, yapılan düzeltme işleminin doğru olmasını ve daha güvenilir olmasını sağlar. Ortam şartlarındaki büyük değişimler, cihazın doğruluğunda büyük sapmalara sebebiyet verebilmektedir. Kalibrasyon sırasında alınan bütün değerler 20 °C'ye göre düzeltilerek kullanılmaktadır.

### 5.2. Master Blokları ile CMM Verifikasyonu (ISO 10360-2)

Lazer ile eksenlerde lineer düzeltmeler yapıldıktan sonra, ISO 10360-2 standardına göre CMM kalibrasyonunda, master blokları kullanılarak yapılır ve cihazın, üretici firma tarafından verilen değerler içinde kalıp kalmadığını kontrol edilir. ISO 10360-2 standardına göre master blokları kullanılarak



yapılan kalibrasyon işleminde; önce üç eksende skala faktörleri belirlenir, diklik hataları kontrol edilir ve son olarak 7 pozisyonda ölçümler yapılır. Her ölçüm boyunda 5 farklı master bloğu kullanılarak her ölçüm en az 3 defa tekrarlanır ve toplam 105 ölçüm sonucu elde edilir ve değerlendirilir.

### 5.2.1. Lineer Ölçümler

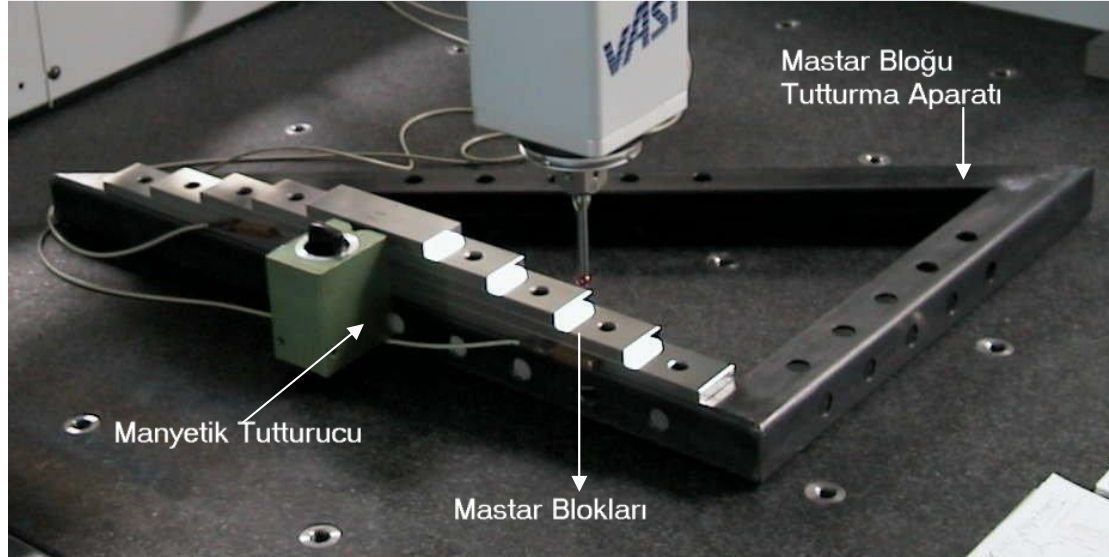
X, Y ve Z Eksenlerinin skala faktörlerinin belirlenebilmesi için, eksenler üzerinde lineer ölçümler alınması gerekir (Şekil 4). Alınan ölçümler sonucunda skala faktörü aşağıdaki formül ile belirlenir.

$$\text{Skala Faktörü} = \frac{\text{Masterın Ölçülen Değeri (mm)}}{\text{Masterın Gerçek Değeri (mm)}}$$

Skala faktörleri belirlendikten sonra cihaz yazılımından lineer kompanzasyon değerleri girilerek düzeltme işlemi yapılır. Bu düzeltme, yazılım içerisinde bulunan şifre ile girilen veya dungle kullanılarak açılan özel menüler yardımı ile yapılır. Yapılan işlemin doğruluğunun kontrolü için, eksenlerde lineer ölçümler tekrarlanır ve ölçüm sonuçlarının üretici firma tarafından verilen değerler içinde olup olmadığı kontrol edilir.

Bu ölçümler için, seçilecek en uzun masterın boyu CMM cihazı ölçüm uzunluğunun en az % 66'sını kapsayacak şekilde olmalıdır. Verifikasyon işleminde, 5 adet master bloğu kullanılır.

Örnek: 1 metreden büyük ölçüm boyuna sahip CMM cihazı için kullanılacak ideal master blokları; 100 mm, 200 mm, 400 mm, 600 mm ve 800 mm olarak tanımlanabilir.



Şekil 4. Mastar Blokları ile Lineer ölçüm pozisyonu

### 5.2.2. Diklik Ölçümleri

CMM cihazı; XY, XZ ve YZ düzlemlerinde, eksenler arasındaki diklik hataları bulunabilmesi için her düzlemde, standartta belirtilen ölçümler yapılır (Şekil 5) ve diklik hatası bulunur. Bulunan diklik hatası,



Alınan ölçüm sonuçlarından Şekil 6'da belirtilen  $\theta$  açısı aşağıdaki formüle göre hesaplanır [4].

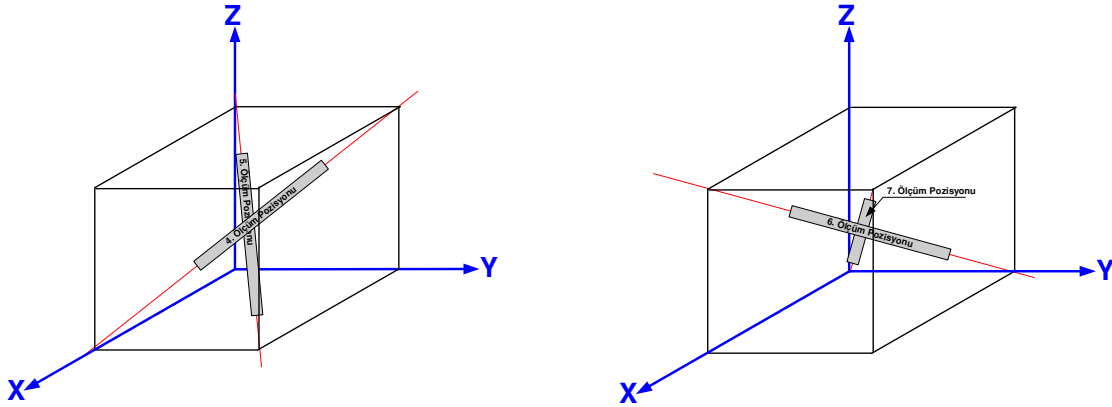
$$\theta = \frac{OB^2 - AC^2}{OB^2 + AC^2} \cdot \frac{1}{2 \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} [\text{rad}] \quad (1)$$

Burada, OB ve AC master bloğun 1. ve 2. pozisyonda ölçülen boy değerleridir.  $\beta$  açısı ise, master bloğunun ölçüm sırasında kullanılan aparatın oturtulduğu yüzey ile yaptığı açıdır.

### 5.2.3. Hacimsel Ölçümler

Lineer ve eksenler arasındaki açısal hatalar düzeltildikten sonra, hacimsel olarak 4 pozisyonda (Şekil 7) ölçümler yapılır. Yapılan ölçümler sonucunda bütün değerlerin üretici tarafından verilen değerler içinde kalması gerekmektedir. Aksi takdirde lineer ve açısal hataların tekrar düzeltilmesi gerekmektedir.

Eğer bu düzeltmelerden sonra, toleranslar içerisinde sonuç elde edilemezse lazer ile skala düzeltme işlemlerinin tekrar yapılması gerekmektedir.

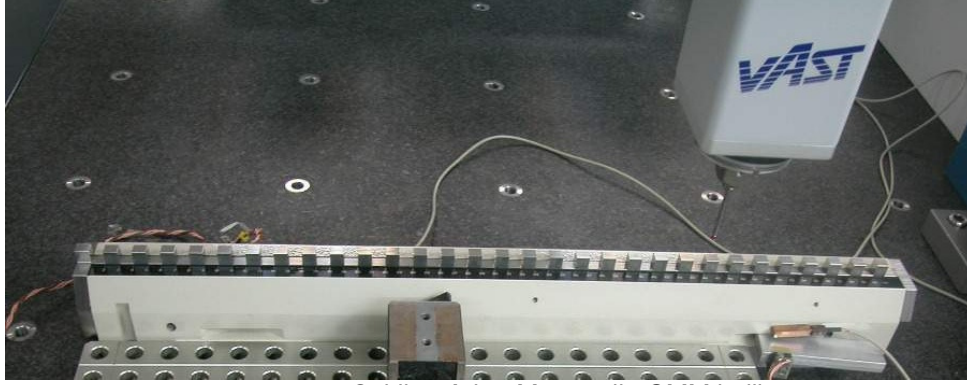


Şekil 7. Hacimsel ölçümler

### 5.3. Adım Mastarı (Step Gauge) ile CMM Verifikasyonu

Adım mastarı ile CMM kalibrasyonu (Şekil 8), master blokları ile yapılan ölçümlerin aynısıdır. Tek farkı master blokları yerine Adım Mastarının kullanılmasıdır. Yapılan ölçümlerin tamamı Adım Mastarı ile yapılır. Bazı CMM cihazlarında bu işlemler için ISO 10360-2 standardına göre hazırlanmış özel yazılımlar kullanılmaktadır. Böylece, sadece ölçüm alınması yeterlidir. Cihaz, gerekli hata hesabı yapmaktadır ve düzeltmektedir.

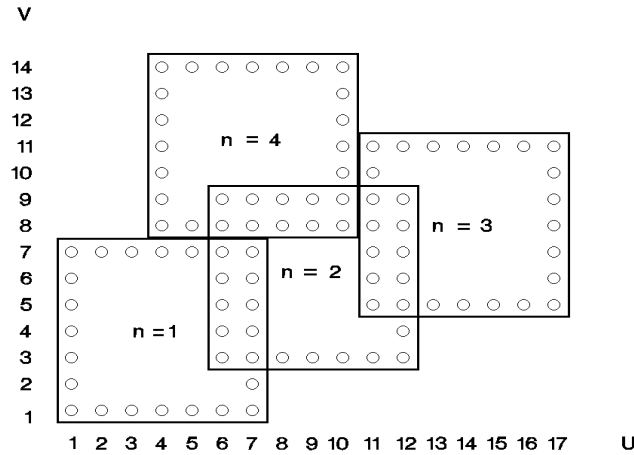




Şekil 8. Adım Mastarı ile CMM kalibrasyonu

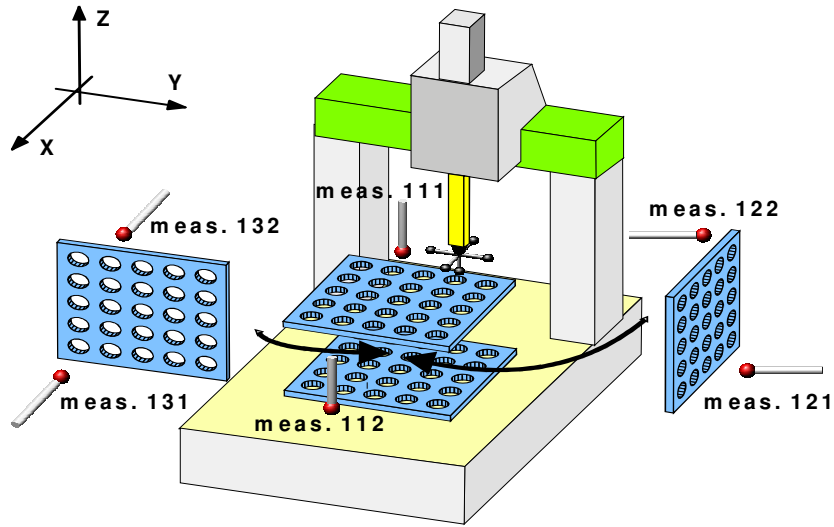
#### 5.4. Hole Pleyt ve Ball Pleyt ile CMM Kalibrasyonu

Hole ya da Ball Pleyt kullanarak, CMM cihazının ölçüm hacminin her noktasında CMM'in 21 adet hata değerleri tespit edilir ve bu hataların giderilir. Bu çalışmanın avantajı lazer interferometre ve master blokları kullanılarak yapılan çalışmaların tamamını kapsamaktadır. Kullanılan Hole ya da Ball Pleyt'in boyutları CMM cihazının çalışma aralığından küçük ise, bütün hacmin taranması için pleyt'in farklı konumlarına yerleştirilmesi ve ölçüm yapılması gerekmektedir (Şekil 9). Volumetrik ölçümde referans pleyt değişik pozisyonlarda ölçülür (Şekil 10) ve bu ölçümlerde elde edilen sonuçlar özel yazılımlar yardımı ile birleştirilerek CMM cihazının ürettiği 21 adet hata için ayrı ayrı tespit edilir [5]. Bulunan değerler CMM cihazına girilerek düzeltme işlemi yapılır.



PTE 6 30 OKD 101  
14 32 11 01

Şekil 9. Küçük Pleytle bütün ölçüm hacminin taranması için yapılan kaydırma işlemi



Şekil 10. Hole Pleytin CMM üzerine yerleştirme pozisyonları.

Bu ölçümlerin dezavantajları ise, Hole ve Ball Pleytin ısı dengeye gelmesi için ölçüm sırasında bekleme süresinin uzun olmasıdır. Ayrıca işlemin düzgün yapılıp yapılmadığının anlaşılması için, bütün ölçümlerin tamamlanması gerekmektedir. Zaman zaman aynı ölçümlerin birkaç kez tekrarlanması da işlemi uzatan sebeplerdendir. Hole ve Ball Pleytin kendi kaymalarının tespiti için de sık sık ölçülerek kontrol edilmelidir.

## 6. Belirsizlik

Yapılan bütün çalışmalar için, kullanılan referanslara ve ölçüm metodlarına göre belirsizlik hesapları değişiklik göstermektedir. Bu yüzden bu kısımda, örnek olarak sadece master blokları ile bir eksenle yapılan ölçüm için, GUM ve EA-4/02 dokümanlarına uygun olarak hazırlanmış örnek model fonksiyon aşağıda verilmiştir. Belirsizlik hesabı, model fonksiyon kullanılarak hesaplanır.

$$d_x = d_g - D_x(1 - \Delta T_x \alpha_x + \Delta T_s \alpha_s) + \delta p + \delta g + \delta t \quad (2)$$

Burada;

$d_x$ : Ölçülen masterın 20 °C 'deki gerçek boyu

$d_g$ : Referans master bloğu sertifika değeri

$D_x$ : Masterın CMM ile ölçülen boyu

$\alpha_x$ : Ölçülen masterın sıcaklıkla uzama katsayısı

$\Delta T_x$ : Ölçülen masterın ölçüm sırasında 20 °C'den farkı

$\alpha_s$ : CMM skalasının sıcaklıkla uzama katsayısı

$\Delta T_s$ : CMM skalası ölçüm sırasında 20 °C'den farkı

$\delta p$ : Problama hatası

$\delta g$ : CMM cihazı geometri hatası

$\delta t$ : Ölçüm tekrarlanabilirliği

Cihaza ve kullanılan standartlara göre belirsizlik bütçesi yaklaşık 0,40  $\mu\text{m}$ 'den başlamaktadır.

## 7. Sonuç

CMM cihazları çok hassas oldukları için, ölçüm sonuçları bir çok hata kaynağından etkilenebilir. Bu problemlerin üstesinden gelebilmek ve hata kaynaklarını en aza indirebilmek için, cihazların düzenli bakımlarının yapılarak kontrol edilmesi ve kalibrasyon ve doğrulama işlemleri düzenli yapılması gerekmektedir. Kalibrasyon ve doğrulama işlemleri, hangi standart kullanılırsa kullanılsın zahmetli ve uzun işlemlerdir. Yapılan çalışma sonunda hataların cihaza girilebilmesi için, özel yazılım veya dungle kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden bu bilgi çoğu zaman kullanıcı veya ölçümü yapan laboratuvarında bu bilgi olmadığı için düzeltme işlemleri sadece yetkili servisler tarafından yapılabilmektedir. Yetkili servise bu işlem yaptırılmazsa cihaz kalibrasyonunda bulunan hata değerleri bir şey ifade etmemektedir.

Kalibrasyon ve doğrulama işlemimin kısa sürmesi nedeni ile yaygın kullanılan referanslar Master Blokları ve Adım Masterlarıdır. Fakat dikkat edilmesi gereken nokta, bu ölçümler sonunda yapılan düzeltmeler ile cihaz istenilen toleranslar içerisine girmiyorsa Lazer veya Hole-Ball Pleyt kullanılmasına ihtiyaç vardır.

Yapılan kalibrasyon ve doğrulama işlemi sonunda, elde edilen değerlerin güvenilirliği cihazın kullanıldığı çevre şartlarına bağlıdır. Cihazın istenilen toleranslar içerisinde çalışabilmesi için, çevre şartları sürekli dengede tutulmalıdır.

## KAYNAKLAR

[1] ISO 10360-2 "Geometrical product specifications (GPS) — Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) — Part 2: CMMs used for measuring linear dimensions", 2009

[2] Paulo Cauchick-Miguel, Tim King, Jim Davis, "CMM verification: a survey", 1996

[3] <http://www.trapet.de>

[4] J.-P. Kruth, L. Zhou, C. Van den Bergh and P. Vanherck, K. U. Leuven, "A Method for Squareness Error Verification on a Coordinate Measuring Machine" Division PMA, Celestijnenlaan 300B, 3001 Heverlee, Belgium, 2003

[5] Trapet, E., Franke, M., Härtig, F., Schwenke, H., Wäldele, F., Cox, M., Forbes, A., Delbressine, F., Schellekens, P., Trenk, M., Meyer, H., Moritz, G., Guth, Th., Wanner, N. "Traceability of Coordinate Measurements According to the Method of the Virtual Measuring Machine", Final Project Report MAT1-CT94-0076, PTB-report F-35, Part 1 and 2, ISBN 3-89701-330-4, 1999

## **ÖZGEÇMİŞ**

### **İlker MERAL**

1972 yılı Keskin/Kıkkale doğumludur. 1995 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nü bitirmiştir. 1995-1996 Yılları arasında MKE Mühimmatsan A.Ş.'de kalite güvence mühendisi olarak çalışmıştır. 1997 yılında TUBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır.

### **Okhan GANIÖĞLU**

1969 yılı İstanbul doğumludur. 1993 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nü 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 TUBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 1999-2012 Yılları arasında Laboratuvar sorumlu vekili olarak görev yapmış, 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 ve Boyutsal Çalışma Gruplarında (WGD) ülkemizi temsil etmektedir.