

**ÜÇ BOYUTLU KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZI
(CMM) İLE OPTİK TARAMA CİHAZININ
PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**



**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Uğur IŞIK

**ÜÇ BOYUTLU KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZI (CMM) İLE OPTİK
TARAMA CİHAZININ PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI
VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Uğur IŞIK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Haziran 2019

Uğur IŞIK tarafından hazırlanan “ÜÇ BOYUTLU KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZI (CMM) İLE OPTİK TARAMA CİHAZININ PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/06/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (ÇAKÜ)

Üye : Prof. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ (GÜ)

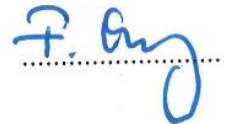
İmzası



...../...../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Uğur IŞIK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÜÇ BOYUTLU KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZI (CMM) İLE OPTİK TARAMA CİHAZININ PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Uğur IŞIK

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:
Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ
Haziran 2019, 54 sayfa**

Bu çalışmanın amacı, fiziksel bir parçanın üç boyutlu tarama verilerinin elde edilmesinde koordinat ölçme makinesi (CMM) ve optik tarama cihazının performanslarını karşılaştırmaktır. Bu amaçla, bu tez çalışmasında endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan CMM ve optik tarama cihazları seçilmiştir. CMM cihazı olarak DEA global 07.10.07 cihazı ve optik tarama cihazı olarak da ATOS II cihazı kullanılmıştır. Öncelikle, ölçümlerde kullanılacak deney numunesinin teknik resmi hazırlanmıştır. Referans ölçüm parçasının imalatı için havacılık ve savunma sanayilerinde yaygın olarak kullanılan alüminyum 6061 malzeme seçilmiştir. Referans numunenin CNC torna ile üretimi yapılmıştır. Üretim aşamasından sonra CMM ve optik tarama cihazı ile referans numune için hazırlanan teknik resimde belirtilen özellikler ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında ölçü nominallerine CMM cihazının daha yakın değerlerde ölçüm yaptığı tespit edilmiştir. Her iki cihaz arasında bulunan ölçüm farkının yaklaşık 100

μm 'nin altında olduğu görölmüştür. Ayrıca CMM cihazının daha hassas ölçümler yaptığı, optik tarama cihazının ise daha görsel raporlar hazırladığı gözlenmiştir

Anahtar Sözcükler : CMM, optik tarama, boyutsal ölçüm.

Bilim Kodu : 708.3.028



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

COMPARISON OF THE PERFORMANCES OF THREE DIMENSIONAL COORDINATE MEASURING DEVICE (CMM) AND OPTICAL SCANNING DEVICE

Uğur IŞIK

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

June 2016, 54 pages

The purpose of this study is to compare the measurement performances of coordinate measuring machine (CMM) and of optical scanning device in order to obtain three dimensional surface scan data. For this purpose, within this study optical scanning device and CMM devices commonly used in industrial practices were chosen. DEA global 07.10.07 is used as CMM device and ATOS II is used as optical scanning device. First of all, technical drawing of a reference sample on which measurement would be performed was prepared. Aluminum 6061 which is generally used in aviation and defense industries, was chosen for the production of reference measurement component. The reference sample is produced by a CNC lathe. After the production process, the dimensional features specified in the technical drawing were measured by the CMM and optical scanning device. When the results of measurement are compared, it is detected that the CMM device gives measurements

as close as to the nominal values. It is realized that the deviation from the nominal values were about under 100 μm for the two devices. Furthermore, it is observed that while the CMM device is capable of more precise measurement optical scanning device gives more visual reports.

Key Word : CMM, optical scanning, dimensional measurement.

Science Code : 703.3.028



TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ'ye sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Araőtırmanın deneysel çalışmalarında bana yardımcı olan değerli arkadaşlarım Ahmet AK, İbrahim KANBUR ve Mustafa YİğİT'e teőekkürü bir borç bilirim.

Son olarak maddi-manevi her konuda bana destek olan sevgili eşime sevgi ve őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	2
ÖLÇME VE İMALAT.....	2
2.1. ÖLÇME BİLİMİ	2
2.2. ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE İMALAT İLİŞKİSİ	3
BÖLÜM 3	5
KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZI (CMM)	5
3.1. KOORDİNAT ÖLÇME TEKNİĞİ.....	5
3.2. CMM CİHAZININ AVANTAJLARI.....	6
3.3. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZI ÇEŞİTLERİ.....	7
3.3.1. Köprü Tipi CMM Cihazı	7
3.3.2. Dört Kolonlu Tip CMM Cihazı	7
3.3.3. Dirsek Tip CMM Cihazı.....	8
3.3.4. Yatay Kol Tip CMM Cihazı	9
3.4. CMM CİHAZLARINDA KULLANILAN PROB SİSTEMLERİ	10
3.4.1. Temas İle Çalışan Prob Sistemleri.....	10

	<u>Sayfa</u>
3.4.2. Optik Prob Sistemleri	11
3.5. KOORDİNAT ÖLÇME TEKNİĞİ UYGULAMALARI	11
BÖLÜM 4	13
OPTİK TARAMA CİHAZI	13
4.1. OPTİK TARAMA CİHAZLARININ SINIFLANDIRILMASI	13
4.1.1. Uçuş Süresi Tabanlı Tarama Sistemleri	14
4.1.2. Üçgenleme Tabanlı Tarama Sistemleri	14
4.1.3. Siluet Tabanlı Tarama Sistemleri	14
4.1.4. Stereo Tabanlı Tarama Sistemleri	15
4.1.5. Gölge Tabanlı Tarama Sistemleri	15
4.2. OPTİK TARAMA SİSTEMLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ	15
4.2.1. Fotogrametri Çalışma Prensibi	16
4.2.2. Topogrametri Çalışma Prensibi	17
4.3. OPTİK TARAMA SİSTEMLERİ UYGULAMALARI	17
BÖLÜM 5	19
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	19
BÖLÜM 6	25
MALZEME VE METOT	25
6.1. NUMUNENİN TEKNİK RESMİNİN VE MODELİNİN BELİRLENMESİ	25
6.2. HAM MALZEMEYE TALAŞLI İMALAT İŞLEMİ UYGULANMASI	26
6.3. NUMUNENİN KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZI İLE ÖLÇÜMÜ	28
6.4. DENEY NUMUNESİNİN OPTİK TARAMA CİHAZI İLE ÖLÇÜMÜ	32
BÖLÜM 7	36
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	36
7.1. DENEYLERDE TESPİT EDİLEN DURUMLARIN DEĞERLENDİRMESİ	41

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 8	44
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	44
8.1. SONUÇLAR	44
8.2. ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR	46
EK AÇIKLAMALAR A. RAPIDFORM XOV YAZILIMI UYGULAMA GÖRÜNTÜLERİ	49
EK AÇIKLAMALAR B. CMM CİHAZI UYGULAMA GÖRÜNTÜSÜ	52
ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Tutankhamon dönemi ölçü cetveli	3
Şekil 2.2. İmalat ve ölçüm prosesleri akışı.....	5
Şekil 3.1. Köprü tip CMM cihazı	8
Şekil 3.2. DEA dört kolonlu tip CMM cihazı	9
Şekil 3.3. Hexagon dirsek tip CMM cihazı	10
Şekil 3.4. DEA ikili yatay kol tip CMM cihazı.....	11
Şekil 3.5. Renishaw prob tipleri	12
Şekil 4.1. Lazer tracker çeşitleri.....	15
Şekil 4.2. Siluet tabanlı çalışma örneği	16
Şekil 4.3. Örnek fotogrametri çalışması	17
Şekil 4.4. Örnek topogrametri çalışması	18
Şekil 6.1. Ölçüm numunesinin teknik resmi	27
Şekil 6.2. Ham malzemenin universal tornada işlenmesi.....	27
Şekil 6.3. Ham malzemenin CNC tornada işlenmesi	28
Şekil 6.4. Deney numunesinin CNC Tornada bitmiş hali	29
Şekil 6.5. DEA GLOBAL CLASSIC CMM cihazı.....	30
Şekil 6.6. Prob kalibrasyonu.....	31
Şekil 6.7. Ölçüm unsurlarının oluşturulması.....	31
Şekil 6.8. Teknik resimdeki ölçülerin numaralandırılması	32
Şekil 6.9. Ölçü sorgulamaları	32
Şekil 6.10. ATOS GOM II Optik Tarama Cihazı.....	33
Şekil 6.11. Deney numunesine yapılan marker ve sprej işlemi.....	34
Şekil 6.12. Ölçüm numunesine optik tarama uygulanması	35
Şekil 6.13. Optik tarama ile deney numunesinde ölçü sorgulama	36
Şekil 7.1. Teknik resimdeki ölçülerin numaralandırılması	38
Şekil 7.2. Ölçüm yöntemleri arasındaki farklar	40
Şekil 7.3. Cihazlarda görülen uzunluk ölçüm farkları.....	41
Şekil 7.4. Cihazlarda görülen çap ölçüm farkları	41

	<u>Sayfa</u>
Şekil 7.5. Cihazlarda görülen GD&T ölçüm farkları	42
Şekil Ek A.1.Yazılıma yüklenen katı model	51
Şekil Ek A.2.Yazılıma yüklenen tarama datası.....	51
Şekil Ek A.3. Deney numunesi dış form çizgisi hataları	52
Şekil Ek A.4. Deney numunesi genel form hatası	52
Şekil Ek B.1. Deney numunesi CMM cihazı ölçümü	54



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 6.1. CNC torna tezgahı teknik özellikleri	28
Çizelge 6.2. CMM cihazı teknik özellikleri	29
Çizelge 6.3. Optik tarama cihazı teknik özellikleri.....	33
Çizelge 7.1. CMM cihazı ölçüm sonuçları	37
Çizelge 7.2. Optik tarama ölçüm sonuçları.....	38
Çizelge 7.3. CMM ve optik tarama cihazlarıyla elde edilen değerlerin karşılaştırılması	39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- Ø : çap
n : devir sayısı
a : ivme
L : numune boyu
R : yarıçap

KISALTMALAR

- 3D : Three Dimensional (Üç Boyutlu)
CAD : Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CMM : Coordinate Measuring Machines (Koordinat Ölçme Cihazı)
CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
CT : Computed Tomography (Bilgisayarlı Tomografi)
DEA : Digital Electronic Automation Spa
GD&T : Geometric Dimensioning and Tolerancing (Geometrik Ölçülendirme ve Toleranslandırma)
IGES : Initial Graphics Exchange Specification (İlk Grafik Değişimi Özelliği)
MPE : Maximum Permissible Error (İzin Verilebilir Maksimum Hata)
STL : Standard Triangle Language (Standart Üçgenleme Dili)
TOF : Time of Flight (Uçuş Zamanı)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Metroloji ölçme bilimi anlamına gelmekte olup, bütün ölçme sistemlerindeki birimleri tanımlar. Uzunluk ölçümü metroloji biliminin bir konusudur. Uzunluk ölçümü başlığı altında tarih boyunca birçok ölçüm aleti ve ölçüm yöntemi icat edilmiş olup ihtiyaçları karşılamak üzere kullanılmıştır. Koordinat ölçüm metodu, günümüzde yaygın olarak kullanılan ölçüm yöntemlerinden biridir.

Koordinat ölçüm metodunun icat edilmesi ve koordinat ölçüm cihazlarının üretilmesi, sanayi uygulamalarının gelişmesi neticesinde olmuştur. Şehirleşme ile beraber gelişen üretim ihtiyacı ve sürekli hızlanan üretim proseslerine çözüm üretemeyen ölçüm sistemlerinin yetersiz kalması nedeniyle, tek seferde bir çok ölçüm yapabilen, daha hızlı ve yüksek hassasiyetle çalışan koordinat ölçüm cihazı geliştirilmiştir.

İlk koordinat ölçüm cihazları örnekleri 1960'larda ortaya çıkmaya başlamıştır. DEA (Digital Electronic Automation, İtalya) firması Portal CMM cihazını geliştirilmiş ve aynı zaman dilimi içinde de Ferranti Ltd. (İskoçya) tarafından ilk konsollu doğrudan bilgisayar bağlantılı koordinat ölçüm cihazı tanıtılmıştır.

Devam eden süreçte de yukarıda bahsedilen sürekli değişen ve gelişen ölçüm ihtiyaçlarına farklı bir konsept ile hizmet eden optik tarama cihazları da kullanılmaya başlanmıştır. Bu cihazların kullanımı ile laboratuvar ortamında yapılan hassas ölçüm faaliyetleri, optik tarama cihazlarının taşınabilirlik özelliği sayesinde saha uygulamalarına taşınmıştır [1].

Bu tez çalışmasında ölçüm ve tersine mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan koordinat ölçüm cihazı ve optik tarama cihazının aynı iş parçasının

ölçümünde ortaya çıkan farklılıklarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Her iki cihazla yapılan deney numunesi ölçüm sonuçlarındaki farklılıklar ve deney çalışmasında cihazların kullanımında karşılaşılan durumların tespit ile CMM cihazı ve optik tarama cihazı kullanıcılarına yol gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla CMM cihazı ve optik tarama cihazı ile deney numunesinde bulunan önceden belirlenmiş yüzey uzunlukları, çap, radyus, açı, diklik, silindiriklik, eş merkezlik, toplam salgı ve yüzey profili ölçüleri ölçülmüştür.



BÖLÜM 2

ÖLÇME VE İMALAT

2.1. ÖLÇME BİLİMİ

Ölçme, herhangi bir olgunun belirli bir birim cinsinden hesaplanmasıdır. Başka bir deyişle, birim olarak adlandırılan ve belirli olan bir değerle, aynı cinsten belirli olmayan bir değeri kıyaslamaya ölçme denir. İnsan, tarih boyunca çevresinde gerçekleşen olayları anlamaya çalışmıştır. Çevremize gözlemlediğimiz bir çok parametre değişkendir. Bilim insanları olayları inceleyerek, olayların sebebi olan değişkenleri anlamaya çalışmışlardır. Bu incelemelerin odağında, hayatımızın önemli bir parçası olan ölçme bulunmuştur. Araştırma ve geliştirme faaliyetleri ölçme sayesinde anlamlı hale gelir.

Ölçüm için, tespit edilmek istenen bir değer, o değerle ilgili belirli bir standart birim ve bir ölçüm aleti olmalıdır. Tarih boyunca ilk önce piramitler yapılırken, kullanılacak ölçüm aletlerine ve bu aletlerin kullanımı ile ilgili olarak ölçüm standartları gerekli olmuştur (Şekil 2.1). Tarımsal faaliyetlerin başlaması ve tarım arazilerinin paylaşılmasıyla ölçüm standartları daha yaygın hale gelmiştir. Ölçüm teknolojisindeki gelişmelerle birlikte seri imalat önem kazanmıştır.



Şekil 2.1. Tutankhamon dönemi ölçü cetveli [2].

2.2. ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE İMALAT İLİŞKİSİ

Çağdaş, ucuz ve hızlı imalatın en temel kriterlerinden bir tanesi değiştirilebilirlik özelliğine sahip olmasıdır. Değiştirilebilirlik özelliğine sahip imalat metodunda, imalat unsurları ve kabilelerinin birbirlerinden ayrı olarak imal edilmeleri temel alınmaktadır. İmalat işleminden sonra farklı proseslere gerek kalmaksızın aynı üst bütünde kullanılacak olan imalat parçalarının bütünlenebilmeleri sağlanmaktadır. İmalat yönteminin sorunsuz bir biçimde işletilmesi ancak imalat yöntemleri ve imalat parçaları için belirli düzenlemeler ve kriterlerin belirlenmesi ile mümkün olmaktadır.

İmal edilen unsur veya makine işlevlerinin istenen şekilde olması için belirlenen kriterlerin gerçekleştirilmesi takip ve kontrol edilmelidir. Bu takip ve kontrol ihtiyaçları, ölçüm yöntemi, imalat ölçüm yöntemi aletleri ve usulleri ile yerine getirilir. Bu yüzden ölçüm yöntemi ve değiştirilebilirlik arasında sıkı bir ilişki ve karşılıklı bağımlılık bulunmaktadır.

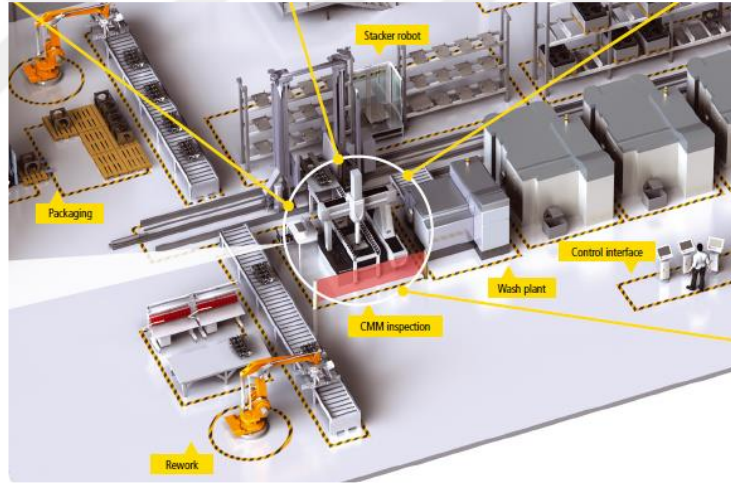
Teknik sorunların çözümünde de ölçüm yönteminden faydalanılır. Teorik varsayımlar ihtiyaç duyulan inceleme ve deneyler yapılarak ölçüm yöntemi ile anlamlandırılır. Sanayinin her bölümünde çalışma yapan mühendislik branşlarının, branşları ile ilgili belirlenmiş ölçüm yöntemleri bulunmaktadır. Özdeş branşlarda belirlenen ölçüm yöntemi standardizasyonu ile, üretim yöntemlerini geliştirerek üretimi hızlandırmak, toplam kalite artışı sağlamak ve işletme giderlerini azaltmak mümkün olmaktadır. Standardizasyon ile üretim proseslerinde görev alan tüm paydaşlar ve kurumlar arasında olan etkileşimde de iyileşme sağlanır. Örneğin, tasarımcı, üretim mühendisi, takım ve mastar imalatçısı, kalite kontrol uzmanı ve diğerleri standart ölçüm yöntemi ve ölçüm aletleri ile çalışmak mecburiyetindedirler.

Sanayi uygulamalarında standartlaştırılmış ölçüm yöntemlerinin ve ölçüm aletlerinin kullanılmasının başlıca sebepleri;

- Tasarım, üretim ve kalite kontrol ekipleri ve firmalar arasında olan iletişimi güçlendirilmek ve müşterek bir dil kullanmak

- İmalatın her aşamasındaki prosesleri uygulayanlar arasında üretim etkinliği ve kabul edilebilirliği sağlamak
- Uygun ölçülerdeki ham/yarı mamüller imalata yönlendirilirken, hurda ürünü engellenmek
- İmal edilen ürünlerin ölçü kontrollerini temel düzeyde gerçekleştirmek
- Uluslararası düzeyde, yapılan üretimlerin kabul edilebilirliğini sağlamaktır [3].

Ayrıca ölçüm sistemlerinin üretim hatlarına entegrasyonu ile üretim hattı iş akışı devam ederken ölçüm prosesleri de eş zamanlı olarak gerçekleştirilir. Otomatik olarak ölçülen parçalar kabul ya da ret durumuna göre değerlendirilmekte ve parçaların akışı kullanım durumlarına göre anında değiştirilmektedir. Uygun olan parçalar üretim sisteminde akışlarına devam etmekte, ret edilen parçalar tekrar düzeltilmek üzere ilgili istasyonlara geri gönderilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. İmalat ve ölçüm prosesleri akışı [4].

BÖLÜM 3

KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZI (CMM)

3.1. KOORDİNAT ÖLÇME TEKNİĞİ

CNC üretim makinalarının 1950'li yıllarda başlayan hızlı ilerlemelerinden bugüne kadar geçen süreçte, otomatik imalatta önemli gelişmeler olmuştur. Bu ilerlemeler ile kompleks ürünler, yüksek bir doğruluk ve daha düşük maliyetler ile imal edilebilir hale gelmiştir.

Koordinat ölçme tekniğinin gelişimi, 1970'lerin ilk dönemlerinde görülmüştür. Bu tarihten kısa bir süre öncesine kadar koordinat ölçme cihazları yalnızca laboratuvarlarda kısıtlı olarak kullanılmıştır. Günümüzde, koordinat ölçme cihazları modern imalat teknolojisinin en önemli bileşenlerinden birisi haline gelmiştir. Koordinat ölçme cihazları, modern üretim ihtiyaçları sebebiyle doğrudan üretime entegre edilmek suretiyle, modern üretim sistemlerinin kontrol basamaklarında rol oynamaktadır. Koordinat ölçme cihazları boyut, şekil ve yer sapmalarını yüksek doğruluk ile aynı sistemde ölçebilen cihazlardır. Üretilecek parçanın hassasiyeti, parça adeti ve ölçüm belirsizliği, ölçme sistemi tercihinde önemli kriterlerdir. CMM cihazının çalışma prensibi aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Parçaların ölçülecek unsurları, koordinat ölçüm cihazında farklı yerlerden noktalar alınarak veya yüzey taraması yapılarak oluşturulur.
- Parçaların geometrik unsurlarının matematiksel hesaplanmaları, parça üzerinden alınan koordinat bilgileri ile koordinat ölçüm cihazının işlemcisi tarafından yapılır.
- Ölçme noktalarının geometrik olarak oluşturulacak unsur için gerekli asgari sayıdan fazla olması halinde ölçüm sonuçlarının hesaplanması için değişik filtreleme metotları kullanılır.

- Ölçümü yapılan unsurların boyut değerleri, şekil sapmaları ve geometrik elemanların arasındaki konum sapmaları koordinat ölçme tekniği ile elde edilir [5].

3.2. CMM CİHAZININ AVANTAJLARI

CMM cihazlarının, konvansiyonel ölçüm uygulamalarına göre gelişmiş ölçüm sistemleri oldukları için çok fazla üstünlükleri vardır. Farklı konvansiyonel ölçüm cihazları ve yöntemlerinin ölçüm özelliklerini tek başlarına karşılayabilirler. CMM cihazlarının konvansiyonel sistemlere göre avantajları aşağıdakiler gibidir:

- Çok yönlü çalışabilme: CMM cihazı konvansiyonel ölçüm sistemlerinin ve koordinat ölçüm yönteminin birleşimi olarak ortaya çıkmış bir çözümdür. Değişik geometrilerin, formların, hassas ölçülerin kontrollerini yapabilir.
- Eksenel hizalama kolaylığı: Konvansiyonel ölçüm sistemlerinde parça ile ölçüm sisteminin eksenel hizalaması ciddi zaman ve gerekli durumlarda fikstürleme gerektirmektedir. CMM cihazı parça ile cihaz eksen sistemini otomatik ayarladığı için kurulum süresinde ciddi avantaj sağlar.
- Parça bağlama sıklığı: Ölçü parçası CMM cihazı üzerine bir kere yerleştirildiğinde cihaz, parçanın değişik eksen ve yüzeylerinde otomatik olarak çalıştığı için her bir parça yüzeyinde referanslandırma gerekliliği bulunmamaktadır.
- Yüksek tekrar edilebilirlik ve doğruluk: CMM cihazları otomatik olarak çalıştığı için ölçü aleti kaynaklı hataları en aza indirmektedir. Bu sayede tekrar ölçümlerinde yüksek doğruluk ve tekrar edilebilirlik sağlar.
- Azaltılmış operatör etkisi: CMM cihazı otomatik çalıştığı için operatörün ölçüm cihazı üzerindeki kişisel beceri ve el hissiyatını ortadan kaldırır. Bu sayede operatör kaynaklı hatalar engellenir. Ayrıca otomatik raporlama ve veri saklama özelliği ile data kaybını engellenir.
- Maksimum verimlilik: CMM cihazı otomatik olarak çalıştığı ve raporlama yaptığı için kullanıcı kaynaklı gecikmeler yaşanmamakta ve verimlilik artışı sağlamaktadır [6].

3.3. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZI ÇEŞİTLERİ

CMM cihazlarının farklı çeşitleri bulunmaktadır. Bu cihaz çeşitliliğindeki temel etken cihazların kullanım ihtiyaçlarıdır. Hassasiyet, ölçüm parçasının boyutu, ölçülmesi istenen özellikler, cihazın nerede ve hangi koşullarda kullanılacağı, ölçüm süresi ve maliyet cihaz seçimi yapılırken dikkate alınması gereken kriterlerdir. CMM cihazları genel olarak gövde tiplerine göre sınıflandırılırlar.

3.3.1. Köprü Tipi CMM Cihazı

Köprü tipi CMM cihazları en yaygın olarak kullanılan CMM cihazlarıdır. Granit pleyt üstüne oturtulmuş modeller mevcuttur. Granit yüzey üzerinde iki tane dikey yönde kolon bulunmaktadır. Bu kolonlar köprü diye tabir edilen kısmı taşımaktadır. Köprü ise dikey yönde hareket eden ölçüm sistemini taşıyan Z eksen kolonunu taşımaktadır. Her türde parçanın ölçümü için kullanılabilen cihazlardır. Şekil 3.1’de köprü tipi CMM cihazı gösterilmektedir [7].



Şekil 3.1. Köprü Tip CMM cihazı [7].

3.3.2. Dört Kolonlu Tip CMM Cihazı

Dört Kolonlu tip CMM cihazları uçak, tren, türbin gibi büyük ve ağır parçaların ölçümlerinde kullanılan CMM cihazlardır. Genellikle dört kolonlu tip CMM

cihazlarında cihaz ortasında pleyt bulunmaz. Ölçüm parçası cihaz ortasına kızak ya da taşıyıcı araba sistemleri ile yerleştirilir. İsminden de anlaşılacağı üzere 4 tane sabit kolon üzerine yerleştirilmiş kızaklarda hareket eden köprü yapısına sahiptir. Tahrik her iki kızak yapısı üzerinde olmaktadır. Cihaz merkez hacminde pleyt olmadığı için maksimum ölçüm hacmi sağlar. Diğer CMM yapılarına göre kompleks yapısı bulunmaktadır. Şekil 3.2’de dört kolonlu tip CMM cihazı gösterilmektedir [8].



Şekil 3.2. DEA dört kolonlu tip CMM cihazı [8].

3.3.3. Dirsek Tip CMM Cihazı

Dirsek tip CMM cihazları genellikle atölye ve üretim hatlarında kullanılan ölçüm cihazlarıdır. Dirsek tip CMM cihazları pleyt üzerinde dikey yönde bir kolon ve kolona monte edilmiş bir kol içermektedir. Ölçüm uçları kol üzerinde hareket ederek ölçüm yaparlar. Gövde yapısı açık olduğu için ölçüm parçasını cihaza yükleme, parçaya erişim avantajı sağlayan cihazlardır. Üretim aşama kontrolleri, prototip kontrolleri gibi atölye çalışmaları için uygun cihazlardır. Şekil 3.3’de dirsek tip CMM cihazı gösterilmektedir [9].



Şekil 3.3. Hexagon dirsek tip CMM cihazı [9].

3.3.4. Yatay Kol Tip CMM Cihazı

Yatay kol tip CMM cihazları dikey yönde bulunan bir kolona monte edilen kol üzerinde bulunan ölçüm probu sayesinde ölçüm yapmaktadır. Cihaz kolon üzerinde dikey yönde ve kol üzerinde yatay yönde hareket etmektedir. Yatay kol tipi CMM cihazları otomasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Cihaz geometrisindeki avantaj sayesinde üretim hatlarına monte edilebilmektedir. Büyük ölçüm numunelerinin tek yönden yapılan kontrollerinde tercih edilmektedir. İki kol birbirine karşılıklı monte edilerek kullanılan çeşitleri bulunmaktadır. Şekil 3.4'te yatay kol tip CMM cihazı gösterilmektedir [10].



Şekil 3.4. DEA ikili yatay kol tip CMM cihazı [10].

3.4. CMM CİHAZLARINDA KULLANILAN PROB SİSTEMLERİ

Koordinat ölçme cihazlarında geometrik unsurları ve ölçüm yüzeylerini tanımlamak için noktalar gereklidir. Bu gerekli olan noktaları koordinat ölçüm cihazı prob sistemleri ile elde etmektedir. Prob sistemleri temel olarak temaslı ve temassız ölçüm problemleri olarak ayrılmaktadır.

3.4.1. Temas İle Çalışan Prob Sistemleri

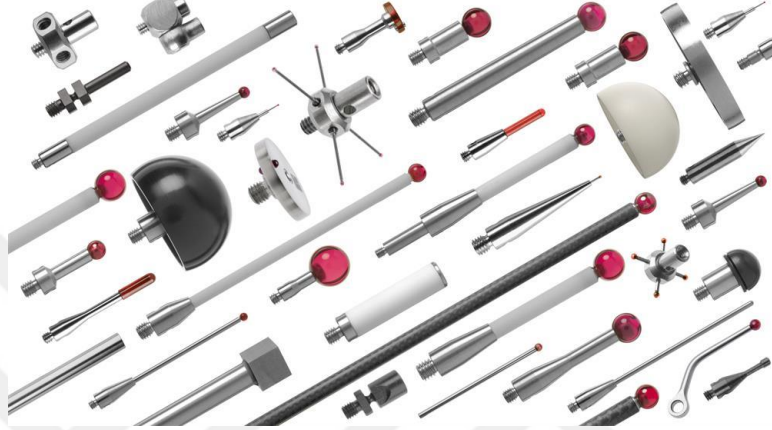
Ölçüm elemanlarının oluşturulabilmesi için gerekli olan noktalar, temas ile çalışan prob sistemlerinde probun numune yüzeyine dokunması ile temin edilir. Bu şekilde prob vasıtası ile numune ve cihaz arasında etkileşim sağlanmış olur. Genellikle şekil olarak küresel problemler kullanılmaktadır. Küresel problemlerin kullanım nedeni merkez noktası ile temas noktası arasında her zaman mesafenin yarı çap kadar ve her yönde eşit mesafede olmasıdır.

Ölçüm cihazlarında kullanılmak üzere çok çeşitli problemler bulunmaktadır. Problemler ölçüm ucu tipine göre küre, yarı küre, silindir, iğne, disk gibi şekillerde olabilmektedir. Ayrıca farklı çaplarda ve boylarda çeşitleri mevcuttur (Şekil 3.5). Temas ile çalışan prob sistemlerinde iki çeşit dokunma yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemler dokunma tetiklemeli çalışma ve sürekli temas taraması şeklinde çalışmalardır.

Dokunma tetiklemeli nokta alma yönteminde prob parça yüzeyine her bir nokta alma işleminde dokunmakta ve sonra yüzeyden ayrılarak uzaklaşmakta, yeni bir nokta almak için yüzeye tekrar dokunmaktadır. Probun her teması bir nokta için kullanılmaktadır. Bu şekilde prob tekrarlı olarak yüzeye temas etmekte ve yüzeyden uzaklaşmaktadır. Kontrol ünitesi vasıtası ile alınan nokta bilgileri CMM yazılımına iletilmekte ve yazılımda gerekli matematiksel işlemler yapılarak gerekli geometrik hesaplamalar yapılmaktadır.

Sürekli temas taraması işleminde ise prob parça yüzeyinde alınacak ilk noktaya temas etmekte, daha sonra yüzeyden ayrılmadan son alınacak olan noktaya kadar

sürekli olarak ölçüm yüzeyine temas ederek yüzey boyunca hareket etmektedir. Sürekli temas işlemi kontrol ünitesi tarafından her yönde sabit yük uygulanarak yapılmaktadır. Yazılım vasıtası ile ilerleme rotası belirlenebilmektedir. Aynı zamanda temas yüzeyi boyunca alınacak temas noktası sayısı filtrelenmekte ve belirli aralıklarla nokta alınması sağlanmaktadır [11].



Şekil 3.5. Renishaw prob tipleri [11].

3.4.2. Optik Prob Sistemleri

CMM cihazlarında kullanılan bir diğer prob sistemleri optik tarama yapabilen prob sistemleridir. Optik prob sistemleri CMM cihazlarının prob kısmına monte edilerek kullanılmaktadır. CMM cihazlarında optik prob sistemleri yumuşak, boyalı, kaplamalı ve elastik gibi temas ile çalışma esnasında zarar görebilecek numunelerin kullanımında tercih edilmektedir. Ayrıca tersine mühendislik gibi yoğun yüzey datası ve yüzey analizi ihtiyacı olan çalışmalarda optik prob sistemleri tercih edilmektedir [11].

3.5. KOORDİNAT ÖLÇME TEKNİĞİ UYGULAMALARI

Koordinat ölçüm cihazları yüksek hassasiyet ile ölçüm gerçekleştiren sistemleridir. İlk örneklerinde operatör tarafından manuel olarak kullanılan koordinat ölçüm cihazları gelişen teknoloji ile beraber programlanabilir ve otomatik olarak çalışabilir

hale gelmişlerdir. Koordinat ölçüm cihazlarında yapılan ölçüm işlemlerinde izlenecek işlem basamakları ana hatlarıyla aşağıdakiler gibidir:

- Koordinat ölçüm cihazında yapılacak ölçüm işleminde numune üzerinde yapılması gereken işlemler belirlenir.
- Yapılacak işlemleri karşılayacak şekilde numune CMM cihazına bağlanır.
- Numune ile ilgili varsa katı model cihaz yazılımına yüklenir.
- Kullanılacak problemler belirlenir ve gerekli ise kalibrasyonları yapılır.
- CMM cihazı ile numune referans sisteminin aynı olması için referans elemanlar parça üzerinden alınarak cihaz eksenine ile parça eksenine eşitlenir.
- Referanslar eşitlendikten sonra numune üzerinden gerekli geometrik elemanlar alınır.
- Geometrik elemanlar alındıktan sonra kaynak belgede istenen ölçüm işlemleri yapılarak raporlama sağlanır.
- Aynı tip numunenin farklı bir örneği ölçülecek ise yeni numune tezgaha bağlanarak ölçüme devam edilir [12].

BÖLÜM 4

OPTİK TARAMA CİHAZI

Optik tarama cihazı belirli bir yüzeyi tarayarak yüzeye ilgili bilgi toplamaktadır. Toplanan bilgi nokta bulutu şeklindedir. Bu elde edilen nokta bulutu, taraması yapılan yüzey hakkında yorum yapılabilmemizi sağlar. Tarama işleminden sonra kullanılan data ile numunenin geometrik özelliklerini tespit ve kontrol edebiliriz. Ayrıca elde edilen nokta bulutu ile numunenin üç boyutlu modeli oluşturulabilmektedir. Elde edilen modeller sayesinde, boyutsal kalite kontrol, analiz ve simülasyon gibi uygulamalar yapılabilmektedir. Üretim aşamalarında tarama cihazları tıpkı CMM cihazları gibi kullanılmaktadır. Üretilen parçaların ölçümleri kullanıcılar ve üretim hattına entegre edilen optik tarama sistemleri ile yapılmaktadır. Tarama cihazlarının üretim faaliyetlerinde kullanılmalarına ilave olarak teknolojik ilerlemelerle birçok sektörde kullanılmalarına devam edilmektedir. Tarihi eserlerin ve tarihi yapıların ölçüm ve modelleme çalışmalarında tarama cihazları yoğun olarak kullanılmaktadır. Bir diğer kullanım yerleri film ve video oyunu gibi eğlence sektörüdür. Oyuncuların tarama dataları oluşturulmakta ve bu datalar ile efekt çalışmaları yapılmaktadır. Özellikle son dönemde üç boyutlu yazıcıların yaygınlaşması ile optik tarama sistemlerinin önemi artmaktadır [13].

4.1. OPTİK TARAMA CİHAZLARININ SINIFLANDIRILMASI

Optik tarama sistemleri farklı çalışma prensiplerine göre sınıflandırılabilirler. Sistemler temel düzeyde aktif tarama sistemleri ve pasif tarama sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Aktif tarama sistemleri tarama esnasında cisim üzerine yansıtılmak üzere bir ışık kaynağı kullanan sistemlerdir. Pasif tarama sistemleri ise tarama esnasında ortamın ışığını kullanarak çalışan sistemlerdir. Ayrıca uçuş süresi tabanlı, üçgenleme tabanlı, stereo tabanlı, silüet tabanlı ve gölgeleme tabanlı sistemler olarak sınıflandırmaları da yapılabilir [14].

4.1.1. Uçuş Süresi Tabanlı Tarama Sistemleri

Uçuş süresi tabanlı tarama sistemleri genellikle lazer ışını ile çalışan aktif tarama sistemleridir. Yüzeyin üzerine yansıtılan lazer ışınının cihazdan çıkışından itibaren geri gelişine kadar geçen süreyi ölçerek uzunluk bilgisine çeviren sistemlerdir. Gidiş geliş süresinin yarısı cisim ile lazer kaynağı arasındaki uzaklıktır. Şekil 4.1’de gösterilen lazer tracker bu sistemlere güzel bir örnektir [14].



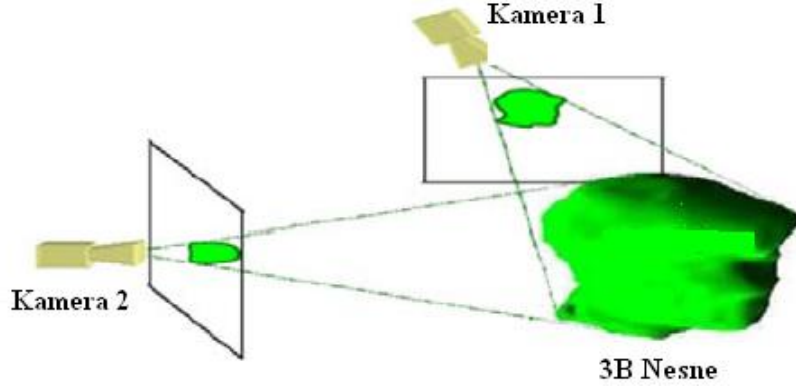
Şekil 4.1. Lazer tracker çeşitleri [15].

4.1.2. Üçgenleme Tabanlı Tarama Sistemleri

Üçgenleme tabanlı tarama sistemleri de lazer ışını kullanan aktif tarama sistemleridir. Üçgenleme tabanlı tarama sistemlerinde lazer ışını bir kaynaktan gönderilip cisim üzerinde bulunduğu nokta farklı bir okuyucu tarafından tespit edilerek değerlendirme yapan sistemlerdir. Tarama sisteminde lazer ışın kaynağı, lazerin cisim üzerine düştüğü nokta ve okuyucu arasında bir üçgen oluşmaktadır. Bu üçgene bağlı olarak cismin mesafe algılaması yapılmaktadır [14].

4.1.3. Siluet Tabanlı Tarama Sistemleri

Siluet tabanlı tarama sisteminde tarama yapılacak cismin fotoğrafları değişik bakış yönlerinden çekilir. Pozlardaki siluet sınırı dışında kalan arka plan detayları temizlenir. Temizleme işleminden geri kalan bilgilerle dış yüzey silüetleri oluşturulur. Bu silüetler birleştirilerek cismin modelinin elde edilmesi sağlanır (Şekil 4.2). Bu sistemde cismin arka plandan ayrılması siluet oluşumunda kritiktir [16].



Şekil 4.2. Siluet tabanlı çalışma örneği [16].

4.1.4. Stereo Tabanlı Tarama Sistemleri

Stereo tabanlı tarama sistemlerinde çift kamera kullanılarak 3 boyutlu data elde edilmesi üzerine çalışan sistemlerdir. Yakın cisimlerin büyük, parlak, uzak cisimlerin küçük ve mat görünmesi gibi detayları tespit ederek görüntüye derinlik kazandıran sistemlerdir. Aynı cismin iki kamera ile elde edilen bilgileri derinlik algısı ile harmanlanarak cismin modelinin oluşması sağlanır [17].

4.1.5. Gölge Tabanlı Tarama Sistemleri

Gölge tabanlı tarama sistemleri cisimlerin yüzeyleri üzerinde gölgelendirme esnasında parlaklıklarında meydana gelen değişimi algılayarak çalışan sistemlerdir. Parlaklık değişimine bağlı olarak cisimlerin yüzeylerinde değişik parlaklığa sahip bölgeler sistem tarafından algı olarak derinlik, mesafe ve şekil bilgisi hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Bilgiler kullanılarak cismin model oluşumu sağlanır [17].

4.2. OPTİK TARAMA SİSTEMLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Optik tarama sistemleri cisimlerin dış formunu oluşturan yüzeyleri tespit etmek için kullanılan ölçüm sistemleridir. Optik tarama sistemleri cismin farklı konumlardan resimlerini çekerek bu resimleri birleştirip tarama datasını elde etmeyi sağlarlar. Bu işlemleri yaparken temel olarak iki farklı disipline uygun olarak çalışırlar. Bu disiplinlerin tanımlanması ile optik tarama sistemlerinin sınıflandırılması yapılabilir.

Fotogrametri ve topogrametri optik tarama sistemlerini sınıflandırabileceğimiz çalışma disiplinleridir [18].

4.2.1. Fotogrametri Çalışma Prensibi

Genellikle büyük cisimlerin optik taraması için kullanılan fotogrametri ile yapılan optik tarama işlemlerinde dijital kameralı sistemler kullanılmaktadır. Bu prensipte cisimlerin üzerine marker olarak adlandırılan ve önceden sisteme tanıtılmış işaretler yerleştirilir. Ayrıca ölçeklendirmeyi sağlamak için cismin uygun yerlerine kalibrasyonlu barlar yerleştirilir. Daha sonra farklı açılardan cismin pozları çekilmektedir. Bilgisayar programı vasıtasıyla çekilen pozlardaki markerların bilgileri işlenir. Bilgilerin işlenmesi aşamasında markerlardan elde edilen koordinat dataları ile nokta bulutu verisi elde edilmiş olur. Ayrıca büyük cisimlerin tarama işlemleri topogrametri yöntemi ile yapılmasının gerekli olduğunda ilk önce cisme fotogrametri yöntemi uygulanarak nokta bulutu elde edilir. Daha sonra bu nokta bulutu bilgisi topogrametri işleminde kullanılır. Topogrametri işleminde yapılan tarama dataları nokta bulutu ile birleştirilir. Yazılım her iki datayı kullanarak model datasının oluşturulmasını daha doğru bir biçimde yapmaktadır. Şekil 4.3'te örnek bir fotogrametri çalışması gösterilmiştir [18].



Şekil 4.3. Örnek fotogrametri çalışması [19].

4.2.2. Topogrametri Çalışma Prensibi

Hassas ve nispeten küçük parçaların ölçümünde yaygın olarak topogrametri prensibi ile çalışan optik tarama sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler projektör ve kamera ikilisinin beraber kullanımı ile çalışmaktadır. Tek kameralı ve çift kameralı çeşitleri bulunmaktadır. Konik bir görüş alanında ölçüm yapan sistemlerdir. Tek seferde elde edilecek hassasiyet veya ölçüm yüzeyi hacmini belirlemek için değişik görüş alanları kullanılmaktadır.

Cisimlerin üzerine projektör ile değişik şekillerde ışık düşürülür. Bu ışık ve gölgeler üzerinde meydana gelen kırılmalar kamera ile tespit edilir. Pozlar arası geçişi sağlamak için cismin üzerine marker yapıştırılmaktadır. Cihaz markerları tanımlandırır ve yeni pozlar arası geçişi tanımlı markerlar ile yapar. Bu sayede cismin yüzey bilgisi elde edilmiş olur. Yüzey bilgisi ile üç boyutlu model elde edilmiş olur. Şekil 4.4'te örnek bir topogrametri çalışması gösterilmiştir [20].



Şekil 4.4. Örnek topogrametri çalışması [21].

4.3. OPTİK TARAMA SİSTEMLERİ UYGULAMALARI

Optik tarama sistemleri esasında boyutsal ölçüm ve modelleme için kullanılmaktadır. Detaylı olarak kullanım amaçlarını değerlendirdiğimizde, mevcut hali ile teorik

durumun karşılaştırılması, teknik bilgisi bilinmeyen ürünlerin modellerinin oluşturulması, ürünlerde kullanım ve başka etkenlerle meydana gelen deformasyon ve farklılaşmanın belirlenmesi gibi sebeplerle kısaca mevcut ürünün model bilgisinin elde edilmesidir. Optik tarama sistemleri ile çalışırken izlenecek işlem basamakları ana hatlarıyla aşağıdakiler gibidir:

- Optik tarama cihazı ile yapılan çalışmalarda ilk önce elde edilmesi gereken yüzey ve özellikler tespit edilir.
- Yapılacak çalışmadaki tarama yöntemi belirlenir.
- Çok büyük numuneler ile çalışılacak ise ön işlem olarak numuneye fotogrametri işlemi yapılır.
- Yöntem belirlendikten sonra uygun olan lens sistemleri belirlenip gerekli ise kalibrasyonları yapılır.
- Numune üzerine pozlar arası geçişi sağlamak için marker uygulaması yapılır.
- Yüzeylerde parlama gibi istenmeyen durumların yaşanmaması için spreyleme işlemi gerçekleştirilir.
- Yüzey tarama işlemine başlanır. Alınan pozlar arasında cihazın markerları tanıyıp işlem yapmasına dikkat edilir.
- Çekim işlemleri bittikten sonra yüzey tekrar oluşturma işlemi ile data üzerinde temizlik yapılır.
- Son olarak istenen formatta data export edilerek işlem bitirilir [22].

BÖLÜM 5

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gapinski ve arkadaşları, CMM, optik tarayıcı ve bilgisayarlı tomografi (CT) kullanarak farklı ölçüm metotlarını karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada her üç cihazın da gerekli geometrileri genel olarak işleyebildikleri ve ölçebildiklerini görmüşlerdir. CT cihazının CMM cihazına göre avantajları, alınan ölçüm nokta sayısının daha fazla olması, tüm parça hacmini taradığı için CMM ile erişilemeyen numune içindeki iç yüzeylerde nokta alabilmesi olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı şekilde CT cihazının optik tarama cihazına göre iç kısımlarda bulunan unsurları almada ve küçük deliklerin iç derinliği gibi detaylarda daha iyi performans sergilediğini açıklamışlardır. CMM cihazının, optik tarama ve CT cihazına göre daha az nokta sayısı ile çalıştığı, diğer cihazların yüzey üzerinde nokta bulutu ile çalıştığı için daha fazla ölçüm noktası içerdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca yaptıkları çalışmada cihazlar arası farkların dahiliküre çaplarında 0,013 mm, en büyük farkın ise 0,05 mm olduğunu görmüşlerdir [23].

Brajlih ve arkadaşları, yaptıkları çalışma ile özellikle hassas tıbbi implant uygulamaları için optik tarama sistemlerinin yeterli olup olmadığını araştırmışlardır. Araştırmalarında koordinat ölçüm makinaları ile kıyaslandığında optik tarama cihazlarından daha yoğun veri elde edildiğini belirtmişlerdir. Deney yöntemi olarak referans blok ve masterların 10'ar kez optik tarama sistemi ile ölçümü yöntemini kullanmışlardır. Yapılan deney sonuçlarında 20 mm'lik blokta -7 μm ile +13 μm , 30 mm'lik blokta -6 μm ile +11 μm , 70 mm'lik blokta ise -16 μm ile +16 μm arası değişen ölçüm sapmaları olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları deneyde 20 mm'lik blokta 7,1 μm , 30 mm'lik blokta 5,9 μm , 70 mm'lik blokta ise 11,02 μm ortalama ölçü sapması olduğunu tespit etmişlerdir. Bu deney sonuçlarına göre optik tarama cihazının tıbbi implantlar için gerekli doğrulamalarda kullanılabileceğini belirtmişlerdir [24].

Morovič ve Pokorny, optik tarama ile küçük parçaların 3D sayısallaştırmasını ve sayısallaştırma işleminde ortaya çıkan sorunları ve çözüm yollarını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada klips, küresle uçlu parmak freeze, matkap ucu ve metal parayı numune olarak kullanmışlardır. Numunelerin optik tarama işleminde GOM ATOS TripleScan cihazını kullanmışlardır. Bu cihaz ile küçük numunelerde ideal ölçüm hacminin 38x29x15mm olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca tarama işlemi sonucu kesici takımlarda gerçekleşen aşınmanın optik tarama cihazı ile belirlenebildiğini belirtmişlerdir [25].

DeLong ve arkadaşları, diş hekimliğinde kullanılmak üzere optik tarama ile diş benzeri numuneler ile çalışma yapmışlardır. Optik tarama sistemi olarak Comet 100 optik tarama cihazı ile çalışmışlardır. Çalışmalarında referans olması için diş standartlarında, belirli ebatlarda onar adet numune kullanmışlardır. Yaptıkları deney çalışmasında elde edilen dataların daha anlamlı olması için maksimum ve minimum ölçüm değerleri yerine ortalama değerleri kullanmışlardır. Tarama modellerinin doğruluğu $0,024 \pm 0,002$ mm, mutlak farklılıkların % 99'u $0,081 \pm 0,007$ mm'den az olduğunu tespit etmişlerdir. Model doğruluğunun, ortalama diş hastasının okluzal hassasiyetine yakın olduğunu (0,02 mm) ve yaygın olarak kullanılan temas markalama filmlerinin kalınlığına eşit olduğunu belirtmişlerdir. Bilgisayar modellerinin doğruluğunun $0,013 \pm 0,003$ mm, $0,041 \pm 0,011$ mm içindeki mutlak farkların % 99'unun, temasları tanımlamak için kliniklerde kullanılan shimstock (0,012 mm) kalınlığına eşit olduğunu tespit etmişlerdir. Bu tespit edilen değerlerin diş kliniklerinde yeterli olduğunu açıklamışlardır. Ayrıca bu çalışmayı kontrollü laboratuvar ortamında yaptıklarını, diş kliniklerinde uygulamanın yapılması halinde ortam ve kullanıcı değişikliklerinden sistemin etkileneceğinin altını çizmişlerdir [26].

Berbercuma, üç boyutlu tarayıcılar ile tarama datalarının elde edilmesi ve daha sonra bu datalardan CAD ortamında tekrar modelleme üzerine araştırma yapmıştır. Çalışmasında detaylı olarak CMM ve optik tarama sistemlerinden bahsetmiş ve karşılaştırmalarını yaparak cihazların ortak ve öne çıkan özelliklerini belirtmiştir. Tarama ve modelleme işlemlerinde türbin çarkı parçasını kullanmıştır. Türbin çarkı parçasını ATOS I cihazı ile taramıştır. Tarama datası üzerinde yapılacak düzenleme işlemlerini belirtip daha sonra STL formatında data paketini UNIGRAPHICS NX

programı ile modelleyerek katı modeli oluşturmuştur. Bu işlem basamaklarından sonra 0,1 mm ila 0,05 mm arası çözünürlük, 0,01 mm ila 0,05 mm arası tolerans değeri elde etmiştir [27].

Martínez ve arkadaşları, yaptıkları araştırmada optik tarama sistemlerinin boyutsal toleransların ölçülmesi ve kontrolü için uygulanabilirliğini analiz etmişlerdir. Araştırmalarında koordinat ölçüm cihazına monte edilmiş lazer sensörü ve dokunma tetikleyici prob kullanmışlardır. Çeşitli geometrik unsurlar (düzlem, küre, silindir, delik ve koni) içeren test parçaları ile boyutsal ve geometrik özelliklerin karşılaştırılmasını yapmışlardır. Elde edilen yüzeylerde yeniden şekillendirme işlemi için CAD sistemlerinin değerlendirmesini yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada yüzey tarama ile elde edilen datadaki nokta dağılımının temaslı tarama ile elde edilen nokta sayısından daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Fazla nokta sayısının ilk izlenimde daha fazla doğruluk sağlayacağı değerlendirilmiş fakat hatalı noktalar nedeniyle ölçüm değerlerinin değiştiğini belirlemişlerdir. Yazılım kullanımı konusunda, CATIA yazılımının standart elemanlar oluştururken daha başarılı, GEOMAGIC yazılımının ise doğruluk seviyeleri, yüzey tekrar şekillendirme için hesap süresi, kullanım kolaylığı ve analiz gerektiren serbest formlu yüzeyler için daha uygun olduğunu değerlendirmişlerdir [28].

BAÇ, yapmış olduğu çalışmada üç boyutlu ölçüm yapabilen ölçüm cihazının tasarım ve imalat aşamalarını incelemiştir. Cihaz tasarımını yaparken ölçüm işleminin operatör tarafından yapılmasını baz alarak bu sayede sistemde eyleyici ihtiyacını ortadan kaldırmıştır. Cihaz tasarımını mekanik ve elektronik aksamlar olarak iki aşamada gerçekleştirmiştir. Yaptığı çalışma ile 8 kg ağırlığında ve 0,5 m yarıçapında ölçüm mesafesine sahip cihaz meydana getirmiştir. Sistemde tüm yük operatöre bindiğini ve bu nedenle dengeleme mekanizması ihtiyacı olduğunu tespit etmiştir. Tasarladığı sistemin 3 serbestlik derecesine sahip olduğu, fakat kolay kullanım ve daha esnek çalışma için daha fazla serbestlik derecesi ihtiyacı olduğu belirtilmiştir. Bu sayede karmaşık geometrilere çalışma için cihazın daha uygun hale geleceği belirtilmiştir. Ayrıca geometrik yapının parametrelerinin deney sonuçlarına etki ettiği ve ölçümlerde farklı hatalara sebep olduğu belirtilmiştir. Geometrik parametrelerin

belirlenmesi ve robot kalibrasyonu konusunda çalışma yapılarak ölçüm sapmalarının azaltılabileceği belirtilmiştir [29].

Beraldin ve arkadaşları, üç boyutlu ölçümler için %50 nem seviyesinde $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,1$ $^{\circ}\text{C}$ iklimlendirme kontrollü 10 metre uzunluğa kadar ölçüm yapılabilen laboratuvar ortamını kullanmışlardır. Bu deney ortamında lazer izleyici, yoğun stereo eşleştirme, üçgenleme lazer tarayıcı ve bir uçuş zamanlı lazer tarayıcı (TOF) sistemi ile çalışma yapıldığı görülmüştür. Araştırmada bu ölçüm sistemlerindeki belirsizlik nedenleri özetlenmiştir. Bu sistemlerdeki belirsizliği örnek deney numunesi üzerinde optik ölçümler yaparak tespit etmişlerdir. Bu yöntemde ayrıca minimum ve maksimum hataları da tespit etmişlerdir. Numune taraması ile elde edilen ölçüm sonuçlarında uzunluk artışı ile sistematik olarak standart sapma değerlerinin de arttığı görülmüştür [30].

Kubátová ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada ilk olarak çevresel etkenlerin kontrol altında olduğu bir metroloji laboratuvarı ortamında bulunan termal kompanzasyona sahip CMM kullanarak deneysel bir test düzeneğini kademeli olarak ölçmüş ve daha sonra test düzeneğinin kontrolsüz bir ortamda sıcaklık kompanzasyon sistemi ile donatılmış bir CMM ile ölçerek farklılıklarını tespit etmişlerdir. Üretim uygulamaları için ortam koşullarına bağlı tekrar edilebilirlik ve üretilebilirlik gibi parametreleri analiz etmişlerdir. Çalışmalarında termal kompanzasyonu olan ve olmayan CMM cihazlarını kullanmışlardır. Maksimum hassasiyet için indeks içermeyen sabit bir prob kullanmışlardır. $\text{Ø}16,7$ mm iç çaptaki delik numunesinin 5 mm derinliğinde 8'er nokta olarak termal kompanzasyon olmayan CMM ile $20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, termal kompanzasyona sahip cihazda ise $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 25'er kez deney ölçümlerini yapmışlardır. Deney çalışması sonunda kontrollü ortamda bulunan termal kompanzasyonsuz CMM cihazının ölçüm sonuçlarının değişmediğini, üretim tesisi ortamında bulunan termal kompanzasyona sahip CMM cihazının ölçüm sonuçlarının değiştiği ve beklenen performansı gösteremediğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda otomotiv ve havacılık gibi yüksek hassasiyet gerektiren sektörlerde kontrollü koşullarda ölçüm çalışmalarının yapılması gerektiğini belirtmişlerdir [31].

Gómez ve arkadaşları, araştırmalarında CT cihazı ile CMM cihazının ölçüsel farklarını karşılaştırmışlardır. CMM cihazı ile yapılan ölçümlerde iç kısımda kalan ve erişimi yapılamayan bölgeler olduğunu ve yumuşak yapıdaki malzemelere temas ile yapılan ölçümlerde CMM cihazının parça esnediği için olumsuz etkilendiğinden bahsetmişlerdir. Deney çalışmasında 0,6 mm ile 65 mm uzunluğa kadar yakut küre deney numuneleri ile çalışmışlardır. Karşılaştırma ölçümlerinde CMM ve CT ölçüm sistemleri arasındaki farkın 5 µm ve altında olduğunu tespit etmişlerdir. CT cihazı için izin verilebilir maksimum hata (MPE) belirsizlik hesapları üzerine değerlendirme yapmış olup CT ölçümleri için yaptıkları belirsizlik hesaplarında belirsizliklerin 1 µm ila 20 µm arasında değiştiğini görmüşlerdir [32].

Vagovský ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada Optik Tarama cihazının yarı mamül olan sert metal çubuk gibi nesnelerin ölçümü konusunda gösterdiği kabiliyeti değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında GOM ATOS Triple Scan II optik tarama cihazını kullanmışlardır. Deneylerini 21 °C'ta ve %56 nem koşulunda şartlandırılmış ortamda ve aynı yerde yapmışlardır. Deney ölçüm numunesi olarak 12 mm çapında h6 tolerans sınıfı titanyum kaplamalı sert metal çubuk kullanmışlardır. Daha sonra deney numunesi OT cihazı ile taranmış ve alından 10 mm, 25 mm ve 40 mm mesafelerden çap değerleri tespit edilmiştir. elde edilen çap değerleri deney sonucu olarak kullanılmıştır. Bu işlem 50 kez tekrarlanmıştır. İki farklı kriter ile değerlendirme yapılmıştır. Birinci kriter olarak her bir çubuk ölçümü ayrı değerlendirilmif ve her birindeki 3 kesitin ortalaması alınmıştır. İkinci kriterde ise her bir kesit için 50 çubuk çapının ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır. Cihazın ölçüm sonuçları incelendiğinde h6 tolerans sınıfı için ölçüm sonuçlarının uygun olmadığı fakat h8 tolerans sınıfına uygun numune olması durumunda yeterli olacağı değerlendirilmiştir. Deđerlendirme sonucunda OT cihazının nispeten büyük ve aşırı hassas olmayan numunelerin ölçümne uygun olduğu, işleme takımı gibi küçük ve hassas parçaları için uygun olmadığı değerlendirilmiştir [33].

Karkınlı, düşük maliyet ve yüksek doğruluk hedefi ile üç boyutlu ölçüm yapabilen bir sistem tasarlamış ve bu sistem ile uygulamalar yapmıştır. Tasarladığı ölçüm sistemi temel olarak kamera, çizgi lazer diyot ve referans düzlemlerden oluşmaktadır. Üç boyutlu ölçme tekniklerinden optik üçgenleme tabanlı ölçüm

tekniki kullanılmıştır. Söz konusu sistemde modellenmek istenen nesne üzerine lazer ışını gönderilmekte ve kamera ile bu ışın takip edilmektedir. Bu sayede lazer noktası ile taranarak iki boyutlu resim düzlemi görüntüsüne ait koordinat değerinden, üç boyutlu modelin elde edilmesi sağlanmıştır. Uygulama aşamasında heykel tarama işlemi yapılmış ve 40491 adet nokta elde edilmiştir. İkinci olarak başka bir nesne taranmış ve 1413 adet nokta elde edilmiştir. Referans düzlemlere bu noktaların mesafesi üzerinden sistemin doğruluğu kontrol edilmiş ve düzleme uzaklık ortalama 1,88 mm, standart sapma ise $\pm 1,755$ mm olarak hesap edilmiştir. Sistemde kamera kalitesinin sistemin başarısına doğrudan etki ettiği belirtilmiştir [34].

Marciniec ve arkadaşları, optik tarama cihazı ile konik dişlilerin ölçüm süreçlerinin iyileştirilmesi, kısaltılması ve otomatikleştirilmesi konusu üzerine çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda GOM ATOS II Blue Light OT cihazı kullanmışlardır. OT cihazı ile döner tablada dişli parçasının otomatik ölçümüne yoğunlaşmışlardır. Ayrıca otomatik modda yapılan ölçümlerin performansını ve kalitesini araştırmışlardır. Çalışmalarında model hazırlama işlemi, ölçüm ekipmanı ve ölçüm işlemleri ile ilgili koşulların analizini yapmışlardır. Döner tabla ile yapılan deneyde döner tabla oturma yüzeyinin numune alt yüzeyi olarak kullanılabilceğini ve bu kullanımın hem alınan data yoğunluğunu azalttığı hem de işlem süresini azalttığını belirtmişlerdir. Referans noktası azaltma işleminin aksel ve simetrik olan numunelerin ölçümünde geometriler benzer olduğu için sorunlara sebep olduğu açıklanmıştır. Ayrıca OT cihazının yaptıkları çalışmada dış mekan aydınlatmasından çok az etkilendiğini tespit etmişlerdir [35].

BÖLÜM 6

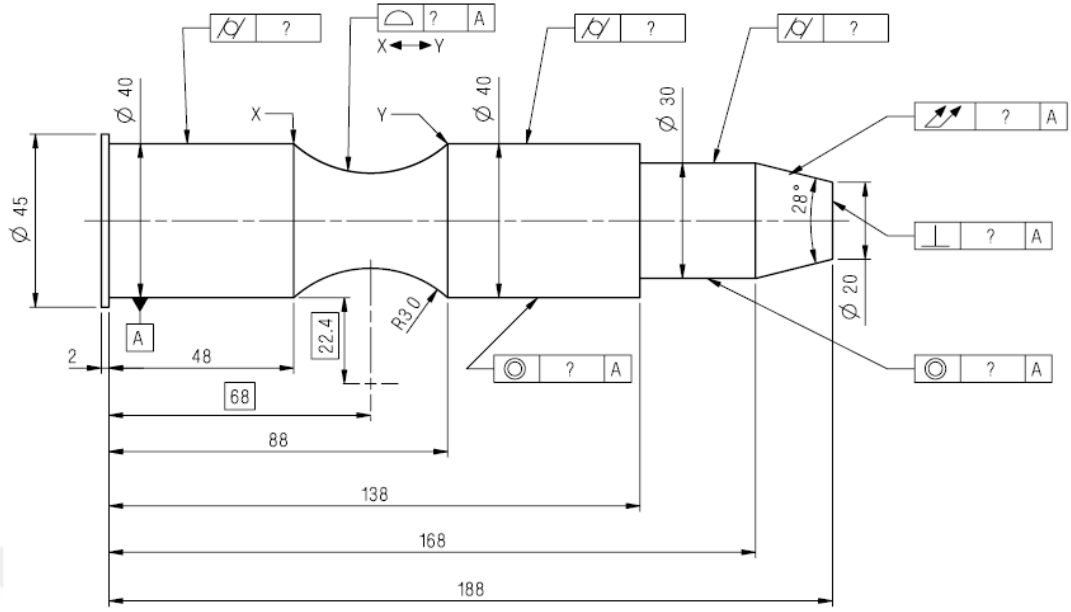
MALZEME VE METOT

Bu deneysel çalışmada Ø55 mm ve 250 mm boyunda 6061 kalite alüminyum malzeme kullanılmıştır. Deney numunesi için 6061 kalite alüminyumun seçilmesinin nedeni, bu malzemenin havacılık, uzay ve savunma sanayinde yaygın olarak kullanılmasıdır. Ayrıca alüminyumun talaşlı imalat işlemi nispeten diğer malzemelere göre kolay olması da malzeme tercihinde önemli bir kriter olmuştur.

6.1. NUMUNENİN TEKNİK RESMİNİN VE MODELİNİN BELİRLENMESİ

Deneysel çalışmada kullanılacak malzeme belirlendikten sonra, ölçüm işlemlerinde kullanılacak deney numunesinin tasarımı tornada işlenecek şekilde yapılmıştır. Taslak olarak numune şekli belirlendikten sonra UNIGRAPHICS programı ile CAD modeli oluşturulmuştur. Model oluşturulduktan sonra üretim ve ölçüm proseslerinde kullanılmak üzere teknik resim oluşturulmuştur (Şekil 6.1). Teknik resimde ölçüm yapılacak bileşenler ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Bileşen seçimi yapılırken yaygın olarak kullanılan uzunluk, çap ve geometrik boyutlandırma ve toleranslandırma ölçü çeşitleri (boyut, şekil ve yön) kullanılmıştır. Teknik resimde belirtilen boyutsal ölçü çeşitleri;

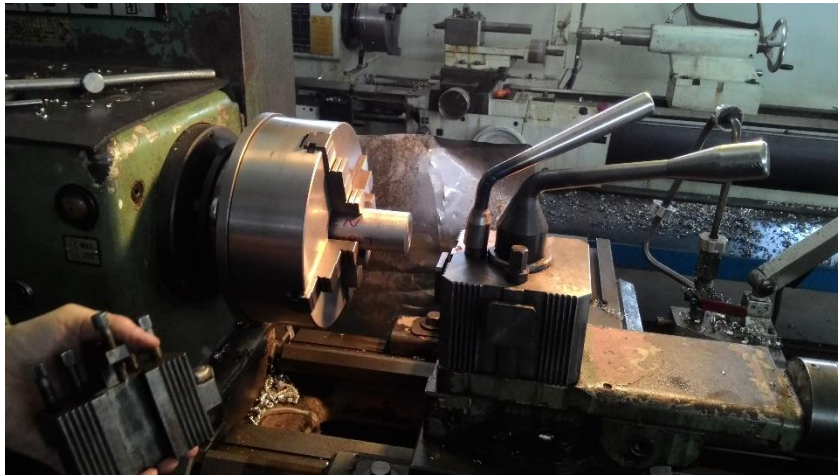
- Parça yüzey uzunlukları, çap ve radyus ölçüleri
- Açı ölçüleri
- Diklik ölçüleri
- Silindiriklik ölçüleri
- Eş merkezlik ölçüleri
- Toplam salgı ölçüleri
- Yüzey profili ölçüleridir.



Şekil 6.1. Ölçüm numunesinin teknik resmi.

6.2. HAM MALZEMEYE TALAŞLI İMALAT İŞLEMİ UYGULANMASI

Ø55 mm ve L=250 mm boyundaki, Alüminyum ham malzeme ölçüm için gerekli numunenin imalatı için kullanılmıştır. İmalat işleminde ilk önce ham malzemenin dış kısmının düzgün hale gelmesi için universal torna ile talaş kaldırılarak düzeltilmiştir (Şekil 6.2). Talaş kaldırma işleminde dış yüzey referans olacağı için özellikle dış yüzey kalitesine dikkat edilmiştir.



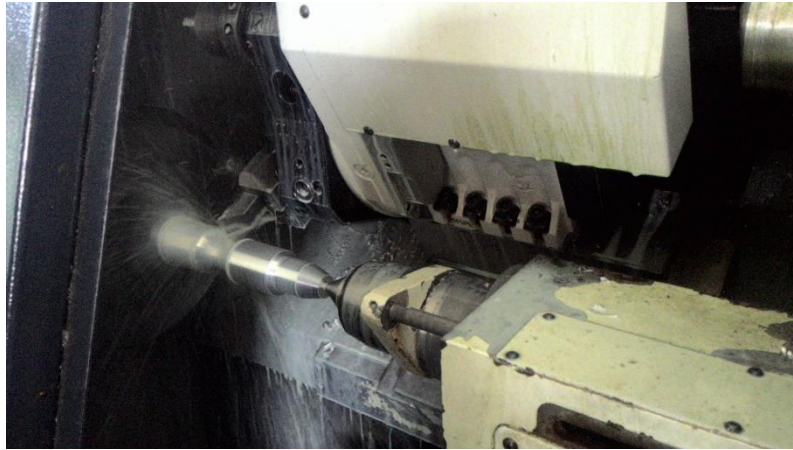
Şekil 6.2. Ham malzemenin universal tornada işlenmesi.

Ham malzeme universal tornada işlendikten sonra CNC torna (SPINNER marka TC65) ile asıl istenilen deney numunesinin ölçülerine işlenmiştir (Şekil 6.3 ve Şekil 6.4). CNC torna tezgahının teknik özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. CNC torna tezgahı teknik özellikleri.

CNC torna tezgahı teknik özellikleri	
Hassasiyet	0,001 mm
Z eksen	640 mm
X eksen	230 mm
Devir sayısı (n)	4000 rpm
Hidrolik ayna çapı	250 mm
Tezgah gücü	10 kW
Taret takım bağlama kapasitesi	12

Bu tornalama işleminde numune ölçülerinin daha düzgün olması için numunenin alın kısmına ayrıca punta deliği açılmıştır. Ayrıca parça arka kısmında bir çıkıntı bırakılarak parçanın ölçüm cihazlarına bağlanmasının kolay olması sağlanmıştır. İmalat prosesleri tamamlanarak numune ölçüme hazır hale gelmiştir.



Şekil 6.3. Ham malzemenin CNC tornada işlenmesi.



Şekil 6.4. Deney numunesinin CNC Tornada bitmiş hali.

6.3. NUMUNENİN KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZI İLE ÖLÇÜMÜ

Koordinat ölçüm cihazı ile ölçüm işleminde DEA Global 07.10.07 cihazı kullanılmıştır (Şekil 6.5). Cihazın teknik özellikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. CMM cihazı teknik özellikleri.

Marka	DEA
Model	GLOBAL CLASSIC
Faydalı Stoklar	X:700mm Y:1000mm Z:660mm
Hız (v)	516 mm/s
İvme (a)	1700mm/s ²
Hacimsel Uzunluk Ölçme Belirsizliği	MPE _L = 2.3 + L /333 µm MPE _p = 2 µm
Cihaz Cetvel Çözünürlüğü	0,039 µm
Prob Tipi ve Modeli	Dokunma Tetiklemeli, TESASTAR-m
Yazılım	PC-DMIS CAD++

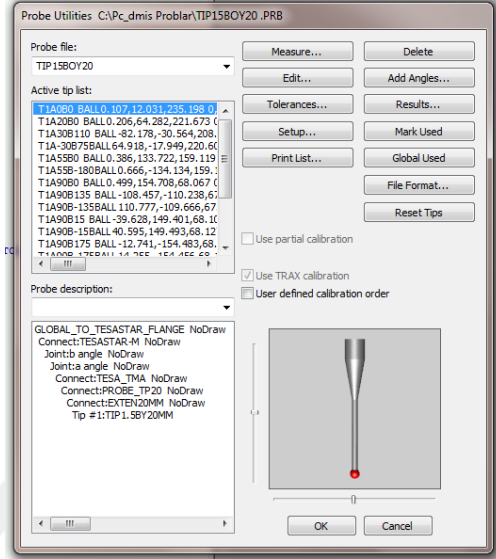


Şekil 6.5. DEB GLOBAL CLASSIC CMM cihazı.

CMM cihazı ile ölçüm işleminde parçanın sabit olması büyük önem arz etmektedir. Ölçüm esnasında ölçüm probunun teması ile parçanın yerinden oynaması ölçüm sonuçlarını değiştirmektedir. Bu nedenle CMM cihazı ile ölçüm yapılırken parçanın cihaz pleyti üzerine çeşitli aparatlar ile sabitlenmesi gerekmektedir. Bazı durumlarda parça ağırlığı, ölçüm esnasında probun teması ile parçanın yerinden oynamasını engelleyecek kadar büyük olabilir. Bu koşul sağlandığı takdirde parçanın sabitlenmesi gerekmez. Ayrıca CMM cihazı ile ölçüm yapılırken her bir parçanın aynı konumda bağlanması gerekmektedir.

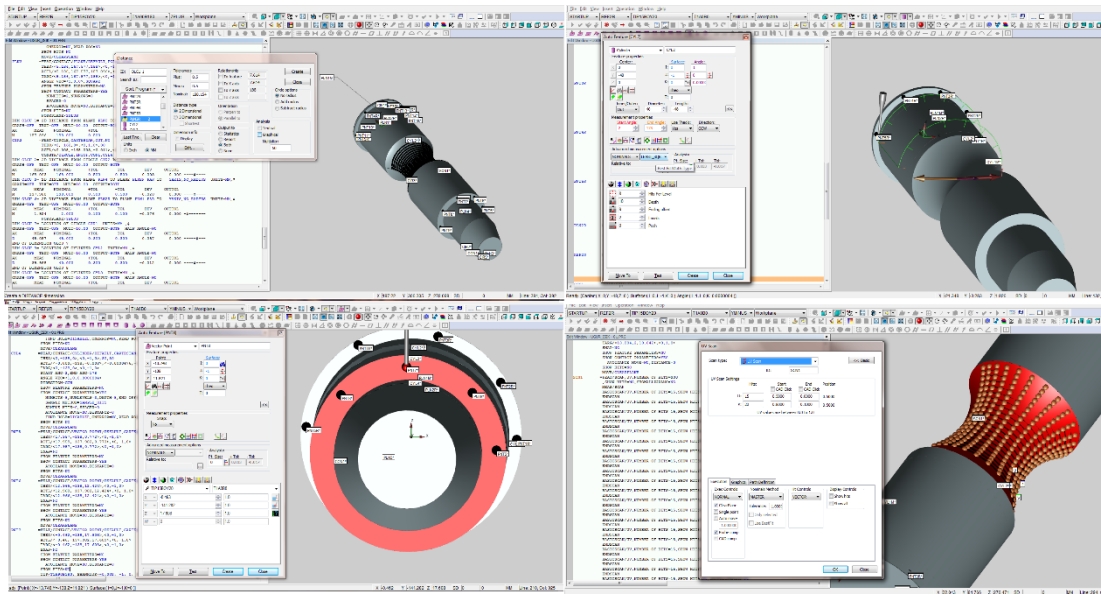
Ölçüm işlemi başlangıcında ilk önce deney numunesi koordinat ölçüm cihazına sabitlenmiştir. Parça sabitleme işleminde parçaya zarar vermemek önemlidir. Ayrıca kullanılan sabitleme aparatının cihazın parça üzerinden ölçüm almasına engel olmamasına dikkat edilmiştir. Parça sabitleme işleminden sonra ölçüm işlemine

başlanmıştır. İlk olarak katı model IGES formatında CMM programına (PC-DMIS CAD++) yüklenmiştir. Ölçümde kullanılacak problemlerin seçimi ve kalibrasyonu yapılmıştır (Şekil 6.6).



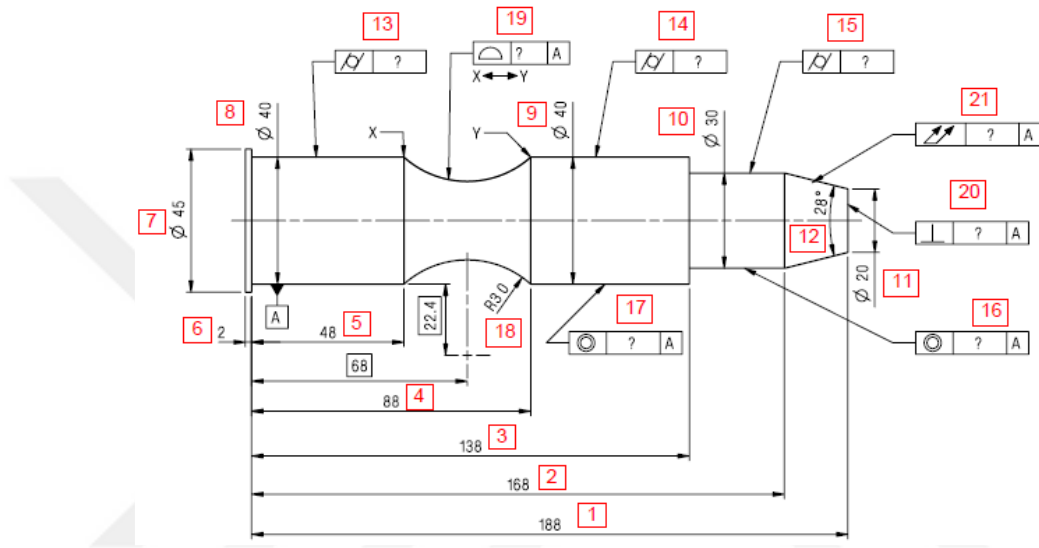
Şekil 6.6. Prob kalibrasyonu.

Daha sonra numunenin referansları dikkate alınarak referanslandırılması yapılır. Bu aşamadan sonra ölçümü istenen unsurları oluşturmak için numune üzerinde unsurları oluşturan yüzeylere dokunarak noktalar alınmıştır (Şekil 6.7).



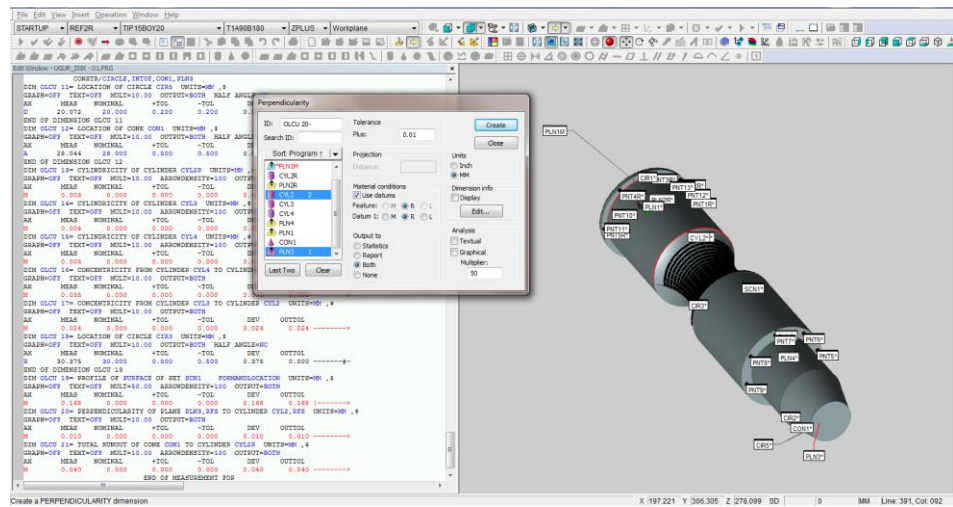
Şekil 6.7. Ölçüm unsurlarının oluşturulması.

Noktalar alınarak gerekli ölçüm unsurları oluşturulduktan sonra bu unsurlarla ilgili ölçü sorgulamalarına geçilmiştir. Ölçü sorgulamaları unsurların kendi içindeki ve diğer unsurlarla olan özelliklerini sorgulamayı ve değerlendirmeyi içerir. Ölçü sorgulama için ölçülerin belirlenmesi ve ölçüm sonuçlarını incelerken karışıklık yaşanmaması için teknik resim üzerindeki ölçüler kırmızı kutu içerisinde numaralandırılmıştır (Şekil 6.8).



Şekil 6.8. Teknik resimdeki ölçülerin numaralandırılması.

Teknik resim ölçü numaralandırma işleminden sonra ölçüm sonuçlarını elde etmek için PC-DMIS yazılımında ölçüm sonuç raporu hazırlanmıştır (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. Ölçü sorgulamaları.

6.4. DENEY NUMUNESİNİN OPTİK TARAMA CİHAZI İLE ÖLÇÜMÜ

Optik tarama cihazı ile ölçüm işleminde ATOS II cihazı kullanılmıştır (Şekil 6.10). Cihazın teknik özellikleri Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Optik tarama cihazı teknik özellikleri.

Marka	GOM
Model	ATOS II
Ölçüm Hacmi	175x140x135
Kamera tipi	Stereo
Çözünürlük	1,3 Mp
Cihaz ölçüleri	520 x 220 x 110 mm ³
Ağırlık	4 kg
Yazılım	ATOS V7 SR2
Işık kaynağı	Sarı ışık



Şekil 6.10. ATOS GOM II optik tarama cihazı.

Optik Tarama cihazı ile ölçüm işleminde cihazın, ölçüm numunesinin yüzeylerini tanımlayabilmesi ve farklı çekilmiş pozları birleştirebilmesi için ölçüm numunesi üzerine aralıklarla “marker” olarak isimlendirilen etiketler yapıştırılmıştır. Marker yapıştırma işlemi ile cihazın ölçüm numunesinin hangi yüzeyleri üzerinde çalışıldığını belirlemesi ve çekilen pozları birleştirmesi sağlanmıştır.

Ayrıca deney numunesinin yüzeyine gönderilen ışık ve şekil yansımaları ile ölçüm yapıldığı için numune yüzeyinin kalitesi önemli olmaktadır. Bu durum dikkate alındığında ölçüm parçası yüzeylerinin yansıma yapmayan ve mat yüzeyler olması istenmektedir. Deney numunesinin alüminyum ve yüzeyinin parlak olması ölçümleri olumsuz etkilemektedir. Numune yüzeyinin parlak olması nedeniyle meydana gelen olumsuz durumu engellemek için parça yüzeyine yansımaları ve parlamaları engelleyecek spreyleme işlemi yapılmıştır. Spreyleme işlemi neticesinde deney numunesinin yüzeyinin parlaklığı ve ışık yansıtması giderilmiştir (Şekil 6.11).



Şekil 6.11. Deney numunesine yapılan marker ve spreyleme işlemi.

Deney numunesi, marker yapıştırma ve spreyleme işleminden sonra optik tarama çalışmasına hazır hale gelmiştir. Optik tarama cihazı numune üzerine belirli formlarda ışık göndererek yüzey farklılıklarını tanımlamaktadır. Yüzeylerdeki gönderilen ışığın ve ışık gönderilmeyen kısımlardaki gölgenin kırılmalarını algılayarak yüzey formunu çıkarmaktadır. Optik tarama cihazı bir poz çekimini bitirdikten sonra yeni poza geçişte eski pozlarda çektiği ve tanımladığı markerları

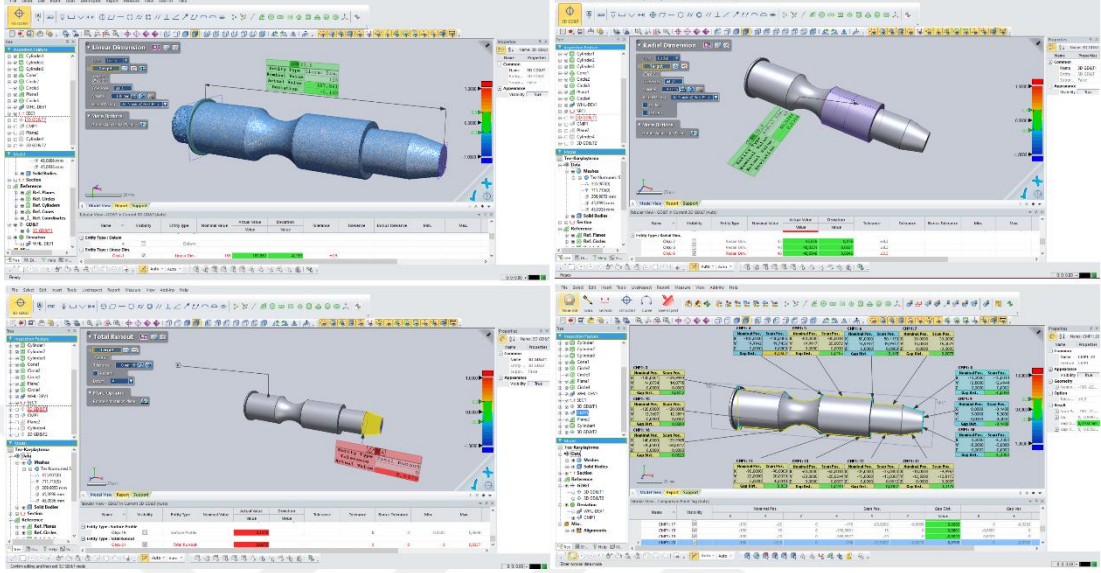
referans olarak yeni pozları tarama datasına ilave etmektedir. Optik tarama cihazı numune üzerinde değişik pozlar alınarak ve bu pozları birleştirilerek tarama işlemine devam etmektedir. Yüzey tarama işleminin devamında ölçüm numunesi dışında kalan çevredeki nesnelerin ve bağlantı aparatlarının tarama datasında görünen kısımları yazılım vasıtası ile tarama datasından temizlenmiştir. Bu aşamada oluşturulan data, ham data olup doğrudan ölçüm kontrolü için kullanılamamaktadır. Mevcut data birleştirme işlemine tabi tutularak pozlar tek parça olarak step formatına çevrilmiştir. Deney numunesinin tarama datası step formatına çevrildikten sonra ölçü çıkarma işlemine hazır hale gelmiştir (şekil 6.12).



şekil 6.12. Ölçüm numunesine optik tarama uygulanması.

Deney numunesinin optik tarama cihazı ile taranıp STEP formatında datası elde edildikten sonra numunenin ölçülerini çıkarmak için Rapidform XOV kalite kontrol yazılımı kullanılmıştır. İlk olarak yazılıma ölçüm numunesinin katı model CAD dosyası ve optik tarama sonucu elde edilen tarama datası yüklenmiştir. Yazılıma yüklenen katı model ve tarama datası birbirine ilişkilendirilerek bu iki data birleştirilmiştir. Tarama ve CAD model datası yüklendikten sonra programda deney numunesi datumlarına göre datum tanımlaması yapılmıştır. Datum tanımlama işleminin ardından deney numunesi teknik resminde tanımlanmış ölçülerin sorgulamalarını yapabilmek için gerekli silindir, düzlem, koni gibi geometrik elemanlar oluşturulmuştur. Geometrik elemanların oluşturulması işleminin

devamında deney numunesi teknik resminde belirtilen ölçülerin sorgulaması yapılmıştır (Şekil 6.13).



Şekil 6.13. Optik tarama ile deney numunesinde ölçü sorgulama.

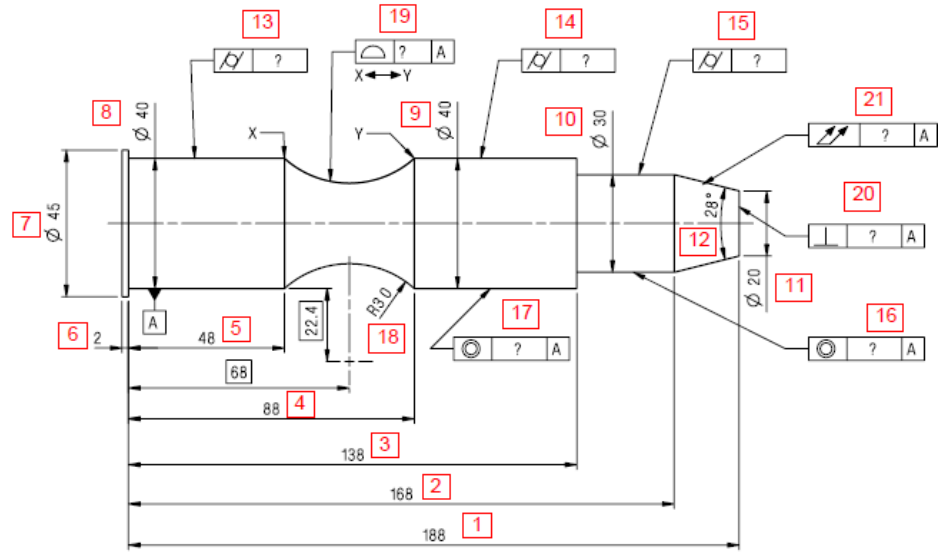
BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

CMM cihazı ile yapılan tarama sonucu elde edilen değerler ve anma değerleri Çizelge 7.1’de verilmektedir. Çizelge 7.1’de ayrıca tarama sonucu elde edilen değerlerle anma değerleri arasındaki farklar da verilmiştir. Kolay anlaşılabilir olması için deney numunesi üzerindeki numaralarla birlikte Şekil 7.1’te verilmiştir.

Çizelge 7.1. CMM cihazı ölçüm sonuçları.

Ölçü sıra numarası	Ölçüm sonucu	Nominal değer	Sapma miktarı
1	187,896	188,000	-0,104
2	168,006	168,000	0,006
3	137,980	138,000	-0,020
4	88,015	88,000	0,015
5	47,988	48,000	-0,012
6	1,925	2,000	-0,075
7	45,055	45,000	0,055
8	39,986	40,000	-0,014
9	40,003	40,000	0,003
10	30,009	30,000	0,009
11	20,071	20,000	0,071
12	28,048	28,000	0,048
13	0,003	0,000	0,003
14	0,004	0,000	0,004
15	0,004	0,000	0,004
16	0,032	0,000	0,032
17	0,021	0,000	0,021
18	30,375	30,000	0,375
19	0,170	0,000	0,170
20	0,010	0,000	0,010
21	0,037	0,000	0,037



Şekil 7.1. Teknik resimdeki ölçülerin numaralandırılması.

Optik tarama cihazı ile elde edilen değerler anma değerleri ve sapma miktarları ile birlikte Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Optik tarama ölçüm sonuçları.

Ölçü sıra numarası	Ölçüm sonucu	Nominal değer	Sapma miktarı
1	187,861	188,000	-0,139
2	167,987	168,000	-0,013
3	137,949	138,000	-0,051
4	88,000	88,000	0,000
5	47,976	48,000	-0,024
6	1,989	2,000	-0,011
7	45,076	45,000	0,076
8	40,033	40,000	0,033
9	40,034	40,000	0,034
10	30,026	30,000	0,026
11	20,075	20,000	0,075
12	28,037	28,000	0,037
13	0,023	0,000	0,023
14	0,024	0,000	0,024
15	0,013	0,000	0,013
16	0,018	0,000	0,018
17	0,029	0,000	0,029
18	29,971	30,000	-0,029

Çizelge 7.2. (devam ediyor).

19	0,137	0,000	0,137
20	0,029	0,000	0,029
21	0,067	0,000	0,067

Her iki cihaz ile yapılan ölçüm sonuçları, ölçülen eleman/unsur çeşidine göre uzunluk, çap, açı, silindiriklik, eş merkezlilik, radyus, profil, diklik ve toplam salgı olarak sınıflandırılmıştır. CMM ve optik tarama cihazlarıyla elde edilen boyutsal ve açısal ölçüm sonuçları arasındaki farklar Çizelge 7.3’de verilmiştir.

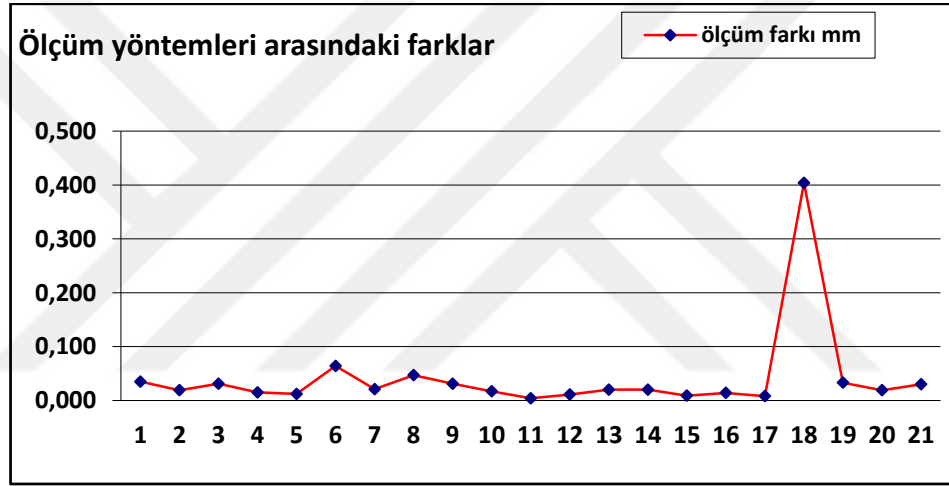
Çizelge 7.3. CMM ve optik tarama cihazlarıyla elde edilen değerlerin karşılaştırılması.

Özellik Çeşidi	Ölçü sıra no	Nominal	CMM Sapma	O. Tarama Sapma	Cihaz Farkları
Uzunluk	1	188,000	-0,104	-0,139	0,035
Uzunluk	2	168,000	0,006	-0,013	0,019
Uzunluk	3	138,000	-0,020	-0,051	0,031
Uzunluk	4	88,000	0,015	0,000	0,015
Uzunluk	5	48,000	-0,012	-0,024	0,012
Uzunluk	6	2,000	-0,075	-0,011	-0,064
Çap	7	45,000	0,055	0,076	-0,021
Çap	8	40,000	-0,014	0,033	-0,047
Çap	9	40,000	0,003	0,034	-0,031
Çap	10	30,000	0,009	0,026	-0,017
Çap	11	20,000	0,071	0,075	-0,004
Açı	12	28,000	0,048	0,037	0,011
Silindiriklik	13	0,000	0,003	0,023	-0,020
Silindiriklik	14	0,000	0,004	0,024	-0,020
Silindiriklik	15	0,000	0,004	0,013	-0,009
Eş merkezlilik	16	0,000	0,032	0,018	0,014
Eş merkezlilik	17	0,000	0,021	0,029	-0,008
Radyus	18	30,000	0,375	-0,029	0,404

Çizelge 7.3. (devam ediyor).

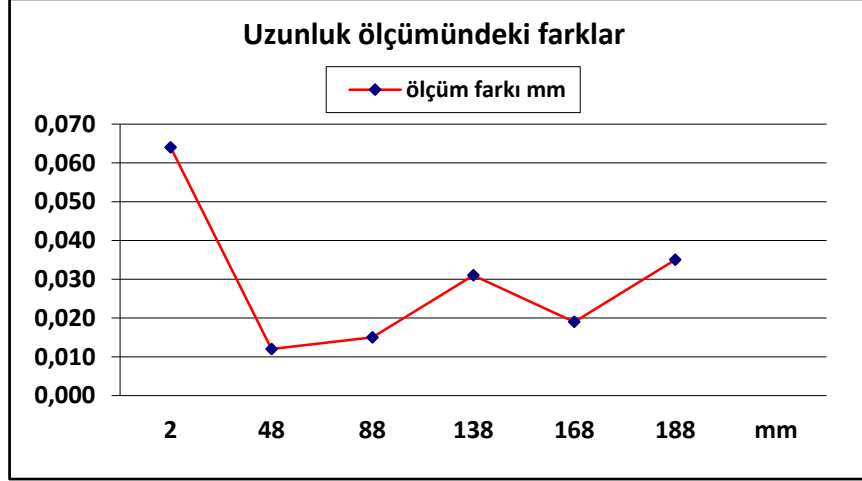
Profil	19	0,000	0,170	0,137	0,033
Diklik	20	0,000	0,010	0,029	-0,019
Toplam Salgı	21	0,000	0,037	0,067	-0,030

Elde edilen ölçüm sonuçlarının tümü incelendiğinde CMM ve optik tarama cihazları ölçümlerindeki en küçük farkın 11 nolu Ø20 mm ölçüsünde 0,004 mm, en büyük farkın ise 18 nolu R30 ölçüsünde 0,404 mm olduğu görülmüştür. Genel olarak ölçüsel farkın 0,100 mm'nin altında olduğu görülmektedir (Şekil 7.2).



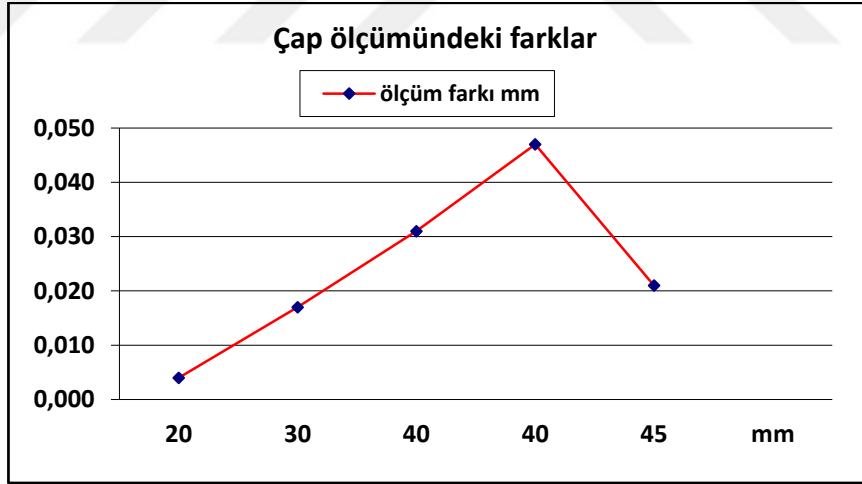
Şekil 7.2. Ölçüm yöntemleri arasındaki farklar.

Uzunluk ölçümü deney sonuçları incelendiğinde en küçük farkın 5 nolu L= 48 mm ölçüsünde 0,012 mm, en büyük farkın 6 nolu L= 2 mm ölçüsünde 0,064 mm olduğu görülmüştür. Genel olarak uzunluk değeri arttıkça cihazların ölçüm sonuçları arasındaki ölçüsel farkların arttığı görülmüştür (Şekil 7.3).



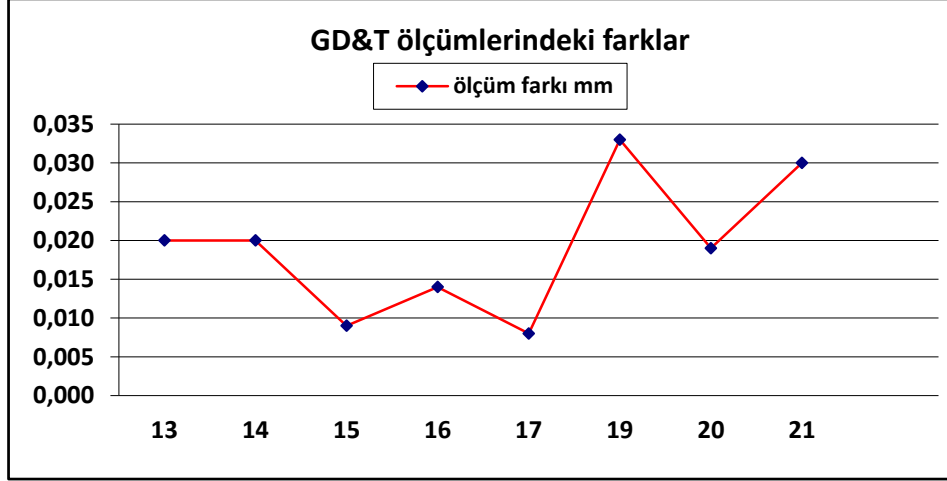
Şekil 7.3. Cihazlarda görülen uzunluk ölçüm farkları.

Çap ölçümü deney sonuçları incelendiğinde en küçük farkın 11 nolu Ø20 mm ölçüsünde 0,004 mm, en büyük farkın 8 nolu Ø40 mm ölçüsünde 0,047 mm olduğu görülmüştür. Genel olarak çap değeri arttıkça cihazların ölçüm sonuçları arasındaki ölçüsel farkların arttığı görülmüştür (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. Cihazlarda görülen çap ölçüm farkları.

GD&T ölçüm sonuçları incelendiğinde CMM ve optik tarama cihazları arasındaki en küçük farkın 15 nolu silindiriklik ölçüsünde 0,009 mm, en büyük farkın 19 nolu profil ölçüsünde 0,033 mm olduğu görülmüştür. Genel olarak ölçüsel farkın 0,035 mm'nin altında olduğu görülmüştür (Şekil 7.5).



Şekil 7.5. Cihazlarda görülen GD&T ölçüm farkları.

7.1. DENEYLERDE TESPİT EDİLEN DURUMLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Deneysel çalışma esnasında her iki cihaz ile aynı parçanın aynı boyutsal özelliklerinin ölçümü yapılmıştır. Deneysel çalışmada deney numunesinin yüzey özelliklerinin ölçüme etkisi değerlendirildiğinde optik tarama cihazının mat ve ışığı yansıtmayan yüzeylerde düzgün çalıştığı, parlak ve saydam yüzeylerde çalışabilmesi için numune yüzeyine sprej uygulaması yapılması gerektiği görülmüştür. CMM cihazının ise yüzeyin mat veya parlak oluşundan etkilenmediği değerlendirilmiştir. Deney numunesi üzerinde yüzey noktaları alınırken CMM cihazı tek tek dokunarak nokta aldığı için alınan nokta sayısının az, optik tarama cihazı yüzeyi komple taradığı için aldığı nokta sayısının fazla olduğu görülmüştür.

CMM cihazı ve optik tarama cihazı ile deney numunesine yapılan tüm boyutsal ölçüm sonuçları incelenmiştir. Ölçüm sonuçlarının tamamı incelendiğinde en büyük ölçüm farkınının 18 nolu R30 mm ölçüsünde olduğu görülmüştür. Bu ölçü radyus olarak tanımlı olmasına rağmen yüzeyin formlu yapıda olması nedeniyle ölçüsel kontrolünün sapmalara sebep olduğu değerlendirilmiştir. Yapılan inceleme sonucu genel olarak her iki cihaz arasındaki genel ölçü farkınının 18 nolu radyus ölçümü hariç 0,100 mm'nin altında olduğu değerlendirilmiştir.

Deney numunesi CMM ölçümleri yapılırken CMM probu ile köşe ve kenarlara tam olarak dokunulmadığı ve bu nedenle kenar ve köşelerde geometrik elemanların

dolaylı yollarla oluşturulabildiği görülmüştür. Örneğin 18 nolu R30 mm radyus yüzeyinin kenarlarından verilen 4 nolu 88 mm ve 5 nolu 48 mm ölçülerinin CMM ile sorgulamaları yapılırken ilgili köşe kesişimlerine tam olarak dokunulamamıştır. Bu nedenle kenar kesişimleri Ø40 silindir dış yüzeyleri ve R30 radyus yüzeylerinin kesişimleri ile elde edilen noktalar arası uzunluk sorgulaması ile yapılmıştır.

Her iki cihazla da yapılan uzunluk ölçümleri incelendiğinde 6 nolu 2 mm ölçüsünün en büyük uzunluk ölçümü farkını verdiği değerlendirilmiştir. 6 nolu 2 mm ölçüsü hariç, uzunluk değeri arttıkça cihazların ölçüm sonucu farklarının genel olarak arttığı görülmüştür. Yapılan deney çalışması sonucu her iki cihaz arasındaki uzunluk ölçü farkının 6 nolu 2 mm ölçüsü hariç 0,040 mm'nin altında olduğu değerlendirilmiştir. En yüksek ölçüsel fark olan 6 nolu 2 mm ölçüsünün ölçümü incelendiğinde, ölçünün 7 nolu Ø 45 mm ölçüsünün dış ve iç kenar yüzeyleri arasındaki uzunluk mesafesi olduğu görülmektedir. Bu uzunluk ölçüsünü oluşturan yüzeylerden parçanın dış kısmında kalan yüzeyin geniş ve oluşturulması kolay bir yüzey olduğu görülmüştür. Ø 40 mm yüzeyi ile temas eden diğer yüzeyi oluşturabilmek için tek taraflı olarak 2,5 mm mesafe kaldığı görülmüştür. 2,5 mm gibi küçük bir alandan oluşturulan yüzey elemanının yetersiz olduğu ve bu nedenle en büyük ölçüsel farka sebep olduğu tespit edilmiştir.

Deney numunesi üzerinde yapılan çap ölçümleri değerlendirildiğinde en büyük farkın 8 nolu Ø40 mm ölçüsünde 0,047 mm olduğu görülmüştür. Genel olarak çap değeri arttıkça cihazların ölçüm sonuçları arasındaki ölçüsel farkların arttığı görülmüştür. Çap ölçüm sonuçlarındaki farkların 0,050 mm'nin altında olduğu tespit edilmiştir. Çap ölçüm sonuçları incelendiğinde optik tarama cihazının tüm çapları daha büyük ölçtüğü görülmüştür. Bu ölçüsel farkların sebebi incelendiğinde CMM cihazının doğrudan deney numunesi yüzeyine temas ettiği ve çıplak numune dış yüzeyinin çap değerini ölçtüğü bilinmektedir. Deney numunesi dış yüzeyi parlak olduğu için optik tarama ile deney numunesi ölçümü öncesinde numunenin dış yüzeyi sprej ile matlaştırılmıştır. Sprej film kalınlığı nedeniyle optik tarama cihazının dış çap ölçümlerini daha büyük yaptığı tespit edilmiştir.

Deney numunesine yapılan GD&T ölçüm sonuçları incelendiğinde cihazların ölçümlerindeki en büyük farkın 19 nolu profil ölçüsünde 0,033 mm olduğu görülmüştür. Genel olarak ölçüsel farkın 0,035 mm'nin altında olduğu görülmüştür. Profil ölçüm yüzeyini oluşturan 18 nolu R30 yüzeyinin form yapısında olması nedeniyle CMM probunun temas vektörünün yüzeye dik olması gerekmektedir. Bu vektör nominali ile cihaz kafa açısının vektörünün tam olarak eşleştirilememesi nedeniyle prob teması ile oluşturulan noktalarda sapma meydana gelmektedir. Bu sapmalar neticesinde profil ölçümünde fark oluştuğu görülmüştür.



BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

Yapılan tez çalışması kapsamında koordinat ölçüm cihazı ve optik tarama cihazıyla elde edilen sonuçlar detaylı olarak ele alınmıştır. Her iki ölçüm sistemi ile ölçülmek üzere deney numunesi üretilmiş ve cihazlar ile numune üzerinde 21 kontrol ölçüsü (uzunluk, çap ve GD&T) kontrol edilmiştir. Deney çalışmasında ölçüm sistemleri, hem ölçüm sonuçları hem de deneyde ölçüm sistemlerinin kullanımı esnasında karşılaşılan durumlar incelenmiştir. Yapılan deney çalışmaları ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- CMM cihazının ölçüm hassasiyeti optik tarama cihazına göre daha fazladır.
- CMM cihazı ile yapılan deney numunesi ölçümlerinde ölçü nominallerine daha yakın ölçüm sonuçları elde edildiği görülmüştür.
- CMM cihazı ile optik tarama cihazı arasındaki ölçüsel farkların ölçüm nominali büyüdükçe daha fazla olduğu görülmüştür.
- Deney sonucu elde edilen çıktılar incelendiğinde, optik tarama cihazının deney numunesi üzerindeki tüm yüzeyleri taradığı için özellikle yüzey sapmalarının tespitinde avantaj sağladığı görülmüştür.
- Deney numunesi CMM ölçümleri yapılırken CMM probu ile köşe ve kenarlara tam olarak dokunulamadığı ve bu nedenle kenar ve köşelerde geometrik elemanların dolaylı yollarla oluşturulabildiği görülmüştür. Bu durum nedeniyle deney numuneleri üzerinde bulunan tam köşe ve kenarlardaki sapmaların tespitinde CMM cihazının yetersiz kaldığı tespit edilmiştir.

8.2. ÖNERİLER

CMM cihazlarının uzun yıllardır kullanılmakta olduğu, optik tarama cihazlarının ise her geçen gün yeni uygulamalarla birlikte üretim proseslerinde daha fazla yer aldıkları ve yükselen trend oldukları görülmüştür. Hassas ve seri işlerde CMM cihazı, programlama işlemi bittikten sonra aynı parçanın tekrar eden ölçümlerinde avantaj sağlamaktadır. Ayrıca numune üzerinde ön hazırlık gerektirmediği görülmüştür. Optik tarama cihazının taşınabilirliği, parça ağırlığı ve boyutlarından bağımsız çalışması, tersine mühendislik için gerekli olan dataların daha anlamlı halde elde edilmesi öne çıkan avantajlarıdır. Ölçüm ya da tersine mühendislik faaliyetine başlanırken hassasiyet, yüzey koşulları, temas durumu, mobilite, işlem süresi gibi gereksinimlere göre uygun cihaz ya da proses seçimi yapılmalıdır.

Ayrıca CMM ve optik tarama sistemleri birbirlerinin özelliklerine sahip olabilmektedir. CMM cihazlarına optik tarama probu takılarak optik tarama özelliği eklenebilmektedir. Aynı zamanda optik tarama cihazlarına da ölçüm probu ilave edilebilmekte ve dokunma ile ölçüm özelliği kazandırılarak ölçüm yapılabilmektedir.

Bu çalışmanın devamı olarak CMM cihazında ve optik tarama cihazında aynı numunenin çok sayıda tekrar ölçümü yapılarak her iki cihazın tekrarlanabilirlik üzerine araştırması yapılabilir. CMM cihazına optik tarama probu, optik tarama cihazına ise dokunma probu ilave ederek yine aynı numunenin ölçümlerini yaparak cihazların performansının tespit edilmesi önerilir.

KAYNAKLAR

1. Bosch, J. A., “Coordinate Measuring Machines and Systems”, *Marcel Dekker, Inc.*, New York, 3- 40 (1995).
2. İnternet: Louvre Museum, “Coudée (règle) de Mâya, ministre des Finances du roi Toutânkhamon”, <https://www.louvre.fr/en/mediaimages/coudee-regle-de-maya-ministre-des-finances-du-roi-toutankhamon.html> (2010).
3. İşler, B., “Yüksek Hassasiyette İş Parçalarının Geliştirilmesinde 3D Ölçme Teknolojisi ve Geometrik Toleranslandırma”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2014).
4. Nikon, “CMM Automation”, *Nikon*, Belgium, 5-6 (2018).
5. Weckenmann, A., “Koordinatenmesstechnik”, *Hanser*, Münih, 12-17 (2011).
6. Zhu, L., “Estimation of Uncertainty in Spatial Straightness Measurement According to Next Generation of GPS Standard System”, *Third International Workshop on Advanced Computational Intelligence*, 666-669 (2010).
7. İnternet: Zeiss, “ZEISS ACCURA”, <https://www.zeiss.com/metrology/products/systems/coordinate-measuring-machines/bridge-type-cmms/accura.html> (2019).
8. Hexagon, “Gantry Line Product Brochure”, *Hexagon*, 1 (2016).
9. Hexagon, “TIGO SF”, *Hexagon*, 2 (2017).
10. İnternet: Hexagon, “DEA BRAVO HP”, <https://www.hexagonmi.com/tr-TR/products/coordinate-measuring-machines/horizontal-arm-cmms/dea-bravo-hp.html> (2019).
11. İnternet: Renishaw, “Styli for touch probes”, <https://www.renishaw.com/en/styli-for-touch-probes--6333.html> (2019).
12. Germani, M., Mandorli, F., Mengoni, M., Raffaelli, R., “CAD-Based Environment to Bridge the Gap Between Product Design and Tolerance Control”, *Precision Engineering*, 34(1):7-15 (2010).
13. Wong, C. M., Chan, W. H., Lam, T. W., Yip, K. Y., “Surface Mapping o Three Dimensional Objects by A Planar Light Scanning Technique”, *Journal of Materials Processing Technology*, 139(1-3): 96-102 (2003).

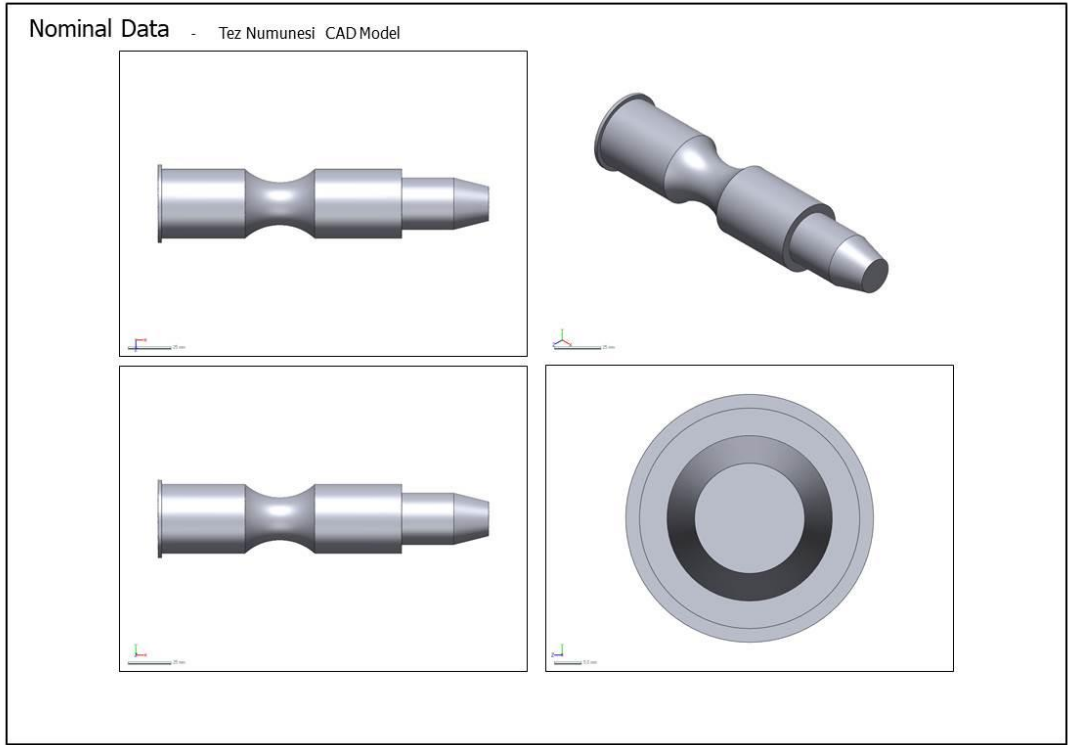
14. Boehler, W., Marbs, A., “3d Scanning Instruments”, *Proceedings of the CIPA WG*, 6,9-18 (2002).
15. İnternet: Automated Precision Inc, “How to Avoid 3 Common Mistakes When Using Laser Trackers”, <https://apisensor.com/avoid-3-common-mistakes-using-laser-trackers.html> (2019).
16. Tercan, E., Beşdok, E., “Tarihi ve Kültürel Mirasın Korunması Amaçlı 3 Boyutlu Dokümantasyonda Şekil Tarayıcıların Kullanımı”, *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, (2011).
17. Sakarya, U., Erkmen, İ., “Performance results of the improved method of photometric stereo using local shape from shading on variable albedo samples”, *Signal Processing and Communications Applications Conference, Proceedings of the IEEE 12th*, 261-263 (2004).
18. Haddad, A. H., “From Ground Surveying To 3d Laser Scanner: A Review Of Techniques Used For Spatial Documentation Of Historic Sites”, *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 23.2, 109-118 (2011).
19. İnternet: Quality Magazine, “Hexagon Dedicated Shopfloor Photogrammetry Solution”, <https://www.qualitymag.com/articles/95359-hexagon-dedicated-shopfloor-photogrammetry-solution.html> (2019).
20. Fantin, A. V., Veiga, C., Albertazzi, A., Hrebabetzky, F., “Topogrametry: A Practical Tool for Geometrical Modelling”, *IFAC Proceedings Volumes*, 31(31), 309-314 (1998).
21. İnternet: MASCHINENMARKT, “Gom > Optimized The Production Processes With Atos Triple Scan System”, <https://www.maschinenmarkt.it/en/gom-optimized-the-production-processes-with-atos-triple-scan-system/> (2019).
22. Wulf, O., Wagner, B., “Fast 3d Scanning Methods For Laser Measurement Systems” *In International Conference On Control Systems And Computer Science (CSCS14)*, 2-5 (2003).
23. Gapinski, B., Wieczorowskia, M., Podsadnaa, L.M., Dybalab, B., Ziolkowskib, G., “Comparison of Different Method of Measurement Geometry using CMM, Optical Scanner and Computed Tomography 3D”, *24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*, (2013).
24. Brajliah, T., Tasic, T., Drstvensek, I., Valentan, B., Hadzistevic, M., Pogacar, V., Balic, J., Acko, B., “Possibilities of Using Three-Dimensional Optical Scanning in Complex Geometrical Inspection”, *Journal of Mechanical Engineering*, 57 (11); 826-833 (2011).
25. Morovič, L., Pokorný, P., “Optical 3D Scanning of Small Parts” *Advanced Materials Research*, Vols. 468-471, 2269-2273 (2012).

26. DeLong, R., Heinzen, M., Hodges, J. S., Ko, C. C., Douglas, W.H., “Accuracy of a System for Creating 3D Computer Models of Dental Arches”, *J Dent Res.*, 82(6), 438-442 (2003).
27. Berbercuma, G., “Üç Boyutlu Tarayıcılar ile Veri Toplanması ve Cad Ortamına Değişik Formatlarda Aktarılması “, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli (2006).
28. Martínez, S., Cuesta, E., Barreiro, J., Álvarez, B., “Analysis of laser scanning and strategies for dimensional and geometrical control”, *Int J Adv Manuf Technol*, 46:621–629 (2010).
29. Baç, Ö., “Üç Serbestlik Dereceli Bir Koordinat Ölçüm Cihazının Tasarım ve İmalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2013).
30. Beraldin, J. A, Blais, F., El-Hakim, S. F., Cournoyer, L., Picard, M., “Traceable 3d Imaging Metrology: Evaluation Of 3d Digitizing Techniques in A Dedicated Metrology Laboratory”, *Optical 3D Measurement Techniques*, 310-318 (2007).
31. Kubátová, D., Melichar, M., Kutlwašer, J., “Evaluation of repeatability and reproducibility of CMM equipment”, *Procedia Manufacturing*, 13, 558-564 (2017).
32. Gómez, H. V., ChaBum, L. C., Smith, S. T., “Dimensional metrology with X-ray CT: A comparison with CMM measurements on internal features and compliant structures”, *Precision Engineering*, (51) 291–307 (2018).
33. Vagovský, J., Buranský, I., Görög, A., “Evaluation of Measuring Capability of the Optical 3D Scanner”, *25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*, (2014).
34. Karkınlı, A. E., “Çizgi Lazer Tabanlı 3D Tarayıcı Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri (2011).
35. Marciniec, A., Budzik, G., Dziubek, T., “Quality Control and Inspection of Bevel Gears of The Aircraft Gearbox Utilizing the Atos 3d Scanner”, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 19:(1) (2012).

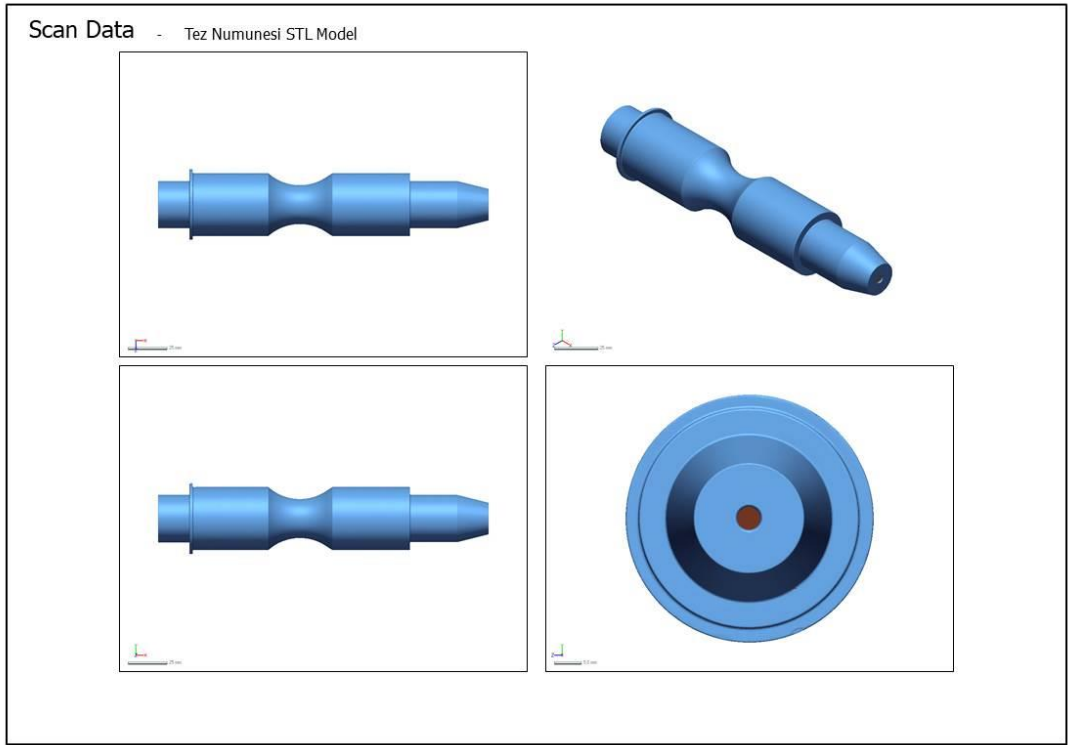


EK AÇIKLAMALAR A.

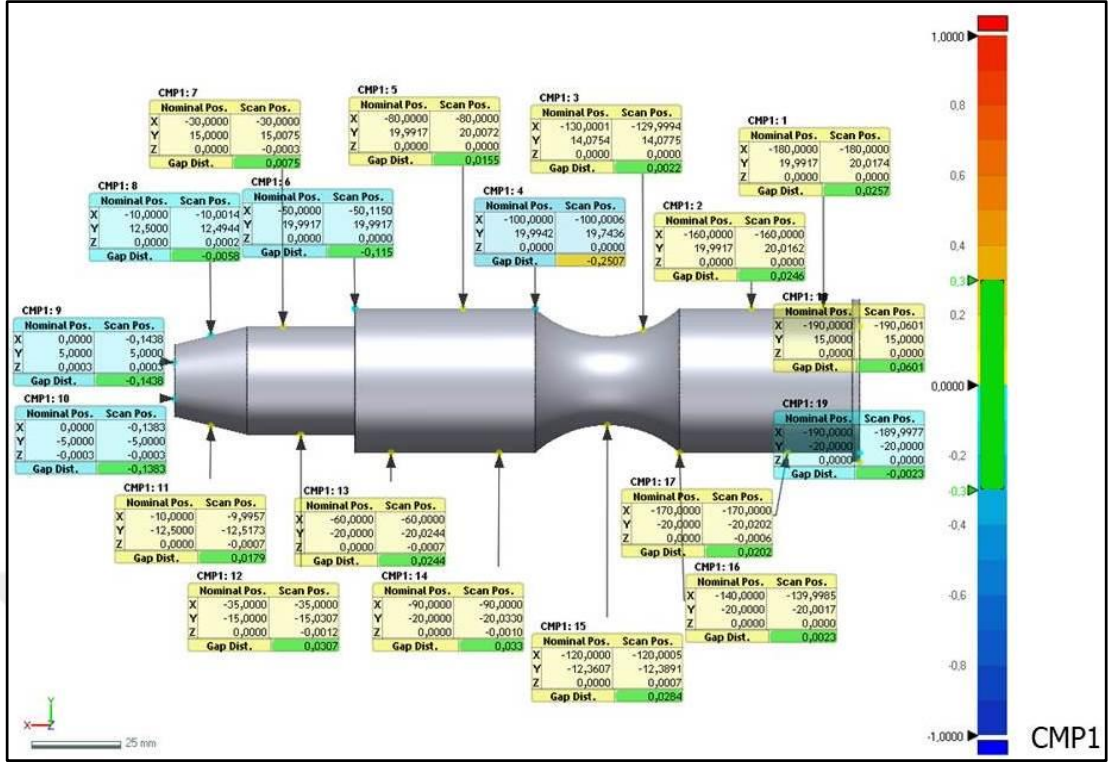
RAPIDFORM XOV YAZILIMI UYGULAMA GÖRÜNTÜLERİ



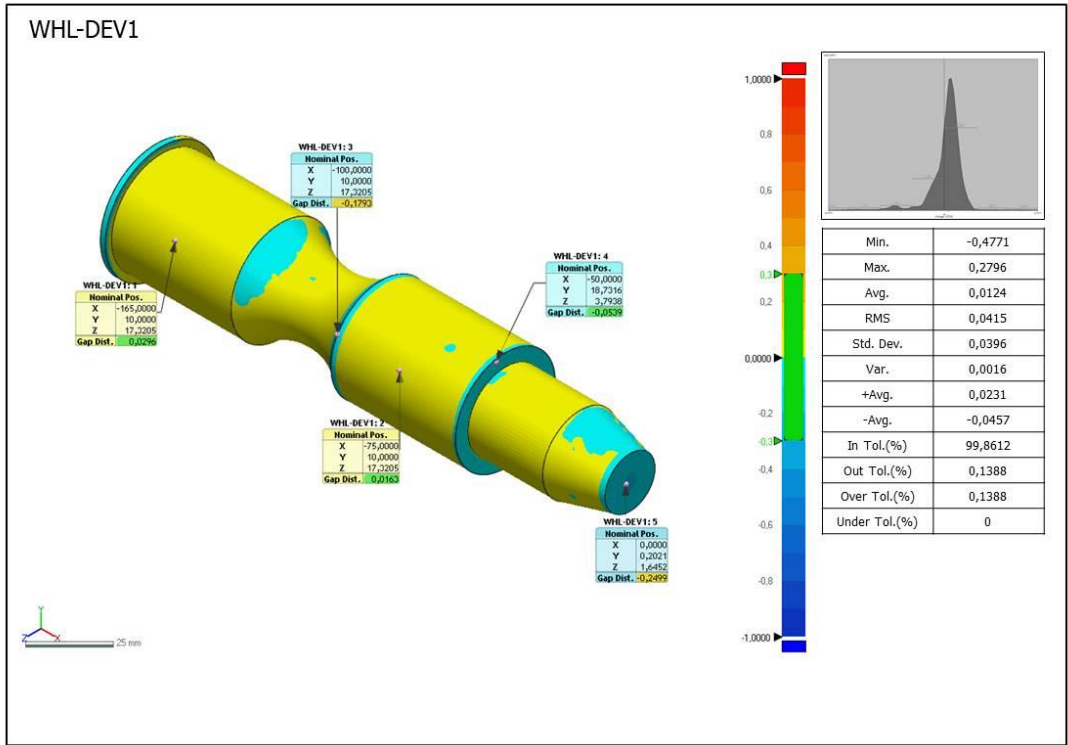
Şekil Ek A.1.Yazılıma yüklenen katı model.



Şekil Ek A.2.Yazılıma yüklenen tarama datası.



Şekil Ek A.3. Deney numunesi dış form çizgisi hataları.

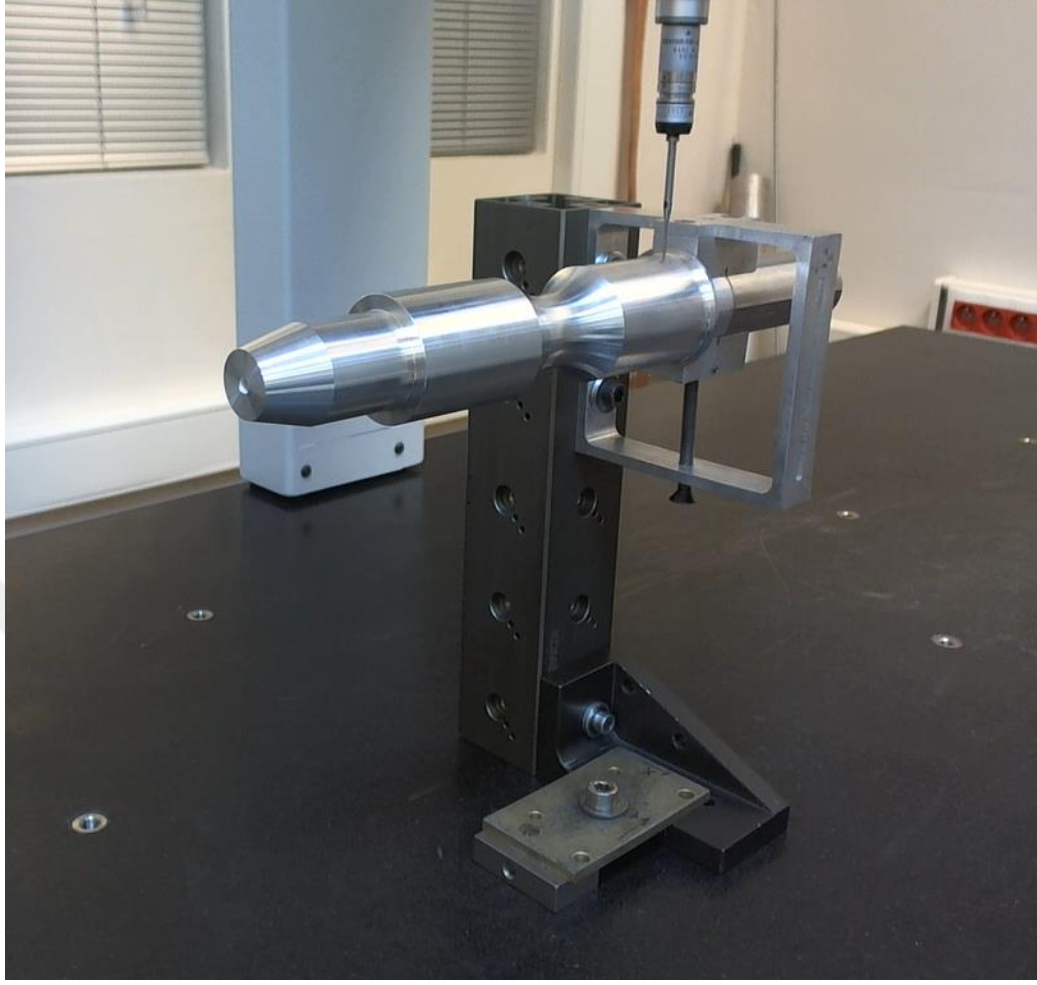


Şekil Ek A.4. Deney numunesi genel form hatası.



EK AÇIKLAMALAR B.

CMM CİHAZI UYGULAMA GÖRÜNTÜSÜ



Şekil Ek B.1. Deney numunesi CMM cihazı ölçümü.

ÖZGEÇMİŞ

Uğur IŞIK 1985 yılında Giresun'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2005 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Öğretmenliği Anabilim Dalı'nda öğrenime başlayıp 2009 yılında mezun oldu. 2010 yılı ortasında askerliği tamamlayıp, 2011 yılında Tübitak-Sage'de kalite kontrol çalışanı olarak başladığı görevine halen devam ediyor.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Şeyh Şamil Mah. Nihat ÖZTAY Cad.
Yunus Emre Çağdaş Sit. 59/2-22
Etimesgut/ANKARA
Tel : (543) 416 31 44
E-posta : ugun84tr@hotmail.com