



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZININ TASARIMI VE
PROTOTİPİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

MUSTAFA DENİZLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA AYYILDIZ**

DÜZCE, 2020

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZININ TASARIMI VE
PROTOTİPİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Mustafa DENİZLİ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Hamit SARUHAN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN

Karabük Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 18/06/2020

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

18 Haziran 2020

Mustafa DENİZLİ

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

18 Haziran 2020

Mustafa DENİZLİ



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
KISALTMALAR.....	viii
SİMGELER	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	1
2. KOORDİNAT ÖLÇME TEKNOLOJİSİ	7
2.1. KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZLARININ KULLANIM ALANLARI	7
2.2. KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZLARININ AVANTAJLARI	8
2.3. KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZLARI DOĞRULAMA STANDARTLARI ..	8
3. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZI TASARIM VE İMALATI	10
4. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZININ KONTROL YAZILIMI .	20
4.1. YAZILIM TASARIMI	20
4.2. YAZILIMIN SOLİDWORKS İLE ENTEGRESİ	21
5. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZININ PERFORMANSI.....	24
5.1. CİHAZ EKSENLERİNİN PERFORMANS TESTİ	24
5.1.1. X Eksen Doğruluk Testi	25
5.1.2. Y Eksen Doğruluk Testi	25
5.1.3. Z Eksen Doğruluk Testi.....	26
5.2. CİHAZA BAĞLANAN PROBUN PERFORMANS TESTİ	27
5.2.1. X Eksen Doğruluk Testi	27
5.2.2. Y Eksen Doğruluk Testi	28
5.2.3. Z Eksen Doğruluk Testi.....	29
5.2.4. X ve Y Ekseninin Doğruluk Testi	31
5.3. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZININ DENEY TESTİ	34
5.3.1. Deney Malzemesi Teknik Resmi	34
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	38
7. KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. CMM çeşitleri a) Köprü b) Gantry c) Yatay kollu d) Kollu [29].	7
Şekil 3.1. 60x60 sigma profil kesit görünümü.	10
Şekil 3.2. Köşe bağlantısı.	10
Şekil 3.3. Koordinat ölçme cihazının taşıyıcı gövdesi.	11
Şekil 3.4. Doğrusal hareket modülü.	11
Şekil 3.5. Doğrusal hareket modülü teknik resim.	12
Şekil 3.6. Doğrusal hareket modüllerinin montajı.	12
Şekil 3.7. Taşıyıcı gövde üzerine doğrusal hareket modülü montajı.	13
Şekil 3.8. Hibrit step motor.	13
Şekil 3.9. Hibrit step motorların cihaza montajı.	14
Şekil 3.10. Z eksenine bağlanan temaslı prob.	14
Şekil 3.11. Limit anahtar.	15
Şekil 3.12. PCI-8154 hareket kontrol kartı.	15
Şekil 3.13. PCI-8154 hareket kontrol kartının bağlantı noktaları.	16
Şekil 3.14. Step motor sürücüsü [33].	17
Şekil 3.15. Motor sürücü bağlantı şeması.	17
Şekil 3.16. Elektrik panosu.	18
Şekil 3.17. Koordinat ölçüm cihazının modeli.	18
Şekil 3.18. Koordinat ölçme cihazı.	19
Şekil 4.1. Yazılım arayüzü.	20
Şekil 4.2. Yazılım akış diyagramı.	21
Şekil 4.3. Dll dosyaları.	22
Şekil 4.4. SolidWorks tasarım programını açtırma.	22
Şekil 4.5. Seçenek düğmesi kodları.	23
Şekil 4.6. Anlık koordinat verileri görünümü.	23
Şekil 5.1. a) Johnson mastarı b) Geçer geçmez mastar c) Komparatör.	24
Şekil 5.2. Komparatörün X eksenindeki hassasiyet ölçümü.	25
Şekil 5.3. Komparatörün Y eksenindeki hassasiyet ölçümü.	26
Şekil 5.4. Komparatörün Z eksenindeki hassasiyet ölçümü.	27
Şekil 5.5. X eksen 25 mm Johnson mastarı ile ölçümü.	28
Şekil 5.6. X eksen 25 mm Johnson mastarı ile ölçümünün gösterimi.	28
Şekil 5.7. Y eksen 25 mm Johnson mastarı ile ölçümü.	29
Şekil 5.8. Y eksen 25 mm Johnson mastarı ile ölçümünün gösterimi.	29
Şekil 5.9. Z eksen 25 mm Johnson mastarı ile ölçümü.	30
Şekil 5.10. Z eksen 25 mm Johnson mastarı ile ölçümünün gösterimi.	30
Şekil 5.11. Geçer geçmez mastar ölçüm deneyi.	32
Şekil 5.12. Geçer geçmez mastar yazılım görünümü.	32
Şekil 5.13. Geçer geçmez mastar ölçümünün gösterimi.	33
Şekil 5.14. Deney numunesi teknik resmi.	34
Şekil 5.15. Deney numunesi.	34
Şekil 5.16. Koordinat ölçüm cihazı testleri.	35
Şekil 5.17. Koordinat ölçüm cihazı SolidWorks sonuçları.	36
Şekil 5.18. Hexagon Dea CMM cihazı.	36

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 5.1. Komparatörün X eksenindeki hassasiyet değerleri.	25
Çizelge 5.2. Komparatörün Y eksenindeki hassasiyet değerleri.	26
Çizelge 5.3. Komparatörün Z eksenindeki hassasiyet değerleri.	27
Çizelge 5.4. X, Y, Z eksen 25 mm mastar ölçüm sonuçları.	31
Çizelge 5.5. Geçer geçmez mastar ölçüm sonuçları.	33
Çizelge 5.6. Deney numunesinin koordinat ölçüm cihazı ile testleri.	35
Çizelge 5.7. Deney numunesi test cihazı özellikleri.	37
Çizelge 5.8. Deney numunesi test sonuçları.	37
Çizelge 5.9. İki cihazın sonuçlarının karşılaştırılması.	37



KISALTMALAR

API	Application Programming Interface- Uygulama Programlama Arayüzü
CAD	Computer Aided Design - Bilgisayar Destekli Tasarım
CMM	Coordinate Measuring Machines - Koordinat Ölçüm Cihazı
CT	Computer Tomography - Bilgisayarlı Tomografi
DLL	Dynamic Link Library - Dinamik Link Kütüphanesi
ISO	International Organization for Standardization - Uluslararası Standart Organizasyonu



SİMGELER

A	Amper
mm	Milimetre
Nm	Newton metre
V	Volt
Ø	Daire çapı
μ	Mikron



ÖZET

KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZININ TASARIMI VE PROTOTİPİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Mustafa DENİZLİ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ

Haziran 2020, 43 sayfa

Bu çalışmada, X, Y, Z koordinat eksenlerinde hareket eden ve cismin boyutlarını karşılaştırarak ölçülerini nokta bulutu olarak kaydeden koordinat ölçme cihazının prototipi yapılmıştır. X, Y, Z eksenlerindeki çalışma mesafeleri 500 mm olarak belirlenmiş ve her eksen limit anahtar ile sınırlandırılmıştır. Kaydedilen nokta bulutlarının modellenmesinin gerçekleştirilebilmesi için Visual Studio 2015 içerisinde Visual Basic programlama dilinde bir arayüz tasarlanmıştır. Bu yazılım ile prob cisme dokunduğunda X, Y, Z eksen formatında koordinat değeri almaktadır. Bu değerler satır satır arayüzde görülmekte aynı zamanda metin belgesi olarak kaydedilecektir. Yazılım arayüzünden SolidWorks API (Application Programming Interface - Uygulama Programlama Arayüzü) kütüphanesi yardımı ile nokta bulutlarını birleştirilerek koordinatları kaydedilen cismin son modellenmesi gerçekleştirilmektedir. Prototipi yapılan koordinat ölçme cihazının performans testlerinde komparatör ölçümleri sonucu X ekseninde 0,043 mm, Y ekseninde 0,0354 mm, Z ekseninde 0,0385 mm ortalama bulunmuştur. Cihazın hassasiyeti komparatörle ölçümler sonucunda çıkan en büyük 0,043 mm değeri cihazın eksenlerinin hassasiyeti olarak kabul edilmiştir. Prob bağlanarak yapılan ölçümlerde X ekseninde 0,14 mm, Y ekseninde 0,13 mm, Z ekseninde 0,09 mm ortalama hassasiyet sonuçları bulunmuştur. Deney numunesi üzerinde yapılan testlerde en büyük ölçüm farkı 0,09 mm, en küçük ölçüm farkı 0,07 mm olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda probun genel hassasiyeti 0,14 mm olarak kabul edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Koordinat ölçme, Prob, Nokta bulutu, SolidWorks API.

ABSTRACT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF PROTOTYPE OF COORDINATE MEASURING MACHINE

Mustafa DENİZLİ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Manufacturing
Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa AYYILDIZ

June 2020, 43 pages

In this study, the prototype of a coordinate measuring machine, which moves along the X, Y, Z coordinate axes, compares the dimensions of an object, and records its measurements as a point cloud was made. Working distances on the X, Y, Z axes were determined as 500 mm, and each axis was limited by a limit switch. In Visual Studio 2015, an interface was designed in Visual Basic programming language to model the recorded point clouds. When the probe touches the object, this software gets the coordinate value in X, Y, Z axis format. These values are displayed line by line in the interface and are also saved as a text file. By using the software's interface, the final modelling of the object, whose coordinates are recorded, is obtained by combining its point clouds with the help of SolidWorks API (Application Programming Interface) library. In the performance tests of the prototype coordinate measuring machine, averages were found as 0,043 mm on the X axis, 0,0354 mm on the Y axis and 0,0385 mm on the Z axis as a result of the measurements made with the dial gauge. 0,043 mm largest value obtained from the measurements made with the dial gauge was accepted as the accuracy of the machine's axes. In the measurements made by connecting the probe, average results were found as 0,14 mm on the X axis, 0,13 mm on the Y axis and 0,09 mm on the Z axis. In the tests carried out on the test sample, the largest measurement difference was 0,09 mm, and the smallest measurement difference was 0,07 mm. In line with these results, the overall accuracy of the probe was accepted as 0,14 mm.

Keywords: Coordinate measuring machine, Prob, Point cloud, SolidWorks API.

1. GİRİŞ

Koordinat ölçüm cihazları bir parça üzerinden nokta alıp bu aldığı noktaları bir yazılım aracılığı ile bilgisayar ortamında birleştirerek 3 boyutlu hale getiren bilgisayar destekli cihazlardır. İngilizce “Coordinate Measurement Machines” kelimelerinin baş harflerinden oluşarak CMM olarak adlandırılmaktadır. Bu cihazlar ile özellikle zaman tasarrufu sağlanmakta, istenilen ölçü düzeylerinde verimli hassas veriler elde edilmektedir. Tüm koordinat ölçüm cihazlarının üç boyutlu koordinat sisteminde çalışan birbirine dik üç eksen (X, Y ve Z) vardır. Bu eksenlerden alınan koordinat verisi ile yazılımlar aracılığı ile çeşitli çizim programlarına aktarılıp geometrik şeklin son hali görülebilmektedir. Koordinat ölçüm cihazları 1950’li yılların sonlarına doğru ilk çalışmalar ortaya çıkmaktadır. İskoçya Dalkeith’te Ferranti Ltd. firması bilgisayarla bağlantılı bir çalışma ortaya koyarak ilk adımlarını bu tarihlerde meydana getirmektedir [1].

1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

CMM ile ölçümler üzerinde hata telafisini hedefleyen çeşitli hesaplama teknikleri kullanarak daha az sayıda ölçüm noktasından daha hassas sonuçlar elde edilebilir. Bu konuda farklı yaklaşımlar söz konusudur. Örneğin, Cappetti ve arkadaşları tarafından sunulan ve ölçüm için yapılan düzeltmelerde bulanık mantık algoritmasına dayanan yenilikçi bir yaklaşım ortaya koymuştur. Bu algoritma sayesinde çok hassas ölçümler istendiğinde çok sayıda noktada ölçüm yapılması sonucunda işlem süresini önemli derecede azalttığını kanıtlamıştır [2]. Kollu CMM’ler büyük parçaların ölçümünde veya diğer CMM’lerin ulaşmakta zorlandığı yerlerdeki ölçümlerde önemli bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu noktada hassas ölçümlerin gerçekleştirilmesi için kalibrasyon çalışmaları yapılması gerekmektedir. Parametrelerin ve her gözlemin istatistiksel değerlendirmesini sağlamak için bu yönde yeni bir yaklaşım Dupuis ve arkadaşları tarafından sunulmuştur [3]. Wang ve arkadaşları prob yarıçap telafi yöntemi ile birlikte farklı yöntemler ileri sürerek daha doğru ölçüm doğruluğunu yakalamışlardır [4]. CMM’lerde ölçüm belirsizliğini tespit etmeye yönelik yöntemler çoğu durumda

karmaşık, maliyetli ve zaman almaktadır. Bu yönde bir örnek Ostrowska ve arkadaşları tarafından sunulmuştur. Ölçümün çok sayıda tekrarlanması gerektirmeyen ve önemli miktarda maliyet tasarrufu sağlayan sanal eklem kollu koordinat ölçüm cihazlarının çalışma ilkeleri ve farklı modellerle karşılaştırılmalarının detaylarını yaptıkları yayında açıklamışlardır [5]. CMM uygulamalarında, parçaların yüksek hassasiyetle ölçümünün gerekli olduğu durumlarda ağırlıklı olarak dokunmatik ölçüm yöntemi kullanılır. Bu yaklaşımda dinamik hatalar toplam hatalar içinde önemli bir yer alır. Bu nedenle dinamik performans önemli bir araştırma konusu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yöndeki bir çalışma CMM'lerin dinamik performansını incelemek için yeni bir yöntem öneren Wozniak ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmaları ölçüm sırasında ölçülen yüzeye uygulanan basınç kuvvetinin özelliklerinin incelenmesi için kuvvet sensörüne bağlı bir açılı nesne kullanılmasını esas almaktadır [6]. Bir CMM'nin 3 eksenine entegre edilen 2 eksenli döner prob sistemi makinenin 5 eksenli şekilde ölçüm yapmasına imkan verir. 5 eksenli yaklaşımın önemli bir avantajı, belirli geometrilerdeki parçalar üzerinde çalışıldığında, CMM sabit kalırken probun hareket edebilmesi ve ölçüm yapabilmesidir. 3 eksenli ve 5 eksenli yöntemlerin karşılaştırılmasına yönelik olarak Sousa tarafından gerçekleştirilen bir çalışma 5 eksenli yöntemin önemli potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır [7]. Ölçülen parça, operatör, ortam koşulları gibi çeşitli etmenler dokunmatik koordinat ölçümlerinin performansını etkilemektedir. En iyi ölçüm parametresi kombinasyonlarının seçimine ilişkin sistematik bir yöntem Magdziak ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [8]. Koordinat ölçüm tekniği üretim süreçlerinde yaygın şekilde kullanım bulan, kendini kanıtlamış bir teknik olmasına rağmen bazı sınırlamalar vardır. Bu sınırlamalar ölçüm sonuçları üzerinde önemli etkiler yapabilmektedir. Bu sınırlamaların en önemlileri dokunmatik yöntemle ölçüm bağlamında Swornowski tarafından ele alınmıştır. Söz konusu çalışma ISO 10360-2 standardının sorunlarını, ölçüm bileşenlerinin (CMM, bilgisayar, yazılım) kullanımına ilişkin kısıtlamaları ve genel kabul gören kalibrasyon prosedürlerini eleştirel şekilde incelemekte ve mevcut durumda iyileştirme sağlayacak öneriler sunmaktadır [9]. CMM ölçümlerinde en uygun ölçüm yolunu belirleyerek inceleme zamanının minimize edilmesi önem taşımaktadır. Ölçüm sırasınca CMM probu, inceleme planına bağlı olarak parçanın çeşitli kısımlarına gider. Ölçüm çevrim süresinin azaltılmasına yönelik farklı algoritmalar kullanılmaktadır. Dokunmatik tetik probu ile teçhiz edilen sabit bir CMM'de en uygun ölçüm yolunun belirlenmesinde genetik algoritma ve benzetimli tavlama algoritmasının karşılaştırmalı bir analizi Mian ve arkadaşları tarafından sunulmuştur [10]. CMM'lerde

makinenin numuneye temas ettiği prob sistemi en önemli parçalardan birisidir. Ancak, prob ucunun şekli ve numuneyle temas kuvvetinden ötürü ortaya çıkan deformasyon sistematik hatalara yol açabilmektedir. Bu hataları telafi etmeye yönelik olarak Liang ve arkadaşları önemli bir çalışma ortaya koymuşlardır [11]. Yüksek hassasiyette ölçümler için CMM'ler kalibre edilmelidir. Furuntani ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada en uygun ölçüm kalibrasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında farklı CMM'leri, nesneleri ve ölçüm seçeneklerini karşılaştırıp uygun ölçüm seçeneğini seçerek belirsizliğin minimize edilebileceğini göstermişlerdir [12]. CMM'ler köprü, sütun, yatay kollu, eklem kollu gibi farklı tiplerde tasarlanabilir. Her tipin belirli uygulamalar için kendine özgü avantajları olsa da tasarımın en önemli unsuru ölçümlerde başlıca hata kaynaklarına karşı yüksek seviyede yinelenebilirlik ve tahmin edilebilirliktir. Sonlu eleman analizi tasarım aşamasında önemli imkânlar sağlayabilmektedir. Köprü tipi bir CMM'nin farklı yük koşulları altında dinamik yapısal davranışını belirlemede sonlu eleman analizi kullanılarak deformasyonların matematiksel bir modelinin elde edildiği bir çalışma Tulcan ve arkadaşları tarafından sunulmuştur [13]. Önemi giderek artan yüksek hassasiyette imalat, yüksek doğrulukta ölçüm ekipmanları gerektirmektedir. Bu ihtiyaca yönelik bir tez çalışması gerçekleştiren Ruijl yüksek hassasiyetli CMM cihazı yapmış ve bu alanda çalışacak araştırmacılara bazı geliştirmeler önermiştir [14]. Bir başka çalışmada Mikro CMM modeli Fan ve arkadaşları tarafından önerilmiştir. Çalışmalarında daha iyi doğruluk için eksen hareketi, prob, geri bildirim sensörü, hareket kontrolü gibi kısımlarda da yenilikler önermiş ve bunların sınırlamalarını tartışmışlardır [15]. Bir iş parçasının geometrik verilerinin, CMM'nin uç bilyesi ile temas noktalarında elde edilebilir olması tercih edilir. Bununla birlikte, CMM'lerin çoğu, prob ucu bilyesinin temas noktası yerine merkez konumunu okur ve temas noktasını bilyenin merkezinden hesaplayarak tahmin eder. Bunu çözmek için yeni bir yaklaşım Park ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [16]. İmalat sanayinde sürekli yükselen beklentiler koordinat ölçüm teknolojilerinde araştırmacıları yeni çözümler bulmaya yönlendirmektedir. Bu yöndeki son tekniklerden birisi bilgisayarlı tomografidir. Tıp alanında uzun süredir kullanılmakta olan bilgisayarlı tomografi son 15 yıldır 3 boyutlu cisimlerin teknik görüntülenmesinde de kullanılmaya başlanmıştır. Yöntemin kapsamlı bir incelemesi Gapinski ve arkadaşları tarafından ele alınmış olup, çalışmalarında bilgisayarlı tomografi (CT - Computed Tomography) cihazını, koordinat ölçüm cihazı (CMM) ve optik tarayıcıyla karşılaştırmışlardır. CMM cihazlarının daha az nokta bulutu aldığı kanısına varmışlardır [17]. Brajlh ve arkadaşları üç boyutlu optik taramanın karmaşık

geometrilerin muayenesinde sunduğu olanakları incelemişlerdir. Çalışmalarında, optik tarama sistemlerinin sunduğu olanakları kafatası implantı üzerinde araştırmışlardır. Optik tarama cihazları koordinat ölçüm cihazlarına karşı ölçüm noktalarının üç boyutlu elde edilmesi avantajını sunarken elde ettikleri veri noktalarının hassasiyeti koordinat ölçüm cihazlarının oldukça gerisinde olduğunu belirtmişlerdir [18]. Gomez ve arkadaşları CT ve CMM sistemlerini karşılaştıran bir çalışma sunmuşlardır. Özellikle, dokunmatik veya görme temelli ölçüm tekniklerinin erişemediği iç bölge geometrileri olan metal bir parçanın karakterize edilmesi ve dokunmatik sistemin mekanik teması ile ince uzun gövdelerinden ötürü esneyen cisimlerin çaplarının, formlarının ve göreceli mesafelerinin değerlendirilmesi problemlerine odaklanmışlardır. Esneyen cisimlerde CMM stratejileri ölçümlerde daha büyük sistematik hatalara yol açtığını CT yönteminin kimi uygulamalarda CMM cihazlarına karşı belirli avantajları bulunduğunu ön görmüşlerdir [19]. Mansour ve arkadaşları yaptıkları çalışmada CMM için otomatik kod üretiminin bir yöntemini tanıtmışlardır. Çalışmaları CMM cihazına uygulanan fiili etkiyle karşılaştırıldığında tam bir başarı göstermiştir. Geliştirdikleri çevrimiçi programlama sistemi CMM cihazının boyutlarının ölçümüne, CMM cihazının grafiksel simülasyonuna, her eleman için kinematik model geliştirilmesine, bir koordinat sistemi seçilmesine, ileri ve geri probleminin matematiksel çözümüne ve asıl kodun geliştirilmesine dayanmaktadır. Sistemlerinin önemli bir avantajı çevrim süresini azaltarak ölçümlerin optimizasyonuna izin vermesidir. Bu tür bir entegre sanal ortamda kullanıcılar, fiziksel cihaz gerekmeden strateji planlayabilir ve ölçüm sonuçlarındaki belirsizliklerini değerlendirebilmektedir [20]. Diğer bir çalışmada ise Melichar ve arkadaşları CMM ölçüm çevrimi üzerinde fiziksel yetenekler, deneyim, dikkat, özen ve diğer özelliklerden etkilenen insan faktörünü incelemişlerdir. İnceleme neticesinde 0,005 mm gibi daha düşük toleranslarda parçanın bağlanması ve sistem noktalarının ilk tanımlanması gibi süreçlerin insan etkileşiminden bağımsız yapılmamasının kabul edilemez sonuçlar ortaya çıkaracağı veya yumuşak plastik parçalar gibi uygulamalarda operatörün etkisinin daha fazla olacağı uyarısında bulunmaktadır [21]. ISO 10360-12 standardı, eklem kollu koordinat ölçüm cihazlarının doğrulama/kabul testleri için bir yöntem tanımlamaktadır. Ancak, söz konusu test uzun zaman kaybına yol açmaktadır. El Asmai ve arkadaşları basit ve güvenilir test yöntemlerine olan ihtiyaca yanıt olarak yeni bir yöntem önermişlerdir. Yöntemlerini sensör hataları, mekanik deformasyon hataları ve kinematik hataları ISO 10360-12 testiyle karşılaştırmışlardır. Daha az ölçüm sayısı kullandıkları çalışmalarında standartla istatistiksel olarak eşdeğer sonuçlar elde etmişlerdir [22].

CMM cihazlarından alınan koordinat verilerinin bilgisayar ortamında değerlendirebilmesi için farklı yazılımlar ve tasarım programları kullanabilmektedir. SolidWorks API (Application Programming Interface - Uygulama Programlama Arayüzü) kütüphanesi yardımı ile nokta bulutlarını birleştirilerek koordinatları kaydedilen cismin son modeli bilgisayar ortamında görülebilmektedir. İmalat sanayinin farklı alanlarında bu tarz çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin ark kaynağı robotlarının programlanmasında yolu ve duruşu planlamak kritik önem arz etmektedir. Yolu ve duruşu planlama verimliliğini arttırmaya yönelik yazılımlar önemli bir araştırma konusu olup SolidWorks API programlama yardımıyla geliştirdikleri bu tür bir yazılım örneği Li ve arkadaşları tarafından sunulmuştur [23]. Robotik ve kontrol araştırmalarında çok motorlu hava araçları standart platform olmaya başlamıştır. Özellikle açık kaynak mimari ve satışa hazır bileşenler sundukları düşük maliyet ve hızlı prototip gelişme imkanları nedeniyle araştırmacıları tarafından rağbet görmektedir. Bu araçların geliştirilmesi sürecinde simülasyondan fiili deneye geçiş gerçek sistemlerin önemli dinamik farklılıkları nedeniyle zorlu bir konudur. Bu bağlantıyı güçlendirme yönünde Bilgisayar Destekli Tasarım modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Shaqura ve arkadaşları bu yöndeki çalışmalarında Quadcopter için gerçekçi matematiksel modeller üretmede Matlab Simscape fizik simülasyonu ve SolidWorks API kütüphanesinden yararlandıkları bir sistem geliştirmişlerdir [24]. SolidWorks ile tasarımda standart dışı parçalar kullanılmak istendiğinde parça modelinin yeniden oluşturulması gerekmektedir. VBA, VB, C, C++ gibi programlama dilleri SolidWorks için geliştirme araçları olarak kullanılabilir. Sun ve arkadaşları Visual Basic kullanarak SolidWorks için standart dışı parçalar kütüphanesi geliştirme yönünde bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [25]. Xiao-bo ve arkadaşları pervane çalışmaları geliştirirken Visual Basic 6.0 programı içinden SolidWorks API fonksiyonlarını kullanmıştır. Tasarım planları boyutları tanımlanmış standart bir modelin seçilmesi, çizilmesi, kaydedilmesi, ardından değişken parametrelerinin tanımlanması, bunu takiben modelin geometrisini değiştirmek için Visual Basic 6.0 arayüzünden ilgili değişken parametrelerin alınması ve değiştirilmesi için API nesnelerinin çağırılması ve yeni pervanenin dijital modelinin oluşturulması sıralamasını takip etmektedir. Sistemleri, pervane tasarımında hızı ve hassasiyeti artırma yanında tekrarlayan işleri azaltma ve nihai tasarımın kalitesi ve verimliliğini artırma gibi avantajlar sunmaktadır [26]. Hemen her sanayide önemli yeri olan rulmanların modellenmesi ile ilgili yapmış oldukları çalışmada Reddy ve arkadaşları SolidWorks ve Microsoft Access kullandıkları bir rulman kütüphanesi geliştirmişlerdir. Bu

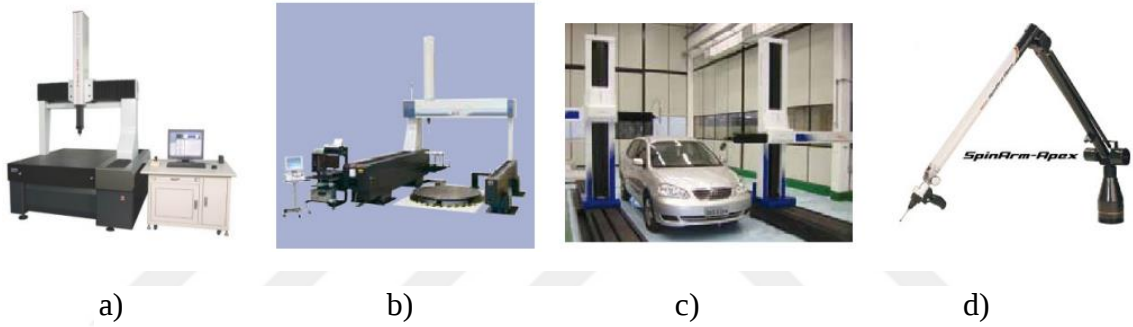
alışmalarıyla birlikte rulman tasarlama ve modellemeyi önemli ölçüde hızlandırmışlardır [27]. Robotik sistemler için robot mekanizmalarının tasarlanmasında, robotların davranışlarının simülasyonunda ve istenen yörüngelerin planlanmasında CAD araçlarını yoğun şekilde kullanılmaktadır. Yörüngeden, görev tanımından, grafik simülasyonuna ve doğrulamaya kadar bir sanayi robotunun planlanması için gerekli tüm aşamaları kapsayan bir yaklaşım Meddahi ve arkadaşları tarafından sunulmuştur. SolidWorks API ve Visual Basic kullanarak geliştirdikleri simülasyon sistemlerini punto kaynak robotu üzerinde uygulayarak gerçek bir seri robot için kullanılabilecek robot hareket yörüngelerini elde etmişlerdir [28].

Bu çalışmada koordinat lme cihazı tasarımı ve imalatı yapılmış, tezgâhın eksen hassasiyetleri komparatör aracılığıyla test edilmiş, ölçüm sırasında (X, Y, Z) eksen bilgisi kaydedilip, SolidWorks API fonksiyonları kullanılarak Visual Basic programlama dilinde geliştirilen bir yazılım yardımıyla SolidWorks tasarım programına aktarılmaktadır. Tasarlanan arayüz geliştirilmeye açık bir yapıda olduğu için yapılacak çalışmalara nc olacaktır.



2. KOORDİNAT ÖLÇME TEKNOLOJİSİ

Koordinat ölçüm teknolojisi imalatın neredeyse tamamında kullanıma yer bulmaktadır. Koordinat ölçüm cihazları X, Y, Z koordinat ekseninde çalışarak ölçüm yapmayı sağlamaktadır. Koordinat ölçme cihazları ölçüm yapan probu hareket ettirerek cismin üzerindeki uzaysal koordinatları tespit etmeyi sağlar. Bu cihazlar temel bir gövde, kayıt ve kızak, kontrol ünitesi, motor, elektronik cetveller, prob ve yazılım gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Kullanım amaçlarına bağlı olarak çeşitleri bulunmakta ve bunlar Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. CMM çeşitleri a) Köprü b) Gantry c) Yatay kollu d) Kollu [29].

Köprü tipindeki cihazlar için kontrol ünitesi, yazılımdan alınan komutla birlikte servo motorun tetiklenmesi sağlanır. Bu şekilde hareket verilir ve prob aracılığı ile cismin üzerine temas ederek veri alınır. Alınan veriler yazılım yardımıyla modellenmeye uygun hale getirilir [29]. CMM’ler genellikle tersine mühendislik alanında karşımıza çıkmaktadır. Katı ve yüzey modelleme işlemlerinde istenilen şekilde ölçüm sağlamaktadır.

2.1. KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZLARININ KULLANIM ALANLARI

Koordinat ölçüm cihazları imalat sanayi, otomotiv, uçak ve savunma sanayi ve kalıpcılık gibi birçok sektörde uygulama alanına sahiptir. Tersine mühendislik kavramı ile mevcut bir parçadan alınan koordinat verileri ile bir model çıkarmaya yardımcı olur. Tersine mühendislik gerçekte olan numunelerin veya sistemin kopyalanması, daha işlevsel hale getirilecek duruma getirilmesi veya karmaşık geometrik parçaların yeniden

modellenmesinde uygulanan bir yaklaşımdır. [30]. Üretici firmaların çoğu model geliştirmede İngilizce (Computer Aided Design) baş harflerinden oluşan CAD yani Bilgisayar Destekli Tasarım programlarına başvururlar. CAD tasarım programları 3 boyutlu tasarım modellemeleri oluşturmada kullanılmaktadır. Modeli elinde olmayan üreticilerin tersine mühendislik yöntemi kullanarak CAD ile modellemeye gidilebilmesi için koordinat ölçme teknolojisine başvururlar.

2.2. KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZLARININ AVANTAJLARI

Koordinat ölçüm cihazları ile dişli, krank mili, kam gibi çeşitli karmaşık yüzeye sahip parçalar ölçülebilmektedir. Bunun yanında boyutu büyük parçaların ölçümlerinde de kullanılmaktadır. Bu cihazlar ile parçaya zarar vermeden, şeklini bozmadan ölçü kontrolü yapabilmek mümkündür. Genellikle koordinat ölçüm cihazları taşınabilir durumdadır. Buda ölçülecek parçaların yer değiştirmesinde meydana gelebilecek iş gücü ve zaman kaybını ortadan kaldırmaktadır. İş parçalarının ölçüm kontrollerinin gerçekleşmesinde kısa sürede sonuç alınabilmektedir. Özellikle taşınabilir cihazlarda ölçülecek parçaların sökölüp takılmasını engelleyerek veya imalat, otomotiv, uçak sanayinde taşınamayan parçaların ölçülmesinde meydana gelebilecek zaman kaybında büyük bir tasarruf sağlamaktadır. Bunun yanında model çizimi olmayan mevcut bir numunenin CAD programlarına aktarılabilmesi ve üzerinde değişiklikler yapılabilmesi için olanaklar sağlamaktadır [31].

2.3. KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZLARI DOĞRULAMA STANDARTLARI

Koordinat ölçüm cihazları için şuanda ISO tarafından yayınlanmakta olan ISO 10360 standardına uygun şekilde testler ve kabuller yapılmaktadır. ISO 10360 standardı detayı şu şekildedir;

- ISO 10360-1: Bu standart, koordinat ölçme cihazları ve bu cihazların kabul ve yeniden doğrulama testleri için olan terimleri ve tarifleri içermektedir.

- ISO 10360-2: Temaslı proba çalışan kartezyen CMM'ler için kabul ve yeniden doğrulama testlerini içermektedir.

- ISO 10360-3: 4 eksenli koordinat ölçme cihazlarının performansının, üreticisinin bildirdiği değerde olduğunu doğrulayan kabul testini kapsamaktadır.

•ISO 10360-4: Tarama modunda ölçme gerçekleştiren CMM'lerin performans ve yeniden doğrulama testlerini içermektedir.

•ISO 10360-5: Çoklu prob ucuna sahip CMM'lerin performansının kabul ve periyodik olarak yeniden doğrulama testlerini kapsamaktadır.

•ISO 10360-6: Koordinat ölçümlerinde ilgili özelliklerin hesaplanması için kullanılan yazılımın kontrolü ve hata tespitlerini içermektedir.

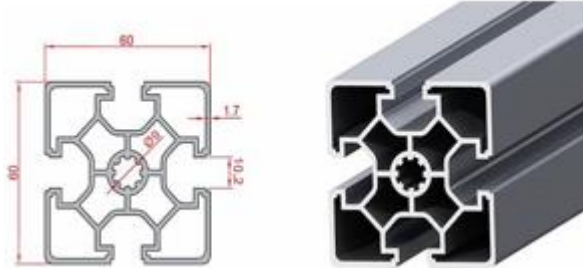
•ISO 10360-7: Görüntüleme problu koordinat ölçme cihazlarının kalibrasyon ve kabul testlerini içermektedir.

•ISO 10360-8: Optik mesafe sensörlü CMM'lerin kabul ve yeniden doğrulama testlerini kapsamaktadır.

•ISO 10360-9: Çoklu probta ölçüm gerçekleştiren sistemleri kullanan çeşitli tasarımlardaki koordinat ölçme cihazlarının performansını test etmek için olan prosedürleri tanımlamaktadır [32].

3. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZI TASARIM VE İMALATI

Koordinat ölçüm cihazının imalat sürecine geçilebilmesi için bir tasarım aşaması oluşturulmuştur. Bu aşamada belirlenen ölçülerde tasarım yapılması, kullanılacak malzemelerin seçimi ve standart elemanlar belirlenip SolidWorks 2016 programında tasarlanmıştır. Cihazın ana taşıyıcı kısmı 60x60 sigma profilden oluşturulmuştur. Düzgün, ağırlık bakımından hafif olması ve kolay montajlanabilir profiller olması sebebiyle tercih edilmiştir. Sigma profiller Şekil 3.1’de verilmiştir.

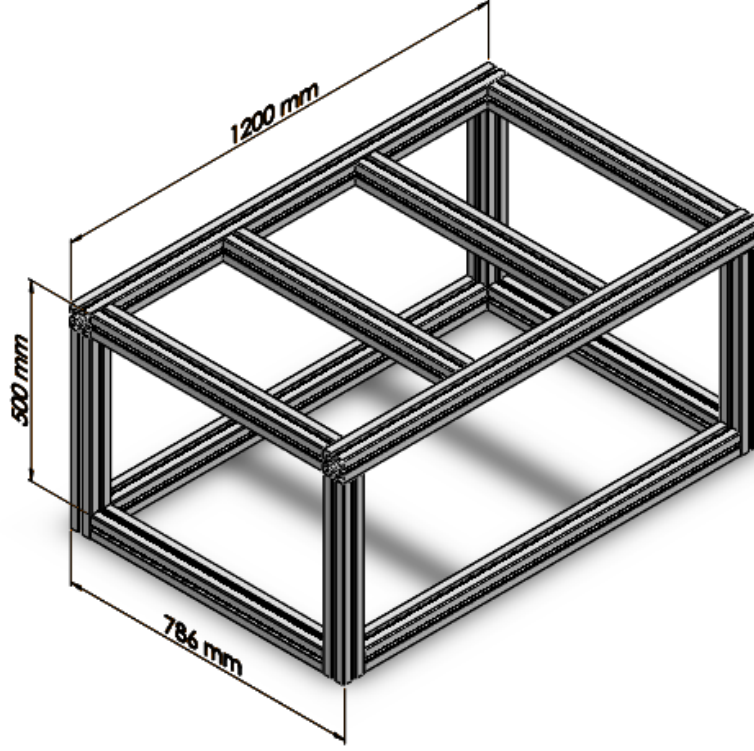


Şekil 3.1. 60x60 sigma profil kesit görünümü.

Köşe birleşimlerini sabitlemek, şase ile konstrüksiyonun dayanım ve mukavemetini artırma düşüncesiyle köşe bağlantıları kullanılmıştır. Şekil 3.2’de köşe bağlantısı, Şekil 3.3’de koordinat ölçme cihazının taşıyıcı gövde gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Köşe bağlantısı.

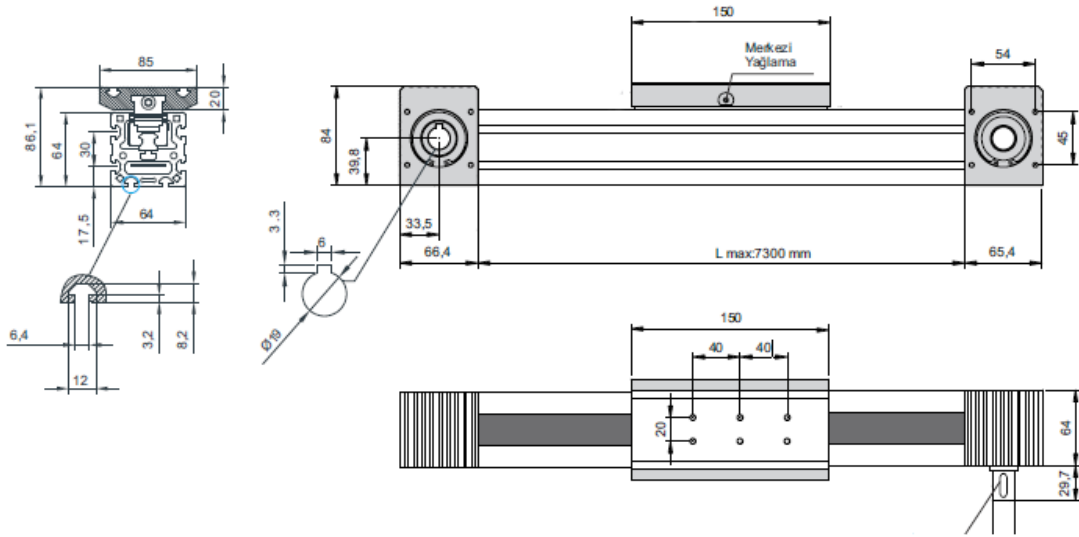


Şekil 3.3. Koordinat ölçme cihazının taşıyıcı gövdesi.

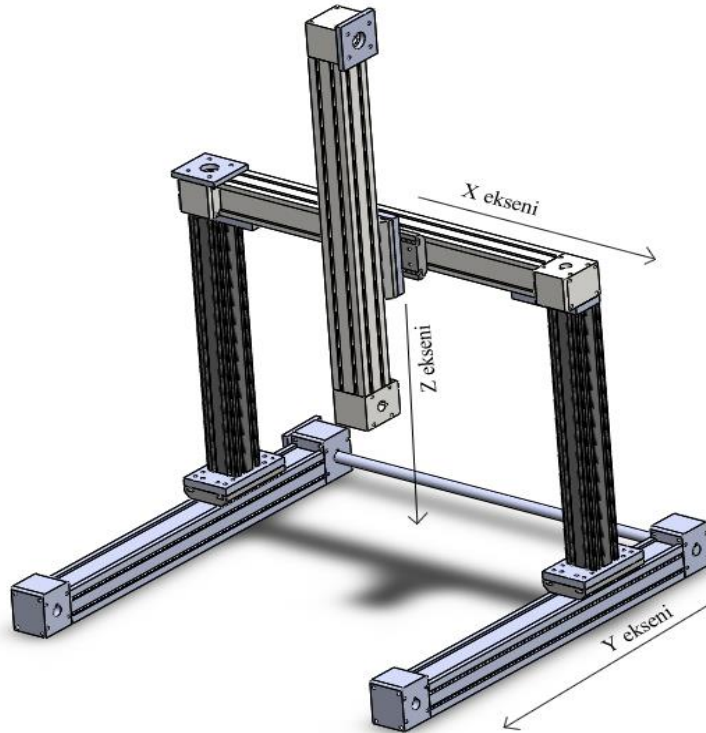
Cihazın X, Y, Z yönünde hareket edebilmesi için doğrusal hareket modülü kullanılmıştır. Doğrusal hareket modülü, 64x64 alüminyum 6063 profilden imal edilmiştir. İletim Z26-5M-30F triger kayış ile sağlanmaktadır. Hareket hızı 5 m/sn ve bir turu 130 mm yol olarak, pozisyon konumlama hassasiyeti 0,01 mm olarak tasarlanmıştır. Doğrusal hareket modüllerinin X, Y, Z eksenlerindeki çalışma mesafeleri 500 mm olarak belirlenmiş, çalışma hacmi 500 mm³ ve her eksen limit anahtar ile sınırlandırılmıştır. Şekil 3.4’de doğrusal hareket modülü, Şekil 3.5’de teknik resmi gösterilmiştir. Şekil 3.6’da doğrusal hareket modüllerinin montajı verilmektedir. Şekil 3.7’de cihazın taşıyıcı gövdesi üzerinde doğrusal hareket modülünün montajı gösterilmektedir.



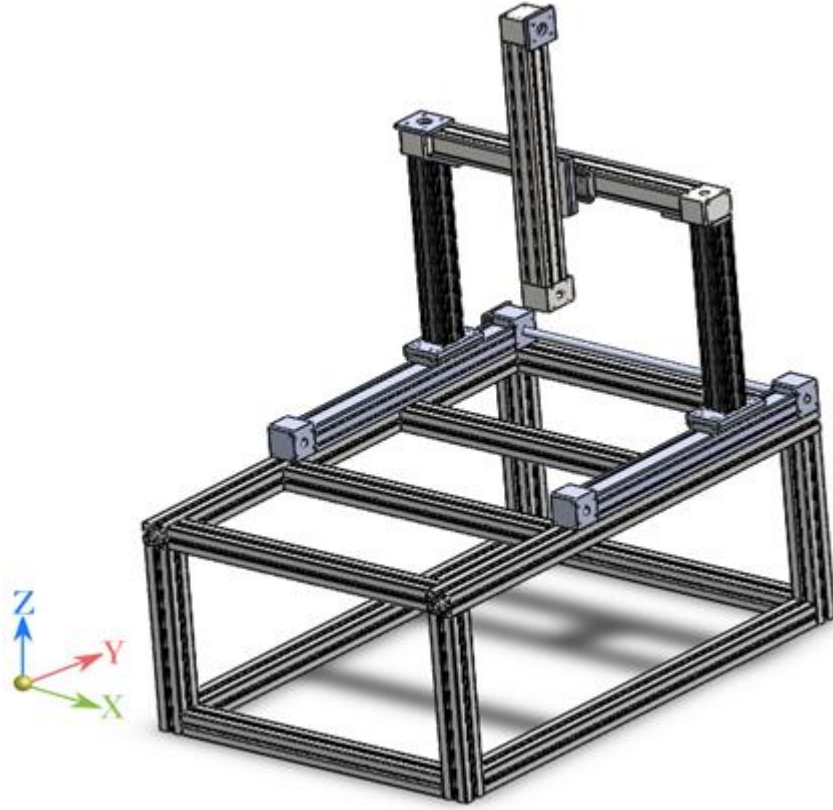
Şekil 3.4. Doğrusal hareket modülü.



Şekil 3.5. Doğrusal hareket modülü teknik resim.



Şekil 3.6. Doğrusal hareket modüllerinin montajı.

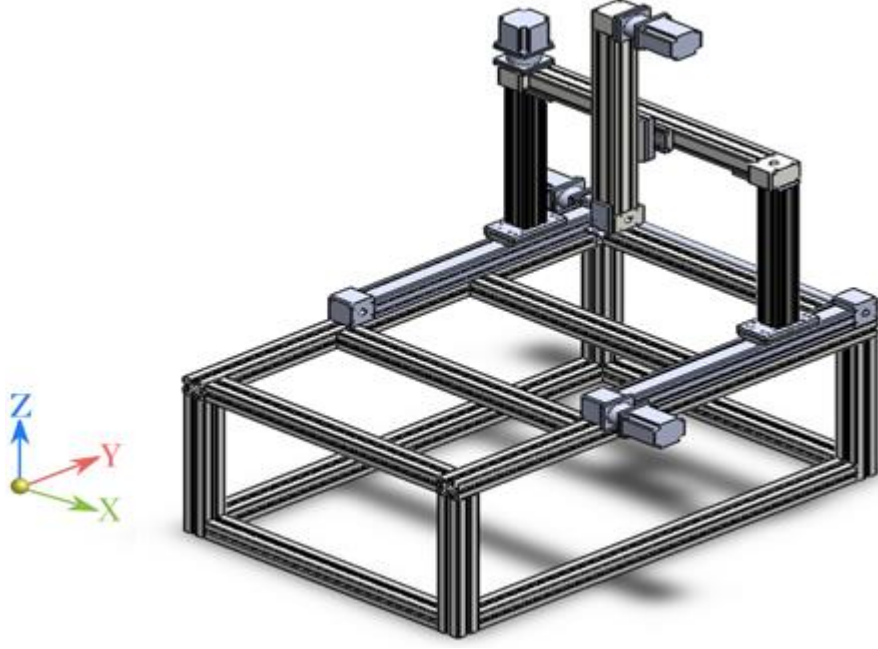


Şekil 3.7. Taşıyıcı gövde üzerine doğrusal hareket modülü montajı.

Cihazın eksenlerde istenilen hareketleri gerçekleştirebilmesi için motor kullanımı gerekmektedir. Maliyeti düşürmek için 86BHH114-450p-40Mp 6,2 Nm torka sahip hibrit step motorlar tercih edilmiştir. Step motorların çektiği yükleri karşılayabilecek 8 A gücünde uygun step motor sürücüler tercih edilerek cihaza entegre edilmiştir. Hibrit step motorlara kuvvet vidalı mil üzerinden kaplin aracılığı ile aktarılmaktadır. Kaplin step motorda üretilen dönme hareketini aktaran elemanlardır. Şekil 3.8’de hibrit step motor verilmektedir. Şekil 3.9’da hibrit step motorların cihaza montajı gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Hibrit step motor.



Şekil 3.9. Hibrit step motorların cihaza montajı.

Z eksenine temaslı bir prob montaj edilmiştir. Prob parça üzerinde yazılımdan verilecek hareketler aralığında parçaya dokunarak ve dokunduğu noktaları kaydederek çalışmaktadır. Probun hareketli ucu 45 mm ölçüsündedir. Prob Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Z eksenine bağlanan temaslı prob.

Koordinat ölçümü yapılacak parçaların cihaz üzerinde sabitlenebilmesi ve mengene montajı yapılabilmesi için bir tabla imal edilmiştir. Tabladaki kanallar iş parçasının ve mengineenin bağlantı esnasında rahat takılıp çıkartılabilmesi için ayarlanmıştır. Cihazın çalışma alanı dışında hareket etmemesi için X, Y ve Z eksenine üzerine baskıyla sistemi

durduran limit anahtar kullanılmıştır. Limit anahtar hareket anında temas gerçekleştiğinde tahrik edilerek pozisyon değişimine uğrayan bir anahtardır.



şekil 3.11. Limit anahtar.

Cihazın tüm kontrolü Adlink PCI-8154 hareket kontrol kartı ile sağlanmaktadır. Adlink PCI-8154 kartı doğrusal ve dairesel harekete imkn veren, yüksek hızda tetikleme yapabilen hareket kontrol kartıdır. 5 eksene kadar desteklemekte ve 6.55 MHz pals çıkışına sahiptir. Kartın sürücü ve kütüphaneleri aracılığı ile yazılımdan karta erişim sağlanabilmektedir. Yazılım aracılığı ile üzerindeki fonksiyonlar hibrit step motor sürücüsüne aktarılmaktadır. Hareket kontrol kartı şekil 3.12’de, bağlantı noktaları şekil 3.13’de verilmiştir.

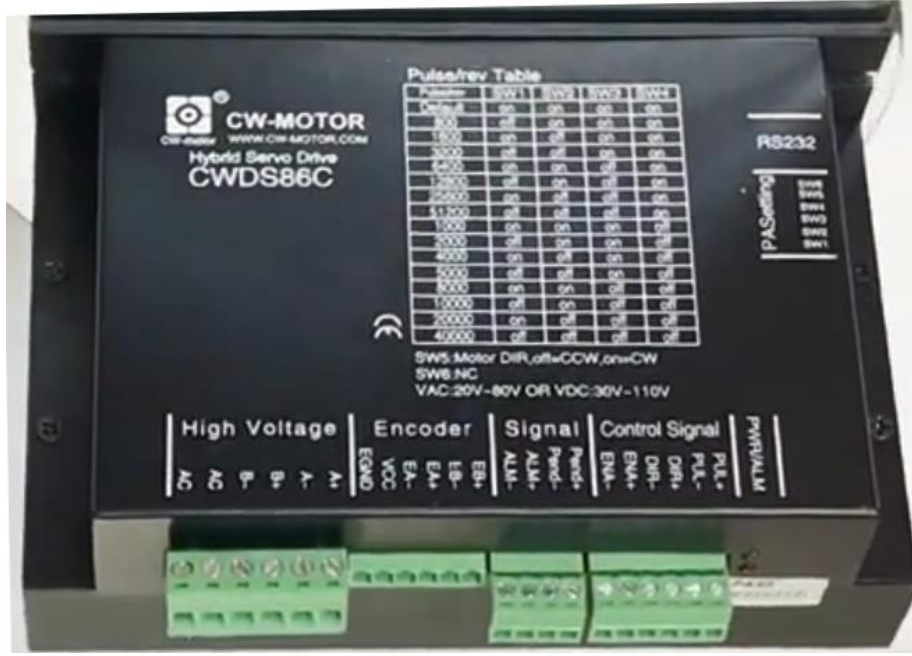


şekil 3.12. PCI-8154 hareket kontrol kartı.

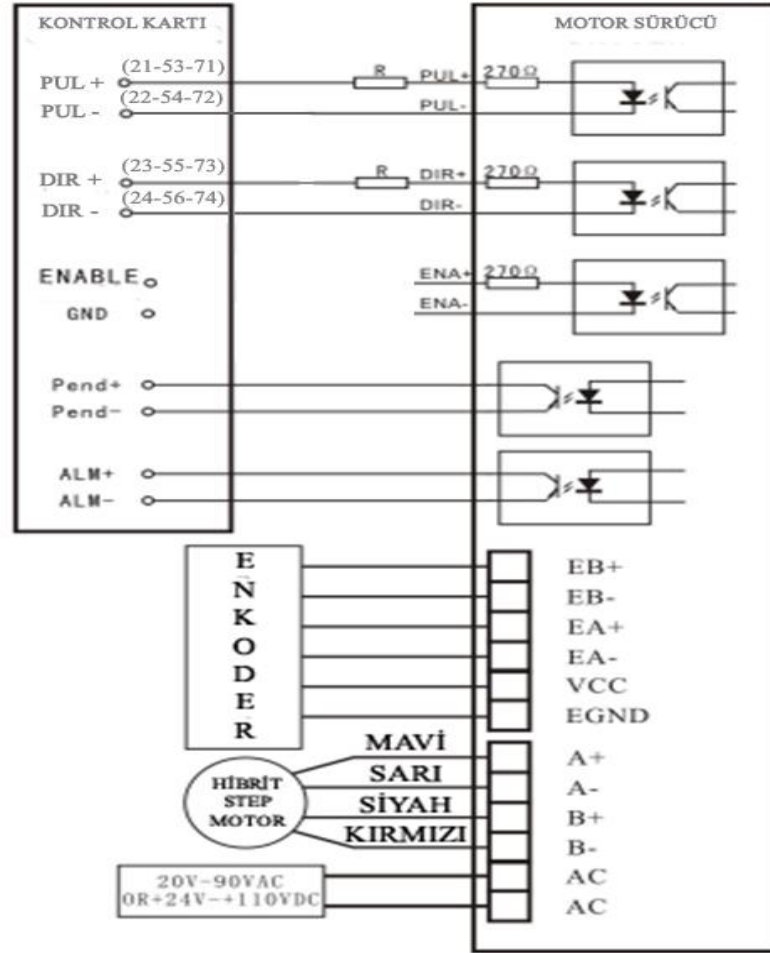
VDD	1	51	VDD	ERC1	26	76	ERC3
EXGND	2	52	EXGND	ALM1	27	77	ALM3
OUT0+	3	53	OUT2+	INP1	28	78	INP3
OUT0-	4	54	OUT2-	RDY1	29	79	RDY3
DIR0+	5	55	DIR2+	EXGND	30	80	EXGND
DIR0-	6	56	DIR2-	EA1+	31	81	EA3+
SVON0	7	57	SVON2	EB1-	32	82	EA3-
ERC0	8	58	ERC2	EB1+	33	83	EB3+
ALM0	9	59	ALM2	EB1-	34	84	EB3-
INP0	10	60	INP2	EZ1+	35	85	EZ3+
RDY0	11	61	RDY2	EZ1-	36	86	EZ3-
EXGND	12	62	EXGND	PEL0	37	87	PEL2
EA0+	13	63	EA2+	MEL0	38	88	MEL2
EA0-	14	64	EA2-	GDI0	39	89	GDI2
EB0+	15	65	EB2+	DO0	40	90	DO2
EB0-	16	66	EB2-	ORG0	41	91	ORG2
EZ0+	17	67	EZ2+	EXGND	42	92	EXGND
EZ0-	18	68	EZ2-	PEL1	43	93	PEL3
VDD	19	69	VDD	MEL1	44	94	MEL3
EXGND	20	70	EXGND	GDI1	45	95	GDI3
OUT1+	21	71	OUT3+	DO1	46	96	DO3
OUT1-	22	72	OUT3-	ORG1	47	97	ORG3
DIR1+	23	73	DIR3+	EXGND	48	98	EXGND
DIR1-	24	74	DIR3-	EXGND	49	99	E_24V
SVON1	25	75	SVON3	EXGND	50	100	E_24V

Şekil 3.13. PCI-8154 hareket kontrol kartının bağlantı noktaları.

Koordinat ölçme cihazındaki motorları sürmek için CWDS86C motor sürücüsü kullanılmıştır. Bu sürücülerin en önemli özelliği motor çalışırken meydana gelebilecek problemleri engelleyebilmesidir. Ani elektrik kesintisi gibi olumsuz durumlarda, süreci algılayıp motora bir uyarı gönderebilmektedir. Bunun sonucunda hibrit step motoru, ortaya çıkabilecek arızalardan korumaktadır. Hibrit step motor sürücüsü Şekil 3.14’de, bağlantı şeması Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



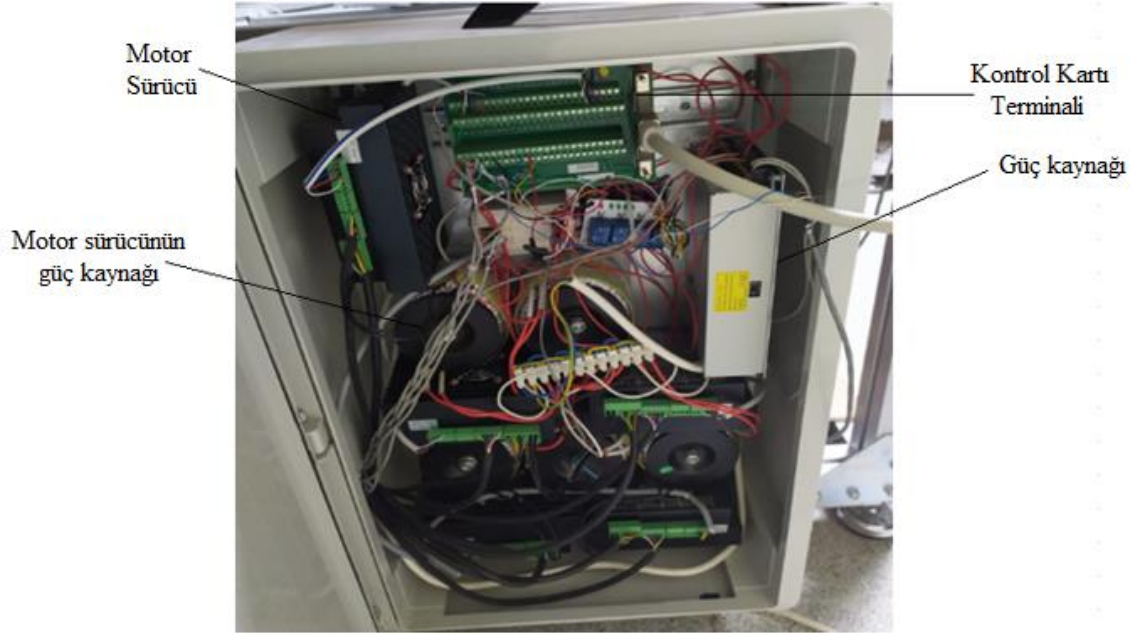
Şekil 3.14. Step motor sürücüsü [33].



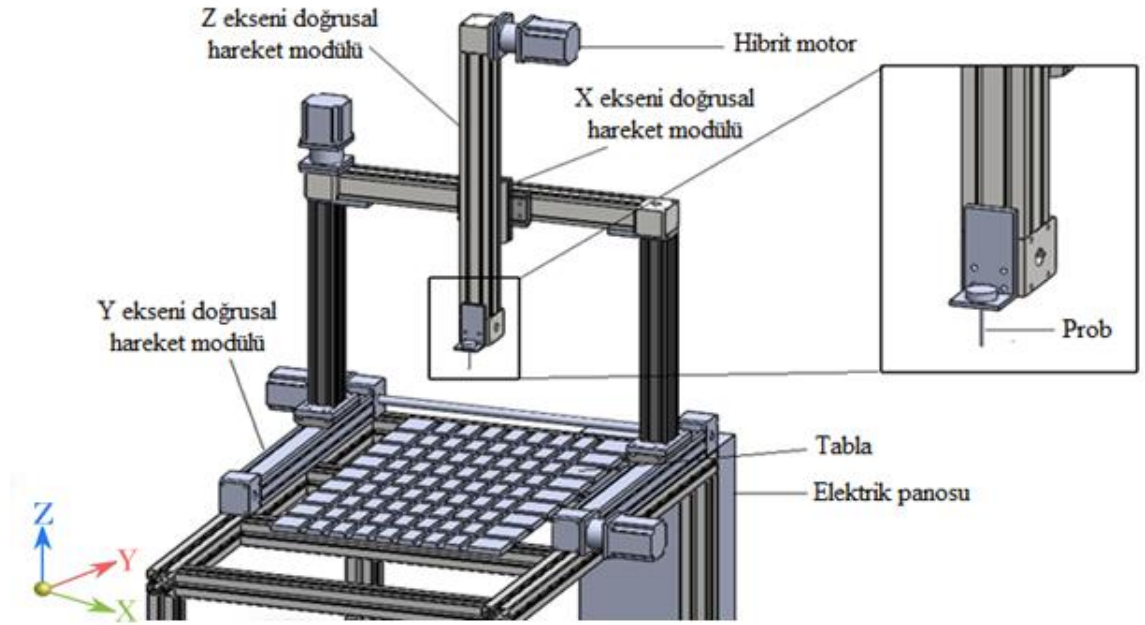
Şekil 3.15. Motor sürücü bağlantı şeması.

24V 10A güç kaynağı kullanılmıştır. Elektrik panosu Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

Koordinat ölçüm cihazının modeli Şekil 3.17’de verilmiştir. Koordinat ölçüm cihazının prototipi Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Elektrik panosu.



Şekil 3.17. Koordinat ölçüm cihazının modeli.



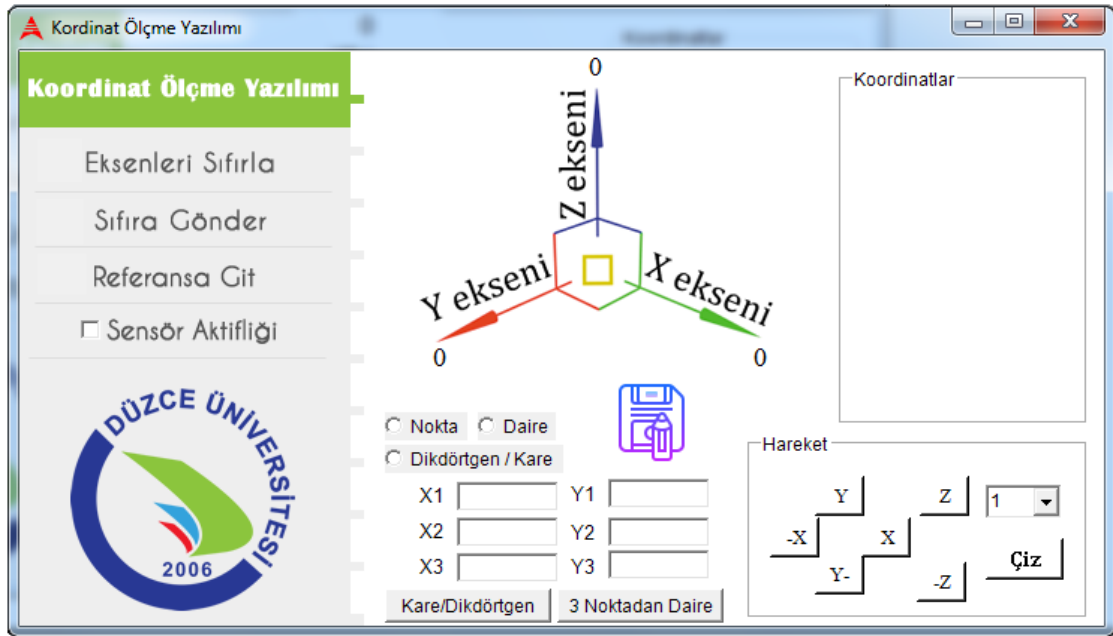
Şekil 3.18. Koordinat ölçme cihazı.

4. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZININ KONTROL YAZILIMI

Koordinat ölçüm cihazının kontrolünü gerçekleştirmek ve nokta verilerinin SolidWorks 2016 tasarım programına aktarılabilmesi için bir yazılım programlanmıştır. Bu aktarımın sağlanması için SolidWorks API kütüphanesinden faydalanılmıştır.

4.1. YAZILIM TASARIMI

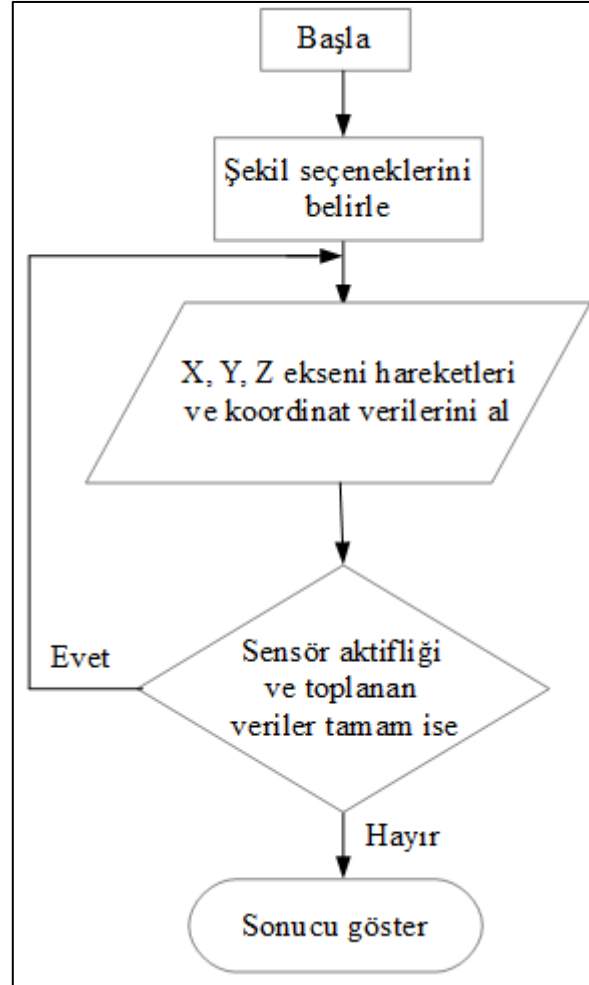
Yazılımın genel amacı 3 eksende istenilen ölçüde hareket sağlayabilmek, bu hareketler sonucu alınan verileri kaydedip aynı zamanda SolidWorks 2016 tasarım programına aktarabilmektir. Yazılım için Visual Studio 2015 programı içerisinde Visual Basic programlama dili tercih edilmiştir. Yazılım arayüzü Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Yazılım arayüzü.

Yazılım içerisinde eksenleri sıfırlama, tezgâhı sıfıra gönder, referansa git ve sensör aktifliği şeklinde seçenekler bulunmaktadır. Eksenleri sıfırlama mantığı X, Y ve Z eksenindeki veriyi 0’a çevirmektir. Sıfıra gönder denildiğinde ise tezgâh başlangıç noktasına gitmektedir. Yani 3 eksen de 0 değerine gidecektir. Referansa git seçeneği ise belirlenen eksen değerlerine gönderecektir. Sensör aktifliği prob cisme geldiğinde doğru bir şekilde ölçünün alınabilmesi için eksenlerdeki hareketi durdurur. Tezgâhın

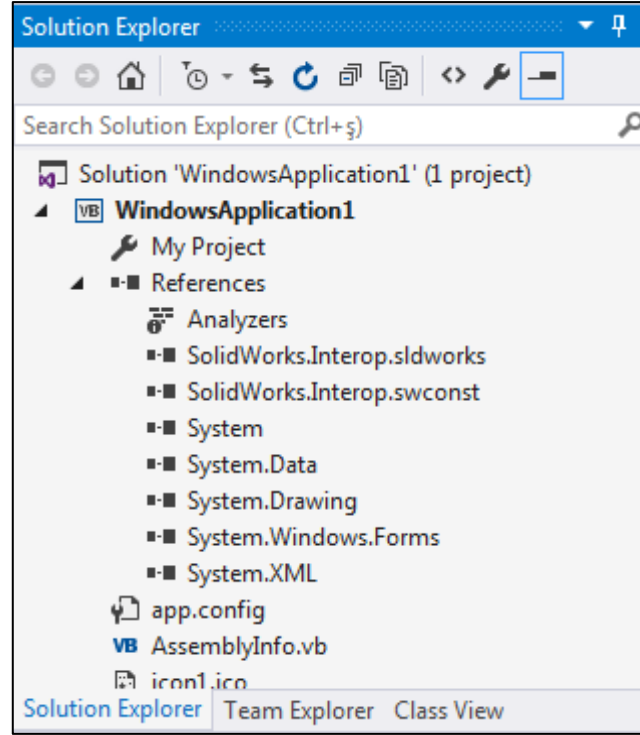
ilerleme hareketleri programın sağ alt tarafında bulunan hareket kısmındaki X, -X, Y, -Y, Z, -Z butonları ile yapılmaktadır. İlerleme hareketleri mm cinsindedir. Bu kısım istenildiği gibi ayarlanabilir. Hassasiyeti 0,01 mm ölçüsündedir. Yazılımın akış diyagramı Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Yazılım akış diyagramı.

4.2. YAZILIMIN SOLİDWORKS İLE ENTEGRESİ

Yazılım üzerinden SolidWorks işlevlerine erişimin sağlanması ve veri gönderilebilmesi için API'lere ihtiyaç duyulur. API'lerin doğru bir şekilde çalışması için yazılımın referanslar kısmına SolidWorks.Interop.sldworks.dll ve SolidWorks.Interop.swconst.dll dosyalarının eklenmesi gerekmektedir. DLL dosyalarının eklenmiş hali Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Dll dosyaları.

Dll dosyaları eklendikten sonra yazılım üzerinden işlem yapıldığı anda SolidWorks tasarım programının otomatik olarak açılması sağlanır. Kodlar Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

```
m_solid.Visible = True
Dim templatePath As String = m_solid.GetDocumentTemplate(CType(swDocumentTypes_e.swDocPART), "", 0, 0, 0)
If model Is Nothing Then
    model = m_solid.NewDocument(templatePath, 0, 0, 0)
End If
If templatePath = "" Then
    MessageBox.Show("Template bulunamadı.")
    Return
End If
```

Şekil 4.4. SolidWorks tasarım programını açtırma.

Yazılımda nokta, daire, dikdörtgen/kare şeklinde 3 adet seçenek düğmesi olan (Radiobutton) kullanılmıştır. 3 seçeneğe ait kodlar Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Kodların içerisinde 1000’e bölüm yapılmasının amacı mm cinsine çevirmektir. Bu 3 seçeneğin çalışma prensibi şu şekildedir;

- Nokta: Ölçülecek cisme dokunan probun X, Y, Z eksenindeki koordinat verilerini devamlı olarak SolidWorks tasarım programına aktarır.

- Daire: SolidWorks tasarım programının 3 noktadan daire oluşturma fonksiyonuna göre çalışır. Her dokunuşta X ve Y koordinatını alır. X1-Y1, X2-Y2, X3-Y3 şeklinde koordine eder. Toplamda 3 dokunuş yapar ve alınan verilerle birlikte daireyi

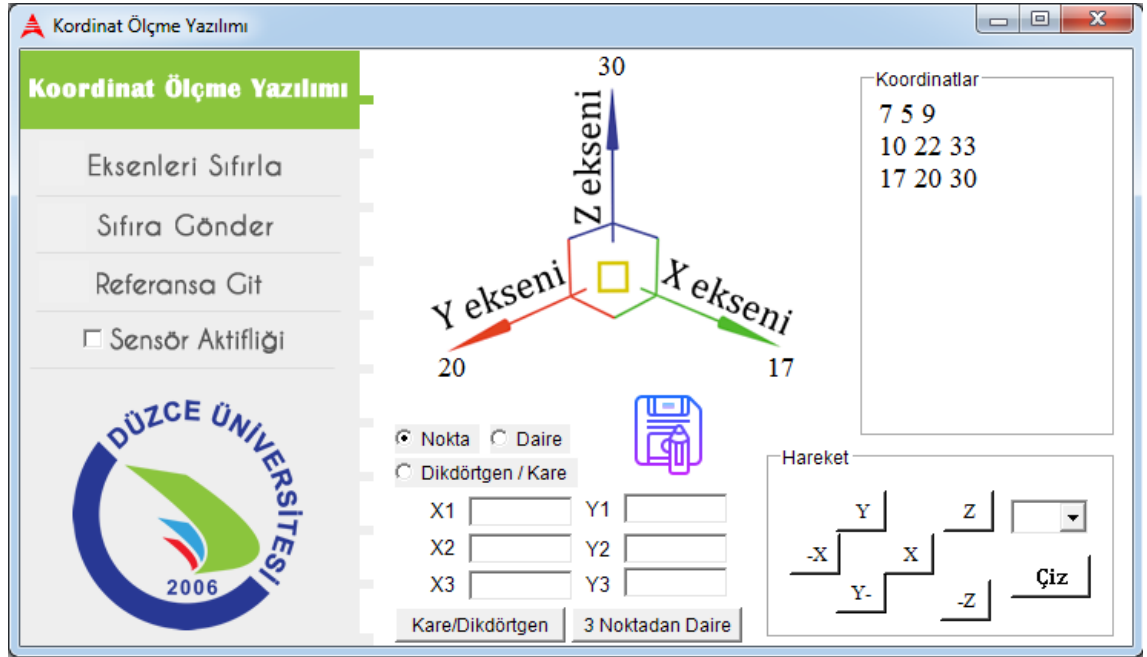
oluşturur.

- Kare/Dikdörtgen: Toplamda 2 dokunuş yapar. X1, Y1, Z1, X2, Y2, Z2 koordinatlarını alır ve oluşturur.

```
If ChkCircle.Checked Then
    model.SketchManager.PerimeterCircle(X1.Text / 1000, Y1.Text / 1000, X2.Text / 1000, Y2.Text / 1000, X3.Text / 1000, Y3.Text / 1000)
    model.SketchManager.InsertSketch(True)
ElseIf ChkDot.Checked Then
    model.SketchManager.CreatePoint(TextBox3.Text / 1000, TextBox2.Text / 1000, TextBox1.Text / 1000)
ElseIf ChkRect.Checked Then
    model.SketchManager.CreateCornerRectangle(X1.Text / 1000, Y1.Text / 1000, X2.Text / 1000, Y2.Text / 1000, X3.Text / 1000, Y3.Text / 1000)
    model.SketchManager.InsertSketch(True)
End If
```

Şekil 4.5. Seçenek düğmesi kodları.

Cisim üzerinden alınan koordinat verileri programın sağ kısmında anlık olarak görüntülenebilmekte ve kaydedilmektedir. Anlık koordinat ölçüm verileri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



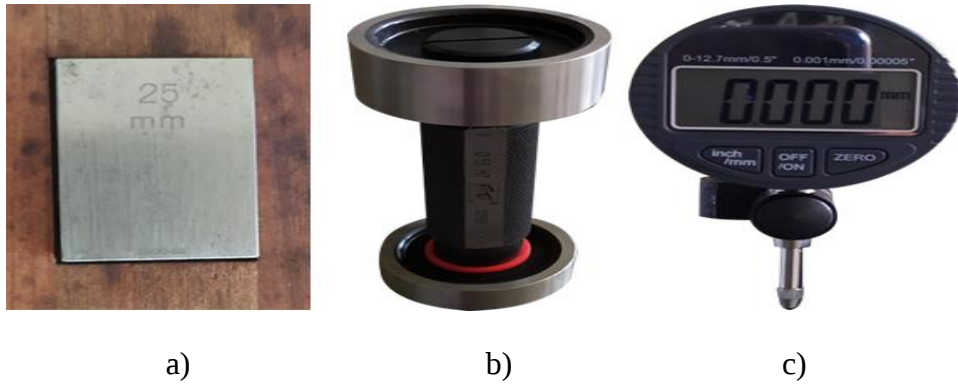
Şekil 4.6. Anlık koordinat verileri görünümü.

5. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZININ PERFORMANSI

Koordinat ölçme cihazının X, Y ve Z eksenlerinde testler yapılmıştır. Bu testler Z eksenine bağlanan komparatör yardımıyla yapılmıştır. Komparatör ibreli ölçüm aletine verilen addır. Komparatörler imalat ve çeşitli sektörlerde ölçü ve kaçaklık durumu kontrolleri için kullanılmaktadır. Doğru ölçümler gerçekleştirebilmek için tezgâhın hassasiyet önemlidir. Hassasiyet tezgâhın hareket sınırları içinde pozisyon alması ve doğrusal ilerlemenin motorun birim adım sayısına bölümüyle hesaplandığı söylenebilmektedir [34]. Buna göre; hareket kontrol modülünün bir turu: 130 mm, hibrit step motorları adım sayısı: 200 adım (1,8 derece), hibrit step motorları sürüş tekniği: 1/64 adım, hassasiyet: $200 \times 64 = 12800$ (1 tur için adım sayısı), $130/12800 = 0,01$ mm yaklaşık olarak kabul edilmiştir.

5.1. CİHAZ EKSENLERİNİN PERFORMANS TESTİ

Koordinat ölçüm cihazının hassasiyet tespitlerinin yapılabilmesi ve karşılaştırılabilmesi için yardımcı ölçüm aleti olarak Johnson masterları seçilmiştir. Masterlar farklı ölçülerde dikdörtgen şeklinde yapılmış, yüzeyleri çok hassas ve sertleştirilmiş parçalardır. Masterlar tam paralellikte ve düzgünlüktedir [35]. Testler için 25 mm boyutundaki Johnson mastarı ve Ø55 mm geçer geçmez mastar kullanılmıştır. Kullanılan komparatörün hassasiyeti 0,001 mm'dir. Şekil 5.1'de Johnson mastarı, geçer geçmez mastar ve komparatör gösterilmektedir.



Şekil 5.1. a) Johnson mastarı b) Geçer geçmez mastar c) Komparatör.

5.1.1. X Eksenli Doğruluk Testi

X ekseninde hassasiyet kontrolü sağlanabilmesi için komparatör X ekseninde hareket edecek şekilde sabitlenmiş ve 25 mm boyutundaki mastara dokundurulmuştur. Komparatör dokundurulduktan sonra sıfırlanmış yazılım üzerinden 25 mm değerinde ileri hareket ettirilerek tekrar cisme dokundurulmuştur. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi 10 adet test tekrarlanmış sonuçlar Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Komparatörün X eksenindeki hassasiyet ölçümü.

Çizelge 5.1. Komparatörün X eksenindeki hassasiyet değerleri.

Ölçüm Numarası	Ölçüm Değeri (mm)
X 1	0,043
X 2	0,044
X 3	0,042
X 4	0,043
X 5	0,042
X 6	0,044
X 7	0,042
X 8	0,043
X 9	0,044
X 10	0,043
Ortalama	0,043

5.1.2. Y Eksenli Doğruluk Testi

Y ekseninde hassasiyet kontrolü sağlanabilmesi için komparatör Y ekseninde hareket edecek şekilde sabitlenmiş ve 25 mm boyutundaki mastara dokundurulmuştur.

Komparatör dokundurulduktan sonra sıfırlanmış yazılım üzerinden 25 mm değerinde ileri hareket ettirilerek tekrar cisme dokundurulmuştur. Şekil 5.3’de görüldüğü gibi 10 adet test tekrarlanmış sonuçlar Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.



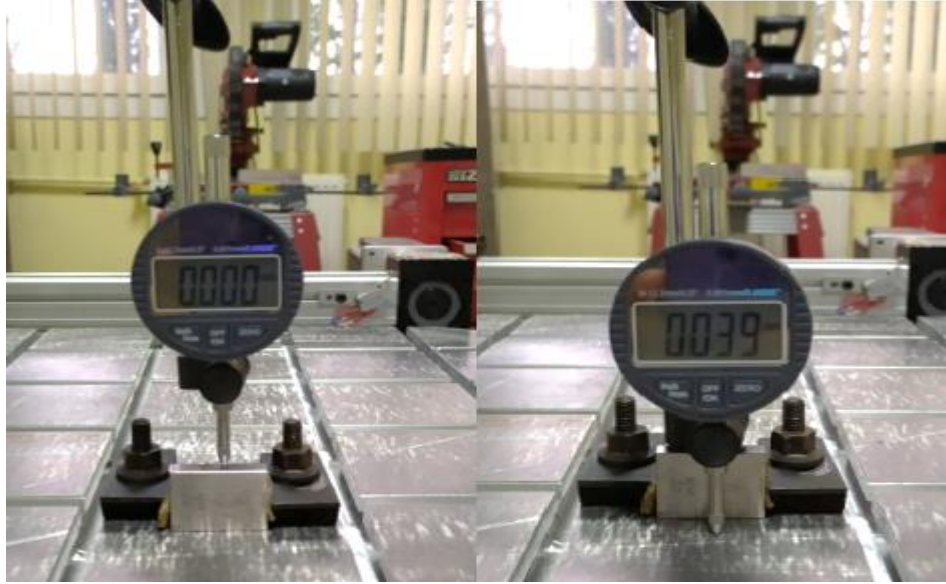
Şekil 5.3. Komparatörün Y eksenindeki hassasiyet ölçümü.

Çizelge 5.2. Komparatörün Y eksenindeki hassasiyet değerleri.

Ölçüm Numarası	Ölçüm Değeri (mm)
Y 1	0,035
Y 2	0,036
Y 3	0,036
Y 4	0,035
Y 5	0,035
Y 6	0,036
Y 7	0,035
Y 8	0,036
Y 9	0,035
Y 10	0,035
Ortalama	0,0354

5.1.3. Z Eksenini Doğruluk Testi

Z ekseninde hassasiyet kontrolü sağlanabilmesi için komparatör Z ekseninde hareket edecek şekilde sabitlenmiş ve 25 mm boyutundaki mastara dokundurulmuştur. Komparatör dokundurulduktan sonra sıfırlanmış yazılım üzerinden 25 mm değerinde aşağı hareket ettirilerek tekrar cisme dokundurulmuştur. Şekil 5.4’de görüldüğü gibi 10 adet test tekrarlanmış sonuçlar Çizelge 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Komparatörün Z eksenindeki hassasiyet ölçümü.

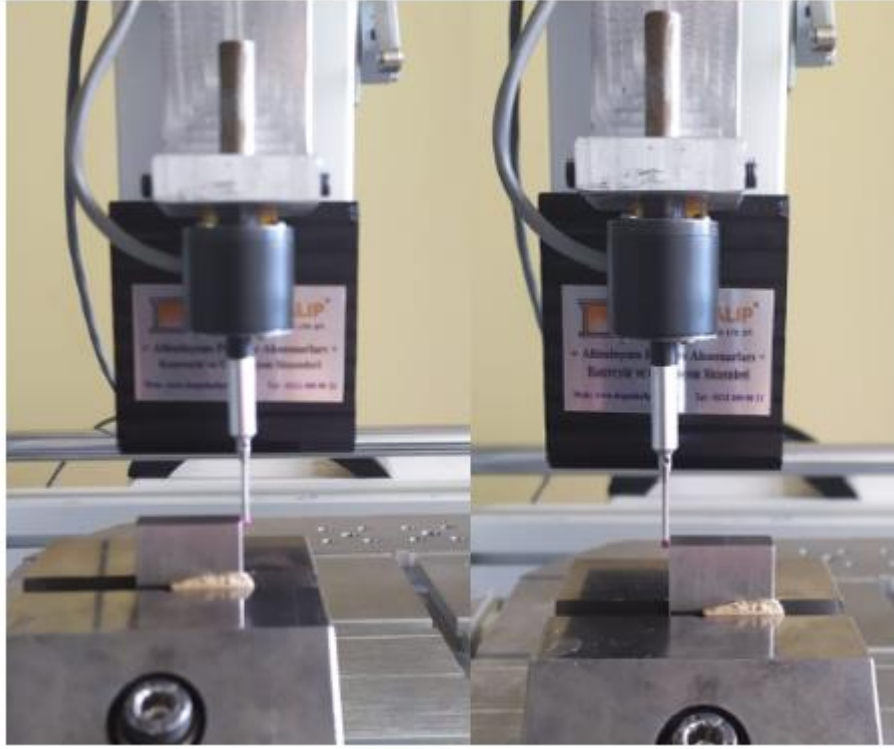
Çizelge 5.3. Komparatörün Z eksenindeki hassasiyet değerleri.

Ölçüm Numarası	Ölçüm Değeri (mm)
Z 1	0,039
Z 2	0,038
Z 3	0,038
Z 4	0,039
Z 5	0,038
Z 6	0,039
Z 7	0,039
Z 8	0,039
Z 9	0,038
Z 10	0,038
Ortalama	0,0385

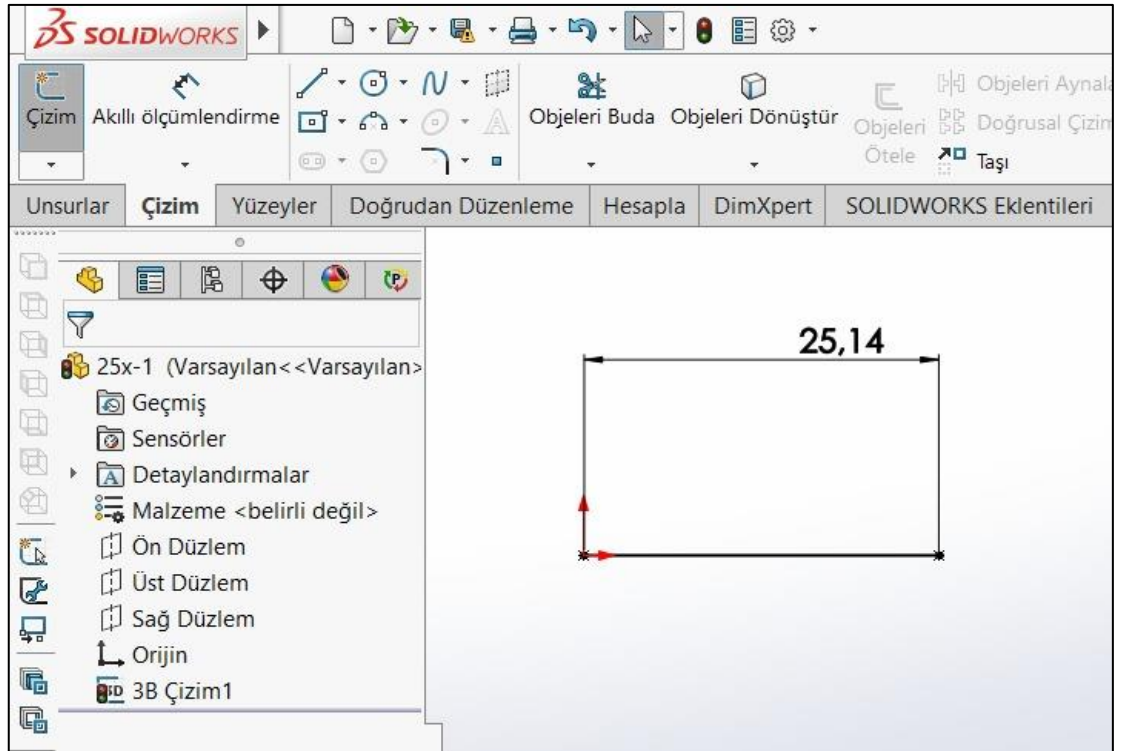
5.2. CİHAZA BAĞLANAN PROBUN PERFORMANS TESTİ

5.2.1. X Eksenli Doğruluk Testi

25 mm ölçüsündeki Johnson mastarı tezgâha bağlanmıştır. Şekil 5.5’de görüldüğü gibi 30 adet test tekrarlanmış, Şekil 5.6’da SolidWorks görünümü, sonuçlar Çizelge 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. X eksen 25 mm Johnson mastarı ile ölçümü.

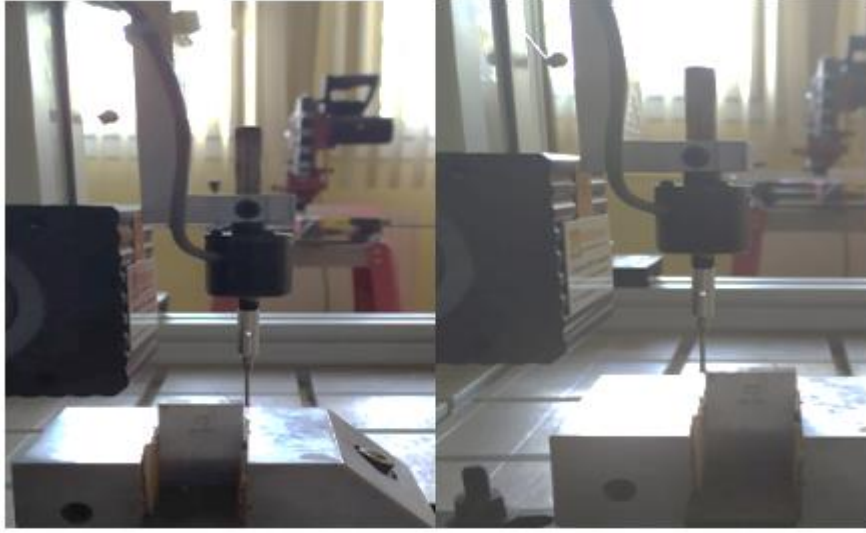


Şekil 5.6. X eksen 25 mm Johnson mastarı ile ölçümünün gösterimi.

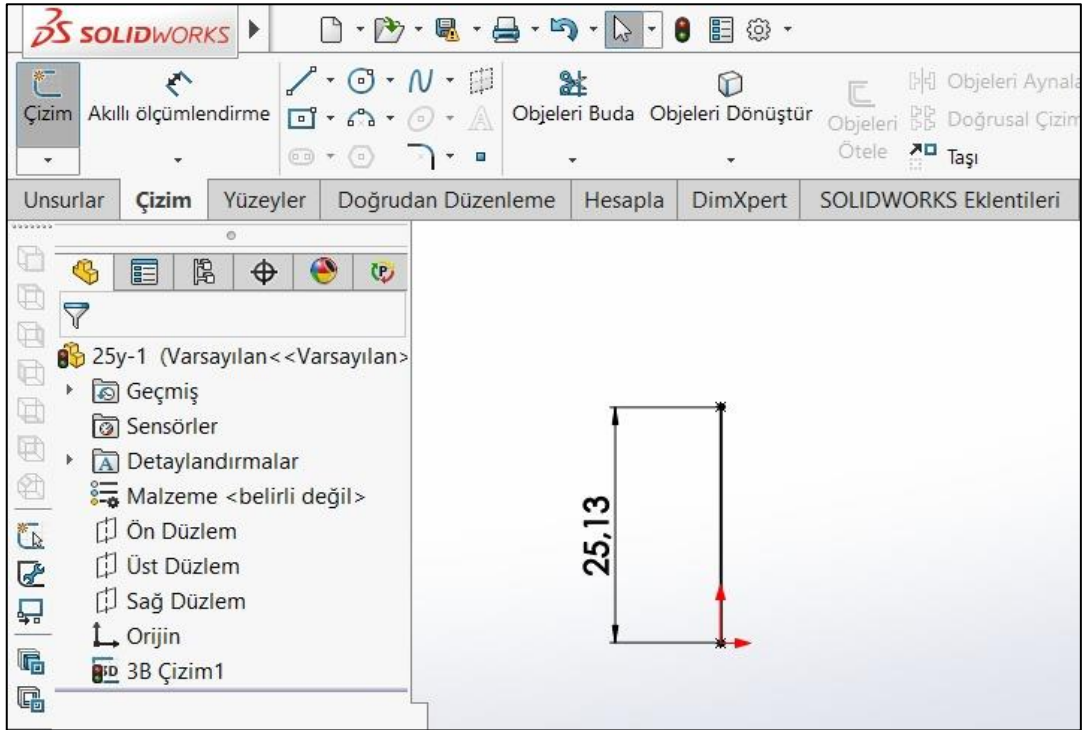
5.2.2. Y Eksen Doğruluk Testi

25 mm ölçüsündeki Johnson mastarı tezgâha bağlanmıştır. Şekil 5.7’de görüldüğü gibi

30 adet test tekrarlanmış, Şekil 5.8’de SolidWorks görünümü, sonuçlar Çizelge 5.4’de gösterilmiştir.



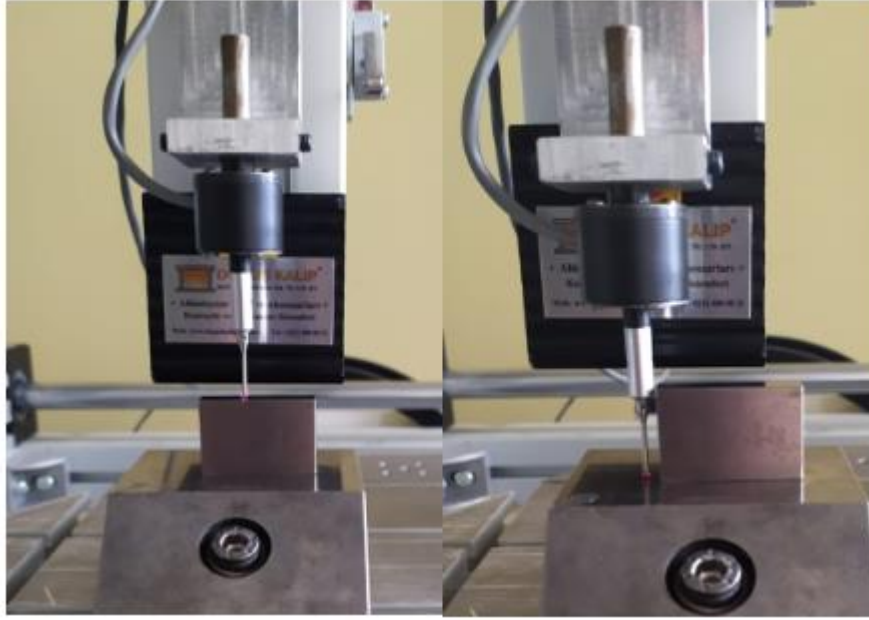
Şekil 5.7. Y eksenli 25 mm Johnson mastarı ile ölçümü.



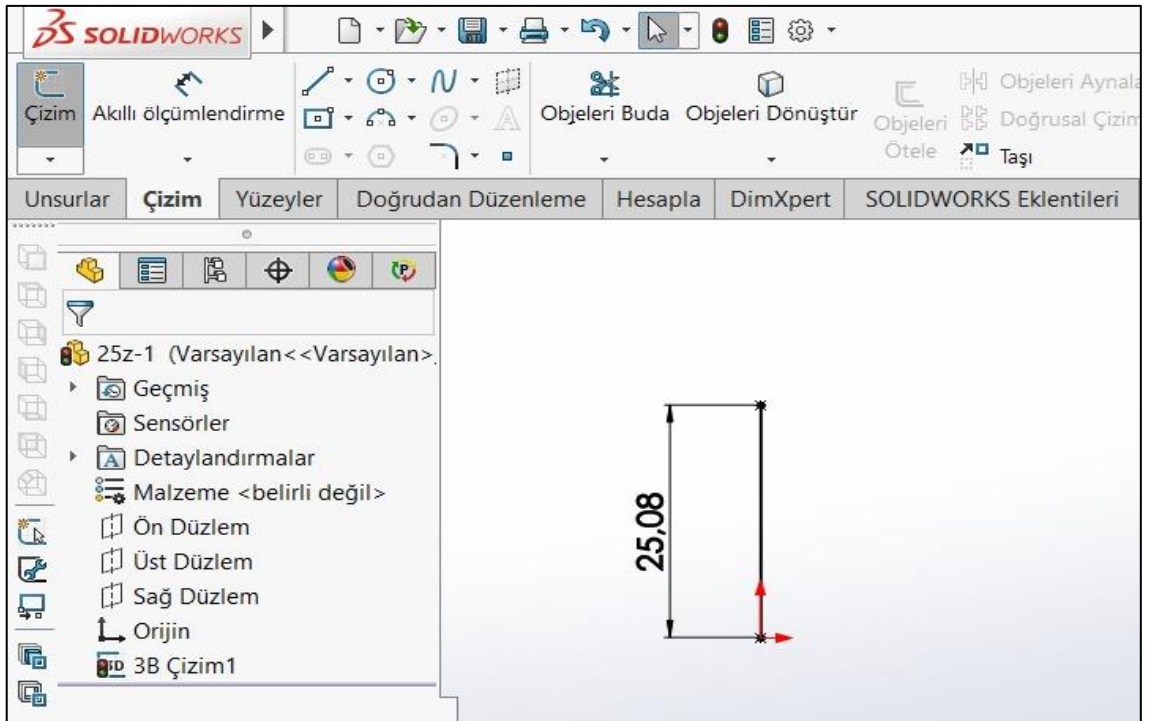
Şekil 5.8. Y eksenli 25 mm Johnson mastarı ile ölçümünün gösterimi.

5.2.3. Z Eksenli Doğruluk Testi

25 mm ölçüsündeki Johnson mastarı tezgâha bağlanmıştır. Şekil 5.9’da görüldüğü gibi 30 adet test tekrarlanmış, Şekil 5.10’da SolidWorks görünümü, sonuçlar Çizelge 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Z eksenine 25 mm Johnson mastarı ile ölçümü.



Şekil 5.10. Z eksenine 25 mm Johnson mastarı ile ölçümünün gösterimi.

Çizelge 5.4. X, Y, Z eksen 25 mm mastar ölçüm sonuçları.

Ölçüm Numarası	Ölçüm Değeri (mm)	Ölçüm Numarası	Ölçüm Değeri (mm)	Ölçüm Numarası	Ölçüm Değeri (mm)
X 1	25,14	Y 1	25,13	Z 1	25,08
X 2	25,14	Y 2	25,13	Z 2	25,10
X 3	25,13	Y 3	25,14	Z 3	25,10
X 4	25,15	Y 4	25,15	Z 4	25,08
X 5	25,14	Y 5	25,14	Z 5	25,08
X 6	25,16	Y 6	25,13	Z 6	25,09
X 7	25,16	Y 7	25,15	Z 7	25,08
X 8	25,13	Y 8	25,13	Z 8	25,09
X 9	25,14	Y 9	25,14	Z 9	25,08
X 10	25,15	Y 10	25,15	Z 10	25,10
X 11	25,13	Y 11	25,13	Z 11	25,08
X 12	25,13	Y 12	25,15	Z 12	25,08
X 13	25,16	Y 13	25,13	Z 13	25,09
X 14	25,14	Y 14	25,13	Z 14	25,10
X 15	25,13	Y 15	25,14	Z 15	25,09
X 16	25,15	Y 16	25,14	Z 16	25,08
X 17	25,14	Y 17	25,15	Z 17	25,09
X 18	25,16	Y 18	25,13	Z 18	25,10
X 19	25,16	Y 19	25,13	Z 19	25,09
X 20	25,13	Y 20	25,13	Z 20	25,09
X 21	25,14	Y 21	25,15	Z 21	25,09
X 22	25,15	Y 22	25,13	Z 22	25,10
X 23	25,14	Y 23	25,14	Z 23	25,10
X 24	25,14	Y 24	25,14	Z 24	25,10
X 25	25,13	Y 25	25,13	Z 25	25,08
X 26	25,13	Y 26	25,13	Z 26	25,09
X 27	25,14	Y 27	25,15	Z 27	25,08
X 28	25,16	Y 28	25,15	Z 28	25,10
X 29	25,13	Y 29	25,13	Z 29	25,10
X 30	25,14	Y 30	25,14	Z 30	25,09
X Ortalama 25,14 mm		Y Ortalama 25,13 mm		Z Ortalama 25,09 mm	

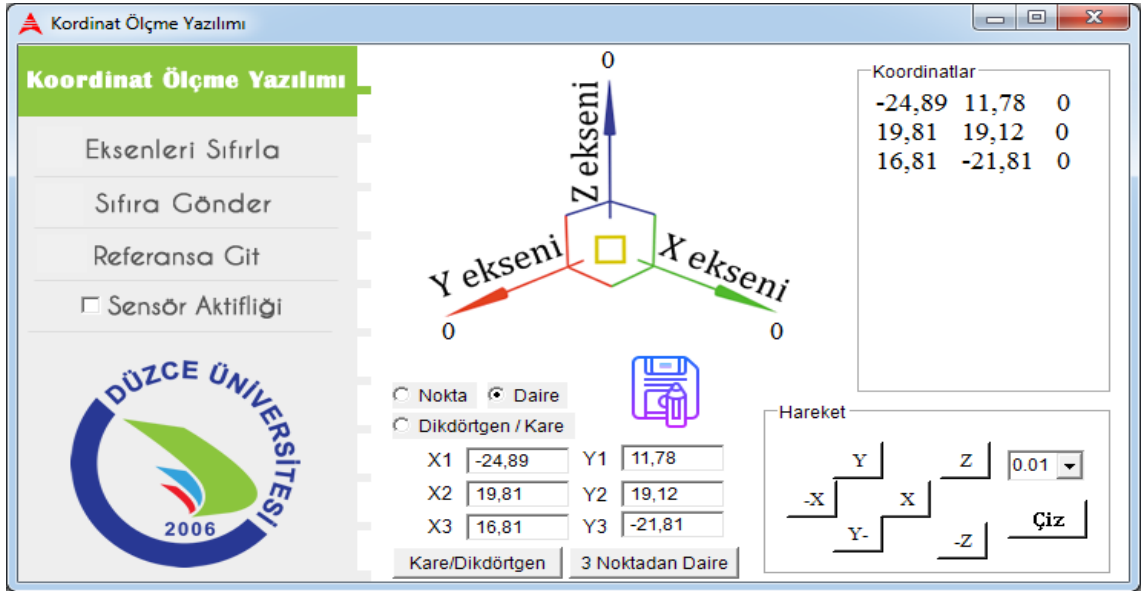
5.2.4. X ve Y Ekseninin Doğruluk Testi

Geçer geçmez tampon mastarlar genellikle delik çaplarının istenilen ölçü değerleri arasında olup olmadığını kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır. 2 adet uç kısmı bulunmaktadır. Kontrol edilecek çap deliğin bir tarafı boşluksuz geçerken diğer tarafı ise geçmemelidir. Mastarın geçer kısmı alt sınır, geçmez kısmı üst sınırı göstermektedir. Ölçüm deneyi için Ø55 mm çapında geçer geçmez mastar kullanılmıştır. 55 mm ölçüsündeki geçer geçmez mastarın geçer kısmı yukarıya gelecek şekilde tezgâha bağlanmıştır. Şekil 5.11’de görüldüğü gibi probu 3 noktadan dokundurarak daire

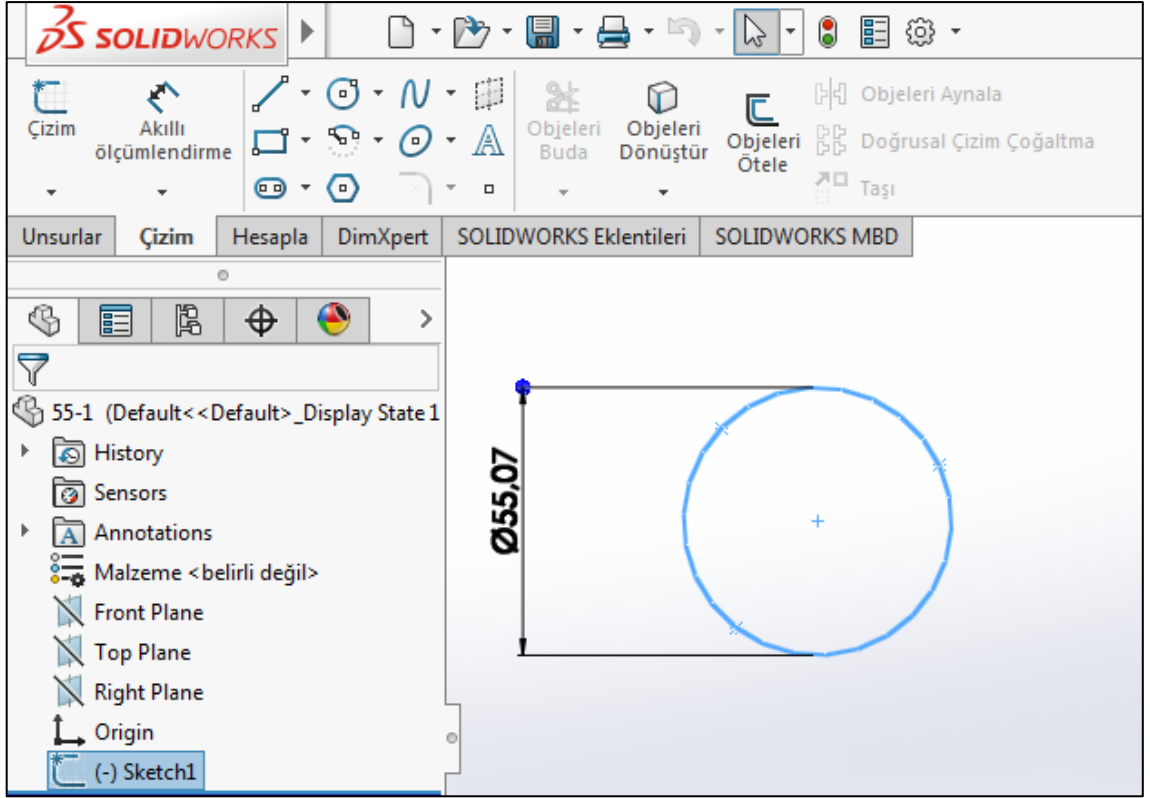
oluşturularak 30 adet test tekrarlanmış, Şekil 5.12’de yazılım ekran görüntüsü, Şekil 5.13’de SolidWorks görünümü ve sonuçlar ise Çizelge 5.10’da gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Geçer geçmez master ölçüm deneyi.



Şekil 5.12. Geçer geçmez master yazılım görünümü.



Şekil 5.13. Geçer geçmez master ölçümünün gösterimi.

Çizelge 5.5. Geçer geçmez master ölçüm sonuçları.

Ölçüm Numarası	Ölçüm Değeri (mm)	Ölçüm Numarası	Ölçüm Değeri (mm)	Ölçüm Numarası	Ölçüm Değeri (mm)
1	55,07	11	55,08	21	55,09
2	55,09	12	55,09	22	55,08
3	55,09	13	55,10	23	55,08
4	55,08	14	55,10	24	55,09
5	55,10	15	55,08	25	55,09
6	55,09	16	55,10	26	55,08
7	55,09	17	55,08	27	55,09
8	55,09	18	55,10	28	55,08
9	55,10	19	55,10	29	55,10
10	55,10	20	55,10	30	55,08
Ortalama 55,08 mm					

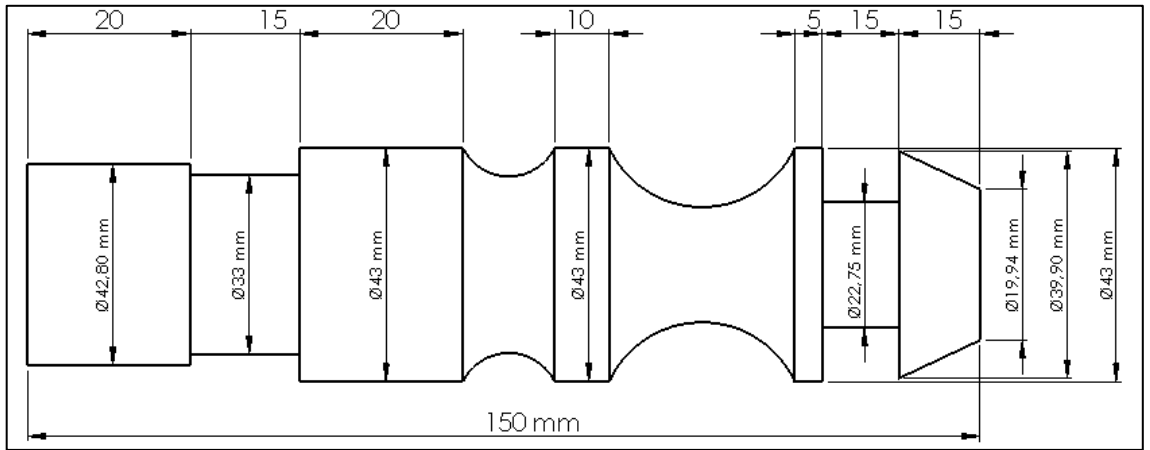
Proben X ve Y eksenindeki hassasiyetinin ortalaması 30 adet ölçüm sonucunda 0,08 mm olarak bulunmuştur. Koordinat ölçme cihazına bağlanan probun X, Y, Z eksenlerindeki testlerin ölçümleri sonucunda en büyük 0,14 mm bulunduğu için probun hassasiyeti bu değer kabul edilmiştir.

5.3. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZININ DENEY TESTİ

Deney numunesinin karşılaştırılabilmesi için $\varnothing 45$ çapında, 150 mm uzunluğunda 7075 kalite alüminyum malzemesi kullanılmıştır. Alüminyum malzemesi kolay işlenebilirliği ve yüzey kalitesinin daha iyi olması sebebiyle tercih edilmiştir.

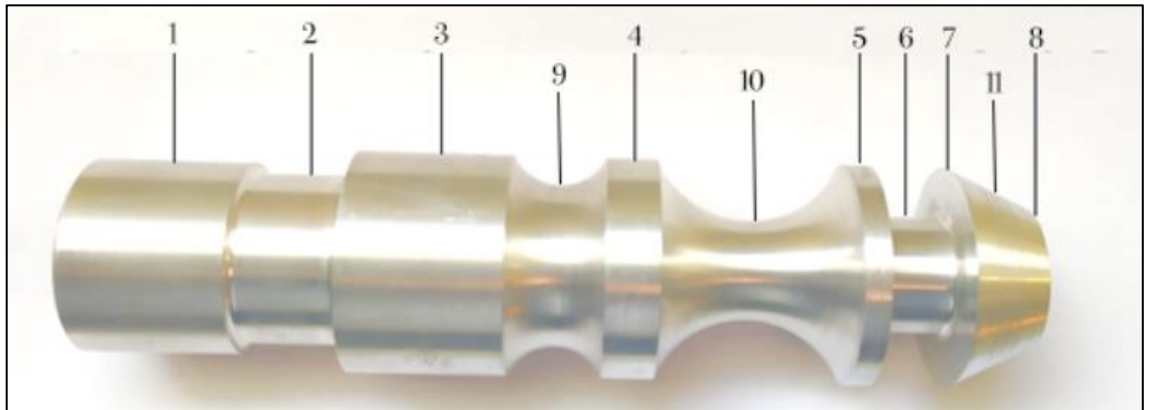
5.3.1. Deney Malzemesi Teknik Resmi

Deney numunesi için malzeme seçimi yapıldıktan sonra SolidWorks tasarım programı üzerinde son hali çizilmiştir. Deney numunesinin teknik resmi Şekil 5.14'de gösterilmektedir.

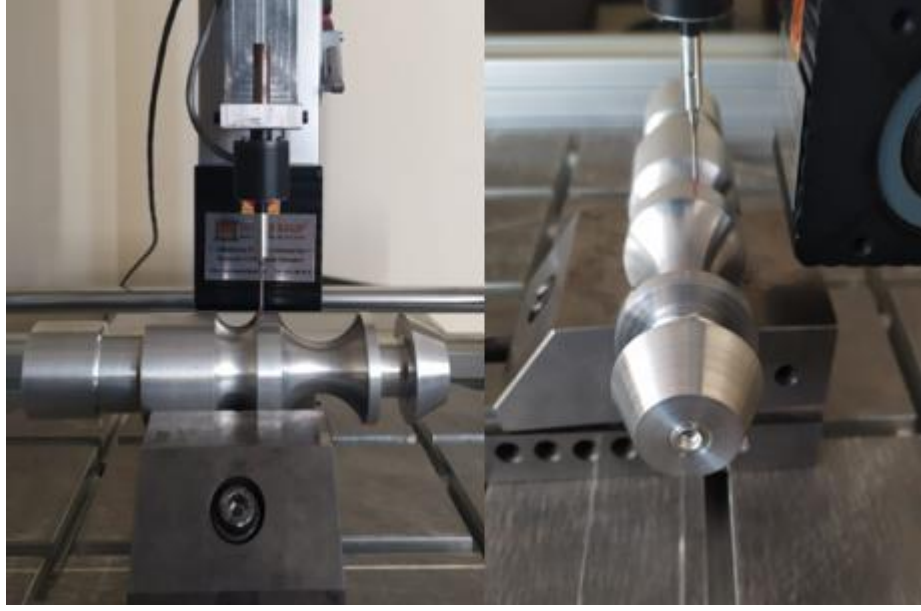


Şekil 5.14. Deney numunesi teknik resmi.

Teknik resmi çizilen 7075 alüminyum malzemenin önce kaba işçiliği torna tezgâhında yapılmıştır. İnce işçilik için CNC torna tezgâhında istenilen ölçülere getirilmiştir. Ölçülecek çaplar aşağıda Şekil 5.15'de numaralandırılmıştır. Koordinat ölçüm cihazı ile yapılan testler görünümü Şekil 5.16'da gösterilmektedir.



Şekil 5.15. Deney numunesi.

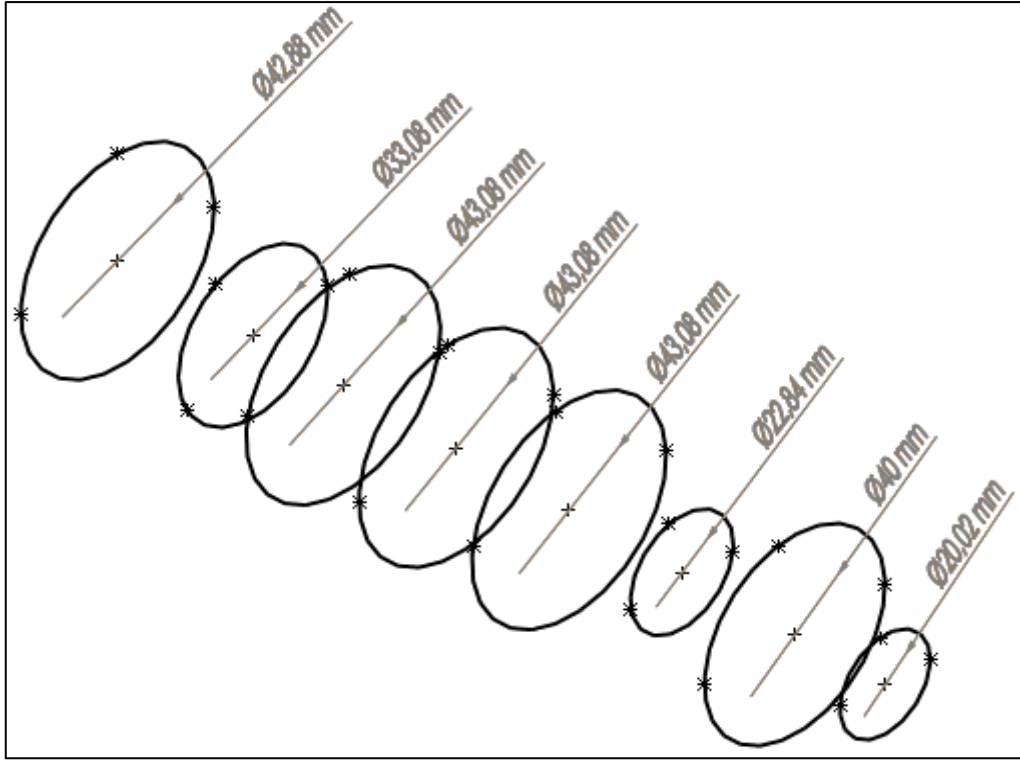


Şekil 5.16. Koordinat ölçüm cihazı testleri.

Deney numunesindeki 9, 10, 11 numaralı kısımlar geometrik formları sebebiyle ölçülememiştir. Koordinat ölçüm cihazına bağlanan numune 8 ayrı ölçü alabilmek için X ve Y ekseninde dokunma gerçekleştirmiştir. Alınacak her çap ölçüsü için 3 adet X ve Y ekseninde dokunuş gerçekleşmiş ve alınan koordinatlar SolidWorks tasarım programı üzerinden 3 Nokta ile Daire özelliği kullanılarak çizdirilmiş sonuçlar Çizelge 5.8’de gösterilmiştir. SolidWorks tasarım programı üzerindeki sonuçlar Şekil 5.17’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.6. Deney numunesinin koordinat ölçüm cihazı ile testleri.

Ölçüm Numarası	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	Ölçüm Değeri (mm)
1	-21,44	0	0	21,44	21,44	0	42,88
2	-16,45	1,69	8,20	14,37	14,60	-7,77	33,08
3	-21,19	-3,86	-1,47	21,49	21,05	4,58	43,08
4	-21,54	0	1,75	21,47	21,54	0	43,08
5	21,52	1,01	3,05	21,32	21,25	3,53	43,08
6	-11,30	-1,65	2,82	11,07	11,30	-1,65	22,84
7	-20,00	0	3,67	19,66	20,00	0	40,00
8	-10,01	0	1,07	9,95	9,97	0,89	20,02



Şekil 5.17. Koordinat ölçüm cihazı SolidWorks sonuçları.

Koordinat ölçüm cihazı sonuçlarını karşılaştırma işlemi için deney numunesi Hexagon Dea Global CMM cihazı ile ölçülmüştür. Şekil 5.18’de cihaz gösterilmektedir. Numune sonuçları PC-DMIS Pro 3.7 yazılımı üzerinden alınmıştır. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 5.7’de, test sonuçları ise Çizelge 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.18. Hexagon Dea CMM cihazı.

Çizelge 5.7. Deney numunesi test cihazı özellikleri.

Marka	Hexagon Dea
Model	Global
Ölçüm Aralığı	1000x1200x800 mm
Hassasiyeti	1 μ
Yazılım	PC-Dmis Pro 3.7

Çizelge 5.8. Deney numunesi test sonuçları.

Sıra Numarası	Ölçüm Değeri (mm)
1	42,81
2	33,02
3	43,01
4	43,01
5	43,01
6	22,76
7	39,91
8	19,95

İki cihazın ölçüm sonuçları kaydedilmiş aralarındaki farklar Çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.9. İki cihazın sonuçlarının karşılaştırılması.

Ölçüm Numarası	Hexagon Dea Global CMM (mm)	Koordinat ölçüm cihazı (mm)	İki cihaz arasındaki fark sonuçları (mm)
1	42,81	42,88	0,07
2	33,01	33,08	0,07
3	43,01	43,08	0,07
4	43,01	43,08	0,07
5	43,01	43,08	0,07
6	22,76	22,84	0,08
7	39,91	40	0,09
8	19,95	20,02	0,07

Deney numunesi üzerinde gerçekleştirilen ölçümler sonucunda iki cihaz arasında farklar tespit edilmiştir. Numune üzerindeki en büyük çap ölçümleri arasındaki fark 0,07 mm bulunmuş, en küçük çap ölçümü arasındaki fark ise 0,07 mm bulunmuştur. Yapılan ölçümler sonucunda iki cihaz arasındaki en büyük ölçüm farkı 0,09 mm olarak tespit edilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen tez çalışması sonucunda koordinat ölçüm cihazı tasarımı ve prototip çalışması geliştirilmiştir. Prototip 3 eksen kartezyen yapıdadır. Yazılım ve donanımsal entegreler sağlanarak koordinat ölçüm cihazı prototipi ortaya çıkarılmıştır. Tezgâhın tasarımı SolidWorks tasarım programı ile gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın çalışması için elektronik aksamalar tedarik edilmiş ve mekanik kısmıyla montajlanmıştır. Kontrol kartı, hibrit step motor ve sürücüler gibi elektronik parçaları kontrol edebilmek için Visual Studio 2015 içerisinde Visual Basic programlama dilinde bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım içerisinde bulunan şekil seçeneklerinde (nokta, daire, dikdörtgen/kare) 3 adet geometrik şekil fonksiyonu bulunmaktadır. Bu yazılım aracılığıyla tezgâh istenilen şekilde hareket sağlamaktadır. Bu hareketler sonucunda probun cisme dokunmasıyla birlikte tüm eksenler durmakta ve doğru veriler alınmaktadır. Alınan koordinat verilerini API'ler yardımıyla SolidWorks 2016 tasarım programına gönderilip mevcut çizimi veya ölçüyü gösterebilmektedir.

Doğru ölçümler gerçekleştirebilmek için tezgâhın hassasiyeti önemlidir. Tezgâhın hassasiyetini belirleyebilmek için komparatörden faydalanılmıştır. Komparatör X, Y, Z ekseninde hassasiyet belirleyecek şekilde entegre edilmiş ve her eksen için ilk başlangıç noktasına dokunuşta sıfırlanmış, bitiş noktasına dokunuşta fark değeri görülecek şekilde 10 adet test uygulanmıştır. Testler sonucunda komparatörün:

- X eksenindeki hassasiyet değeri ortalaması 0,043 mm,
- Y eksenindeki hassasiyet değeri ortalaması 0,0354 mm,
- Z eksenindeki hassasiyet değeri ortalaması ise 0,0385 mm olarak bulunmuştur.

Koordinat ölçme cihazının eksenlerinin hassasiyeti komparatörle yapılan ölçümler sonucunda çıkan en büyük 0,043 mm ölçüsü cihazın eksenlerinin hassasiyeti olarak kabul edilmiştir.

Hassasiyet ölçümleri sonrasında tezgâha prob bağlanarak gerçek ölçümlerin yapılması için 25 mm Johnson mastarı ve Ø55 mm çapında geçer geçmez master kullanılmıştır. Johnson mastarları için X, Y ve Z ekseninde tezgâhın başlangıç noktası 0 ve bitiş noktası 25 mm olarak 30 adet ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler sonucunda probun:

- X eksenindeki hassasiyet ortalaması 0,14 mm,
- Y eksenindeki hassasiyet ortalaması 0,13 mm,
- Z eksenindeki hassasiyet ortalaması 0,08 mm olarak tespit edilmiştir.

Geçer geçmez mastarı ölçümleri için X ve Y eksenindeki koordinat verileri alınmıştır. Sadece X ve Y eksenindeki verilerin alınmasının sebebi SolidWorks tasarım programının 3 Nokta ile Daire çizimi fonksiyonunu kullanmaktır. Bu veriler sonucunda geçer geçmez master çapının ölçüm ortalaması 55,08 mm olarak belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar doğrultusunda Johnson mastarı testinde çıkan en büyük 0,14 mm ölçüsü koordinat ölçme cihazı probunun hassasiyeti olarak kabul edilmiştir.

Ø 45 çapında, 150 mm uzunluğunda 7075 kalite alüminyum bir deney numunesi tercih edilip istenilen farklı ölçülerde hassas bir şekilde işlenmiştir. Bu deney numunesi üzerinde 8 farklı çap ölçümü gerçekleştirilmiştir. Koordinat ölçüm cihazıyla deney numunesi üzerinde ölçümler yapılmış Hexagon Dea Global CMM cihazı ile yapılan ölçümler karşılaştırılmıştır. Ölçümler sonucunda iki cihaz arasında:

- En büyük çap için gerçekleştirilen ölçümde 0,07 mm,
- En küçük çap için gerçekleştirilen ölçümde 0,08 mm,
- En büyük ölçüm farkı ise 0,09 mm olarak fark bulunmuştur.

Bu haliyle bakıldığında deney numunesiyle yapılan karşılaştırmada koordinat ölçme cihazı prob hassasiyetinin sınırları içerisinde olduğu ortaya çıkmış ve koordinat ölçme cihazının 0,14 mm ve altındaki hassasiyetlerde ölçüm yapabildiği ispatlanmıştır.

Koordinat ölçüm cihazları imalat sanayi, otomotiv, uçak ve savunma sanayi ve kalıpcılık gibi birçok sektörde uygulama alanına sahip olması sebebiyle bu alanda yapılacak çalışmalar faydalı olacaktır. Tasarlanan koordinat ölçüm cihazı arayüzü geliştirilmeye açık bir yapıda olduğu için gelecekte yapılacak çalışmalara öncü olacaktır. Gelecekte yapılması düşünülen çalışmalara ışık olması açısından aşağıda öneriler verilmiştir.

- Daha hassas 3 ve 5 eksenli yüksek tarama hızına sahip problemler tercih edilebilir.
- Temaslı prob yerine temassız prob kullanılarak ölçüm hassasiyeti artırılabilir.
- Eksenlerin hassasiyetini arttırmak için servo motor ve sürücüler tercih edilebilir.
- Ölçümlerin titreşim gibi parametrelerden etkilenmemesi için tezgâh tablası olarak granit tezgâh kullanılabilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] R. J. Hocken, P. H. Pereira, "Evolution of Measurement," *Coordinate measuring machines and systems*, 2. baskı. Boca Raton, Amerika: CRC press, 2016, böl. 1, ss. 19-20.
- [2] N. Cappetti, A. Naddeo, ve F. Villecco, "Fuzzy approach to measures correction on Coordinate Measuring Machines: The case of hole-diameter verification," *Measurement*, c. 93, ss. 41-47, 2016.
- [3] J. Dupuis, C. Holst, ve H. Kuhlmann, "Improving the kinematic calibration of a coordinate measuring arm using configuration analysis," *Precision Engineering*, c. 50, ss. 171-182, 2017.
- [4] X. Wang, J. Xian, Y. Yang, Y. Zhang, X. Fu ve M. Kang, "Use of coordinate measuring machine to measure circular aperture complex optical surface", *Measurement*, c. 100, ss. 1-6, 2017.
- [5] K. Ostrowska, A. Gaska, R. Kupiec, K. Gromczak, P. Wojakowski, ve J. Sladek, "Comparison of accuracy of virtual articulated arm coordinate measuring machine based on different metrological models," *Measurement*, c. 133, ss. 262-270, 2019.
- [6] A. Wozniak, G. Krajewski, ve M. Byszewski, "A new method for examining the dynamic performance of coordinate measuring machines," *Measurement*, c. 134, ss. 814-819, 2019.
- [7] A. R. Sousa, "Metrological evaluation of a Coordinate Measuring Machine with 5-axis measurement technology," *Procedia CIRP*, c. 75, ss. 367-372, 2018.
- [8] M. Magdziak ve R. C. Ratnayake, "Investigation of best parameters' combinations for coordinate measuring technique," *Procedia CIRP*, c. 78, ss. 213-218, 2018.
- [9] P. J. Swornowski, "A critical look at the coordinate measuring technique," *Mechatronics*, c. 23(1), ss. 80-93, 2013.
- [10] S. H. Mian ve A. Al-Ahmari, "Enhance performance of inspection process on Coordinate Measuring Machine," *Measurement*, c. 47, ss. 78-91, 2014.
- [11] Q. Liang, D. Zhang, Y. Wang, ve Y. Ge, "Development of a touch probe based on five-dimensional force/torque transducer for coordinate measuring machine (CMM)," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, c. 28(2), ss. 238-244, 2012.
- [12] R. Furutani ve M. Ozaki, "Uncertainty of calibration of 2D planar coordinate measuring machine," *Measurement*, c. 45(3), ss. 427-430, 2012.
- [13] A. Tulcan, L. Tulcan ve D. Stan, "CMM Design Based on Fundamental Design Principles," *Advanced Materials Research*, c. 1036, ss. 517-522, 2014.
- [14] T. A. M, Ruijl, "Ultra precision coordinate measuring machine-design, calibration and error compensation," Ph.D. dissertation, Mechanical Maritime and Materials Engineering, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2001.

- [15] K. C. Fan, Y. T. Fei, X. F. Yu, Y. J. Chen, W. L. Wang, F. Chen ve Y. S. Liu, "Development of a low-cost micro-CMM for 3D micro/nano measurements," *Measurement Science and Technology*, c. 17(3), ss. 524, 2006.
- [16] J. J. Park, K. Kwon ve N. Cho, "Development of a coordinate measuring machine (CMM) touch probe using a multi-axis force sensor," *Measurement Science and Technology*, c. 17(9), ss. 2380, 2006.
- [17] B. Gapinski, M. Wieczorowski, L. Marciniak-Podsadna, B. Dybala ve G. Ziolkowski, "Comparison of different method of measurement geometry using CMM, optical scanner and computed tomography 3D," *Procedia Engineering*, c. 69, ss. 255-262, 2013.
- [18] T. Brajlili, T. Tasic, I. Drstvensek, B. Valentan, M. Hadzistevic, V. Pogacar ve B. Acko, "Possibilities of using three-dimensional optical scanning in complex geometrical inspection," *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, c. 57(11), ss. 826-833, 2010.
- [19] H. Villarraga-Gómez, C. Lee ve S. T. Smith, "Dimensional metrology with X-ray CT: A comparison with CMM measurements on internal features and compliant structures," *Precision Engineering*, c. 51, ss. 291-307, 2018.
- [20] G. Mansour, A. Tsagaris ve M. Mansour, "Intelligent interaction with cmm," *Mechanical & Mechatronics Engineering*, c. 15(3), ss. 53-58, 2015.
- [21] M. Melichar, D. Kubátová ve J. Kutlwaše, "CMM measuring cycle and human factor," *DAAAM International Symposium*, Vienna, Austria, 2016, ss. 371-376.
- [22] S. El Asmai, F. Hennebelle, T. Coorevits, R. Vincent ve J. F. Fontaine, "Proposition of a periodic verification test for Articulated Arm Coordinate Measuring Machines using a small 3D artefact," *Measurement*, c. 154, ss. 1-12, 2020.
- [23] J. Li, L. Li, Z. Dong, ve D. Song, "An automatic posture planning software of arc robot based on SolidWorks API," *Modern Applied Science*, c. 3(7), ss. 121-127, 2009.
- [24] M. Shaqura ve J. S. Shamma, "An Automated Quadcopter CAD based Design and Modeling Platform using SolidWorks API and Smart Dynamic Assembly," *International Conference on Informatics in Control*, 2017, ss. 122–131.
- [25] B. Sun, G. Qin ve Y. Fang, "Research of standard parts library construction for SolidWorks by Visual Basic," *International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology*, 2011, c. 5, ss. 2651-2654.
- [26] N. Xiao-bo ve J. Quan-sheng, "A digital design method of geometric model for centrifugal fan impeller based on SolidWorks and VB," *International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology*, 2011, c. 8, ss. 4023-4026.
- [27] E. J. Reddy, C. N. V. Sridhar ve V. P. Rangadu, "Research and development of knowledge based intelligent design system for bearings library construction using SolidWorks API," *Intelligent Systems Technologies and Applications*, 2015, c. 385, ss. 311-319.
- [28] A. Meddahi, K. Baizid, A. Yousnadj ve J. Iqbal, "API based graphical simulation of robotized sites," *IASTED International Conference on Robotics and Applications (RA)*, 2009, ss. 485-492.

- [29] İ. Teke, T. Yandayan ve R. Karadayı, "Koordinat Ölçüm Metrolojisi, Üç Boyutlu Ölçüm Cihazı (CMM) Modernizasyonu, Kalibrasyonu, Verifikasyonu, Dünyada Ve Ülkemizdeki Durum," *VIII. Ulusal Ölçüm bilim Kongresi*, Türkiye, 2013, ss. 1-11.
- [30] M. Ayyıldız ve A. Çiçek, "Düz dişli tasarımında bir tersine mühendislik uygulaması," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 14(1), sayı 1, ss. 39-44, 2010.
- [31] Anonim, (2019, 23 Aralık). [Online]. Erişim: <https://docplayer.biz.tr/51286954-Cmm-coordinate-measuring-machines-koordinat-olcum-makinalari.html>.
- [32] ISO, (2019, 24 Aralık). [Online]. Erişim: <https://www.iso.org/committee/54924/x/catalogue/>.
- [33] Anonim, (2019, 25 Aralık). [Online]. Erişim: <https://www.sahinrulman.com/hibrit-servo-surucu-cwds86c>.
- [34] H. Kaygısız, "Eğitim Amaçlı Üç Eksenli Masaüstü CNC Freze Tezgâhı Tasarımı ve Prototipi," Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2010.
- [35] Munzur Üniversitesi, (2020, 9 Ocak). [Online]. Erişim: <https://munzur.edu.tr/birimler/akademik/fakulteler/muhendislik/bolumler/makine/Pages/file/Mastarlar.pdf>.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa DENİZLİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 28.03.1990 / Gebze
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mustafadenizli@outlook.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2020
Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2018
Lise	Torna-Tesviye	Gebze Endüstri Meslek Lisesi	2006

YAYINLAR

Denizli, M., & Ayyıldız, M. (2019). *Nesnelerin İnterneti ile Akıllı bir Priz Prototipi*. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7(1), 722-728.

Denizli, M., Ayyıldız, M. (2019). *Düşük Bütçeli Koordinat Ölçme Makinesi Tasarımı*. International Conference on Engineering & Natural Sciences 4, Sayfa 113-118

Denizli, M., & Ayyıldız, M. (2018). *Üniversite Bölümleri İçin Haftalık Ders Programı Dağıtım Yazılımı*. INES IV. International Academic Research Congress, Sayfa 1905-1910

Sapaz, M., & Denizli, M. & Kara, F. (2019). *AISI H13 Çeliğinin Sert Tornalanmasının Yüzey Pürüzlülüğü Ve Takım Aşınmasına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*. Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar) (Fen Bilimleri Cilt I - Cilt II, Sosyal Bilimler) Sayfa 732-738