

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜÇ SERBESTLİK DERECELİ BİR KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZININ
TASARIM VE İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömür BAÇ

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Sistem Dinamiği Ve Kontrol Programı**

Eylül 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜÇ SERBESTLİK DERECELİ BİR KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZININ
TASARIM VE İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ömür BAÇ
(503101609)**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Sistem Dinamiği Ve Kontrol Programı**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Zeki Yağız BAYRAKTAROĞLU

Eylül 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503101609 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ömür BAÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“ÜÇ SERBESTLİK DERECELİ BİR ÖLÇÜM CİHAZININ TASARIM VE İMALATI”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Zeki Yağız BAYRAKTAROĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Şeniz ERTUĞRUL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ertan ÖZNERGİZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 29 Ağustos 2013

Savunma Tarihi : 02 Eylül 2013

ÖNSÖZ

Dünya üzerindeki her insan, minimum düzeyde, yaşamak için çalışır. Mevcut sistem içerisinde çalışmaktan keyif alan biri haline gelmemde İstanbul Teknik Üniversitesi, bünyesindeki birçok hoca ve öğrenci etkili olmuştur. Onlara teşekkür etmek isterim.

Tezimin planlanması, yürütülmesi ve sonuçlandırılması ile ilgili süreçlerde, sürekli iletişim halinde olduğum ve bu süreçlerde birçok konuda yardımlarını aldığım danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Zeki Y. BAYRAKTAROĞLU'na teşekkür ederim.

Bu tezin yazımından önce sınıf arkadaşım olan, şu an aynı şirkette birlikte çalıştığımız arkadaşım kontrol mühendisi Hulusi ÖZÜDURUK'a bu süreçteki destek ve emeklerinden ötürü teşekkür ederim.

Tez konum olan projeyi destek kapsamına alarak düşüncelerimi gerçekleştirmeme yardımcı olmuş T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na teşekkür ederim.

Bir şey yapabilmenin cesaret etmek olduğunu bana gösteren aileme, beni hayatımın her anında yanımda olacaklarına inandırdıkları ve her an beni destekledikleri için teşekkür ederim.

Eylül 2013

Ömür BAÇ

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	1
1.1.1. Taşınabilir koordinat ölçüm cihazları	3
1.2. Ölçme Bilimi	4
1.2.1. Ölçüm metodolojisi ve izlenebilirlik zinciri	5
1.2.2. Üç boyutlu ölçüm.....	7
1.2.3. Ölçümde hassasiyet.....	8
1.2.4. Ölçüm sonucuna etki eden faktörler	9
2. MEKANİK TASARIM.....	11
2.1. Tasarım Hedefleri.....	11
2.2. Tasarım Alternatifleri.....	12
2.3. Tasarımın Geometrik Modeli.....	13
2.4. Konstrüksiyonun yapısı.....	14
2.4.1. Rulman seçimi.....	15
2.4.2. Rulmanların ve millerin geçme toleransları.....	17
2.4.3. Stylus seçimi	23
2.4.4. Cıvata, somun ve setskur seçimi	23
2.4.5. Segmanlı tasarım ve segman seçimi	25
2.4.6. Montaj resmi ve montaj sırası	26
3. ELEKTRONİK TASARIM	29
3.1. Elektronik Tasarım.....	29
3.1.1. Enkoder seçimi.....	30
3.1.2. USB-CAN çevirici seçimi.....	31
3.2. Haberleşme Sistemi.....	33
3.2.1. Haberleşme sisteminin sağlaması gereken özellikler.....	33
3.2.1.1. Fiziksel yapıdan beklenen özellikler.....	34
3.2.1.2. Protokolden beklenen özellikler.....	34
3.2.2. Farklı haberleşme sistemlerinin karşılaştırılması.....	35
3.2.2.1. RS 232.....	35
3.2.2.2. RS 422/485.....	35
3.2.2.3. CANbus.....	36
3.2.2.4. Ethernet (EtherCAT Protokolü ile).....	36
3.2.3. CANbus haberleşme sistemi	36
Katmanlı ISO referans modeli	37
3.2.4. CANopen haberleşme protokolü.....	38
3.2.4.1. CANopen’da tanımlayıcılar (Identifiers) ve nesneler (Objects)	38
3.2.4.2. CANopen nesne kütüphanesi	39

3.2.4.3. Elektronik veri föyü (The Electronic Data Sheet (EDS)) ve cihaz yapılandırma dosyası (Device Configuration Files (DCF))	40
3.2.4.4. Servis veri nesneleri kullanarak nesne kütüphanesine erişim	41
3.2.4.5. İşlem veri nesneleri (Process Data Object (PDO)).....	42
3.2.4.6. Ağ Yönetimi (Network management).....	47
3.3. Bilgisayar programı	47
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	51
4.1. Referans yüzeyinin oluşturulması	51
4.2. Koordinat Ölçüm Cihazı Kullanılarak Uzunluk Ölçümünün Yapılması	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	63
EKLER.....	65

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1: Ülkelere göre metroloji firmaları Url-3.....	2
Çizelge 1.2: Metrolojinin alanları ve branşları.	5
Çizelge 1.3: Quasi-Statik mekanik hatalar [1,4].....	9
Çizelge 3.1: Enkoder karşılaştırması.	30
Çizelge 3.2: CANbus haberleşme sisteminin gelişim süreci (Voss W.,2005,p.5).....	37
Çizelge 3.3: Nesne kütüphanesinin biçimlendirilmesi.	40
Çizelge 3.5: COB-ID Tanımlaması.	46
Çizelge 3.6: Eşleme Parametrelerinin Gösterilmesi.	46
Çizelge 4.1: Uzunluk ölçümü için yapılan deneysel sonuçlar.	56
Çizelge 4.2: Uzunluk ölçümü için yapılan deneysel sonuçlar. (Devamı)	57

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: Mitutoyo Portable CMM [7].	3
Şekil 1.2: Ölçüm metodolojisi [1].	6
Şekil 1.3: Ölçümde izlenebilirlik zinciri [1].	6
Şekil 1.4: Koordinat ölçüm metodolojisi [2] (p.59).	7
Şekil 1.5: Doğruluk ve tekrarlanabilirlik arasındaki ilişki URL-1.	8
Şekil 2.1: Lineer eksenli koordinat ölçüm cihazı.	12
Şekil 2.2: Dönel eksenli koordinat ölçüm cihazı.	13
Şekil 2.3: Sistemin geometrik modeli.	14
Şekil 2.4: Ölçüm kolu.	15
Şekil 2.5: Rulman boşlukları (FAG Rulman Kataloğu).	15
Şekil 2.6: Fener mili rulmanı.	16
Şekil 2.7: Birinci eksendeki rulmanların yataklanması.	16
Şekil 2.8: İkinci eksendeki rulmanların yataklanması.	17
Şekil 2.9: Üçüncü eksendeki rulmanların yataklanması.	17
Şekil 2.10: Rulmanların geçme toleransları.	18
Şekil 2.11: Birinci eksenin kesit görünümü.	19
Şekil 2.12: Birinci eksen rulman yatakları.	19
Şekil 2.13: Mil 1 toleransları.	20
Şekil 2.14: İkinci eksen yataklanması.	21
Şekil 2.15: Üçüncü eksen yataklanması.	21
Şekil 2.16: Mil 2 ve 3 toleranslı gösterimi.	22
Şekil 2.17: İki ve üçüncü mafsalları bağlayan kol.	22
Şekil 2.18: Stylus (Renishaw Stylus Kataloğu).	23
Şekil 2.19: Ölçüm kolu montaj resmi.	24
Şekil 2.20: Birinci mafsalda kullanılan somun.	24
Şekil 2.21: Bağlantı kolu setskur delikleri.	25
Şekil 2.22: Kesit görünümde segman kanalları.	25
Şekil 2.23: Montaj resmi.	26
Şekil 2.24: Montaj resmi kesit görünümü.	26
Şekil 2.25: İkinci mafsallık montaj görünümü.	27
Şekil 3.1: Sistem şeması.	29
Şekil 3.2: PCAN-USB.	32
Şekil 3.3: CANfestival destekleyen cihazlar.	33
Şekil 3.4: 7 Katmanlı haberleşme sistemi yapısı [5].	37
Şekil 3.5: SDO mesaj gönderim şeması.	42
Şekil 3.6: PDO'nun gönderilmesi.	43
Şekil 3.7: Senkronize haberleşme sistemi [7] p(13-18).	44
Şekil 3.8: Ön- Tanımlı COB-ID'ler. [5] p(75).	45
Şekil 3.9: TPDO ve RPDO'ların COB-ID'lerinin belirlenmesi.	46
Şekil 3.10: CANopen ağ yönetimi.	47
Şekil 3.11: Bilgisayar programı ara yüzü.	49
Şekil 3.12: Kartezyen koordinatların bilgisayar programında gösterilmesi.	50

Şekil 4.1: Küçük kareler algoritması kullanılarak düzlem elde edilmesi.	51
Şekil 4.2: Granit pleyt [21].	52
Şekil 4.3: Least-Square metodu.	54
Şekil 4.4: Least- Square ile elde edilen denklem.	54
Şekil 4.5: LAR metodu.	54
Şekil 4.6: LAR metodu ile elde edilen denklem.	54
Şekil 4.7: Bisquare metodu.	55
Şekil 4.8: Bisquare metodu ile elde edilen denklem.	55
Şekil 4.9: Gauge blok [21].	55
Şekil 4.10: Uzunluk ölçüm deney sonuçları.	56
Şekil 4.11: Ölçümde doğrusallığın etkisi.	57
Şekil 4.12: Ölçüm sisteminin görünümü.	58
Şekil 4.13: Ölçüm sisteminin görünümü.	59
Şekil A 1: Üç boyutlu ölçüm cihazı resmi.	66
Şekil A 2: Üç boyutlu ölçüm cihazı resmi.	66
Şekil A 3: Üç boyutlu ölçüm cihazı resmi.	67
Şekil A 4: Üç boyutlu ölçüm cihazı resmi.	67
Şekil A 5: Üç boyutlu ölçüm cihazı resmi.	68

ÖZET

Bu tezde üç boyutlu ölçüm yapabilen bir ölçüm cihazının tasarım ve üretimi anlatılacaktır. Tasarım aşaması kendi içinde alt gruplara ayrılmaktadır. Mekanik ve elektronik tasarım alt konularının tamamlanmasının ardından üretim süreci tamamlanacak ve ölçüm cihazının montajı yapılarak deneysel olarak elde edilen veriler incelenecektir.

Üç boyutlu ölçüm, klasik ölçü aletleriyle yapılamayan ölçümlerin yapılabilmesini sağlamaktadır. Örneğin araba camı düşünüldüğünde, bu yapımın iki boyutlu ölçü aletleriyle kalite kontrolünün yapılmasının mümkün olmayacağı görülmektedir.

Üç boyutlu ölçüm cihazları sanayide ve üniversite laboratuvarlarında, genellikle kalite kontrol uygulamalarında kullanılmaktadır. Örneğin makine üretim endüstrisinde, üretimden çıkan parçaların boyutsal toleranslarının incelenmesi amacıyla üç boyutlu ölçüm cihazları kullanılabilir. Ayrıca tersine mühendislik uygulamalarında da bu tip cihazların kullanılması büyük kolaylık sağlamaktadır.

Ölçüm, bir operatör tarafından yapılacaktır. Bu da ölçüm kolunun eyleyici ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Ölçülecek parçanın üzerinde bulunduğu yüzey, referans yüzey olarak kullanılır. Bunun için öncelikle bu yüzeye en az üç nokta tanımlanmalıdır. Daha sonra bu yüzey referans alınarak ölçümler gerçekleştirilebilir.

Ölçüm cihazını temelde mekanik ve elektronik aksam olarak iki kısımda inceleyebiliriz. Mekanik aksamda; gövde konstrüksiyonu, rulmanlar, cıvatalar ve diğer mekanik bağlama elemanları, elektronik aksamda; enkoderler, USB-CAN dönüştürücü ve bilgisayar bulunmaktadır. Ayrıca yine CANbus haberleşmesi ve bilgisayar programı bu bölümde bulunmaktadır.

Mekanik tasarım, üç adet dönel mafsalları kullanarak oluşturulmuştur. Burada mafsallarda ölçüme etki edecek boşlukların oluşmaması için rulmanların ve millerin toleransları sıkı geçme olarak seçilmiştir. Ayrıca rulman seçiminde de yine boşluksuz tip rulmanlar kullanılmıştır.

Elektronik tasarım enkoder, USB-CAN dönüştürücü ve bilgisayar bileşenlerinin seçimi ve haberleşme programını içermektedir. Enkoderlerin dönel uzuvlarda mümkün olduğunca yüksek çözünürlükte açı bilgisi vermesi beklenmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken önemli nokta, bu üç açı bilgisinin aynı anda örneklenmesinin gerekliliğidir. Eğer açı örneklemeleri sırasında bir gecikme yaşanır, bu uç nokta hatası olarak karşımıza çıkacaktır. Uzuvlara 18 bitlik mutlak ve tek turlu enkoderler seçilmiştir. Senkron örnekleme için ise CANopen protokolü kullanılmıştır. USB-CAN dönüştürücü, CANbus' tan gelen sinyallerin USB girişli bilgisayarlara aktarılması için gereklidir. Bu cihazın seçiminde, üreticinin sağladığı API ve sürücülerin işletim sistemleri ile olan uyumluluğu dikkate alınmıştır. Enkoderler CANbus hattına bağlanarak USB-CAN dönüştürücü ile bilgisayara alınmış ve burada istenilen işlemler yapılmıştır.

Ortaya çıkması muhtemel problemlerin tasarım aşamasında giderilmesi için tasarım süreci uzun tutulmuş ve birçok problemin bu aşamada çözümü üretilmiştir. Üretim sürecinde karşılaşılan bazı problemlere ise bu süreçlerde müdahale edilebilmiştir.

Sistem tasarıma uygun olarak üretilmiş ve montajı yapılmıştır. Mekanik ve elektronik akşamlar tasarım aşamasındaki kriterlere uygun bulunmuş ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

SUMMARY

This thesis explains the design and manufacture of a three dimensional measurement arm. The design phase has two sub groups of mechanics and electronics. Manufacture is completed after the completion of the design, before which the components are assembled. After that, experimental works are done and obtained data are discussed. The recommendations to increase system performance are given in the last section.

Three dimensional measurements enable measurement that is not possible with classical measurement devices. For example, when we think of a car glass, it is not possible to assess a quality-control with classical two dimensional measurement devices. Coordinate measurement machines are known as immovable; however, portable CMMs enable this methodology to use in application which requires portability. For example, in casting applications, the products are not easy to relocate and there is a portable coordinate measurement necessity for this kind of applications.

The first coordinate measurement machine was made in Italy in 1960s. There was an accelerated production and traditional measurement machines could not respond with fast enough solutions for quality control applications. After this Italian company, another company named Ferranti in UK developed first cantilever coordinate measurement machine. The cantilever design is currently the most popular design. In fact, Ferranti was not a measurement company; it was a company in production machine industry.

In these years, coordinate measurement technique became popular and other companies started developing industrial coordinate measurement machines.

Three dimensional measurement devices are used in industry and laboratories for quality control applications. For instance, in machine production industry, they are used to control tolerances of products after production. In addition, reverse engineering becomes easier when these devices are used. In reverse engineering, it is necessary to obtain 3 dimensional design parts from real objects. For example, if you want to design a crash helmet for a pilot, you need to obtain a 3D picture of the pilot's head.

In portable CMMs, measurement is done by an operator, thus, this measurement arms do not need any actuator. The plane that the part is on, is used as the reference plane. Therefore, a minimum of three points must be determined on this plane. After that, measurement is achieved by using this reference plane.

Measurement arm can be separated into two fundamental areas: Mechanics and electronics. In the mechanics area, there are construction body, bearings, screws and other mechanical components. In the electronics, there are encoders, USB-CAN converter and a computer. In addition, CAN bus communication protocol, and computer program are the members of this group.

Mechanical design contains three rotary joints. To avoid clearance between bearings and shafts, tolerances are chosen as interference fit. In addition, bearings were chosen as clearance free to avoid clearance errors. Aluminum is used as the construction material, because it is light and rigid enough for its purpose. This construction must be rigid, because rigidity brings high construction frequency and measurement is not influenced from the construction displacements.

The mechanical construction is also designed to obtain flexible construction. There are several construction options in the design phase. For example, a design could be optimized for rigidity or stability. In this design, the first aim is to manufacture an arm which does not have dynamic error behavior. Hence, at the end of this work, it is known that the tip point error comes from constant parameter uncertainties.

Electronic design includes encoders, USB-CAN converter, computer selection and communication program. It is expected that encoders give high resolution angle output to decrease tip point error. Also, it is very important to sample these three angles at the same time. If there is any delay between two samples, this error is shown as tip point error. After selection study, 18 bits absolute, single turn encoders are selected. For synchronous sampling, CANopen protocol is used.

CANopen is an open communication protocol. It enables some services such as synchronous polling. It also has error detection and it has 1 Mbit/s baud rate. Communication protocol is important when selecting encoders and other components. From this point of view, CANopen is also a popular and widely used protocol.

USB-CAN converter is necessary for getting the data from CANbus via USB input. In the selection of the converter, CAN API, which the converter company supplies, and driver concurrencies are the important subjects. CAN API enables reading and writing CAN messages from the computer. There is a very important point in the driver selection. If this portable measurement arm is expected to be used in Linux based systems, CAN converter's driver must have GPL License. The selection that was done, depends on this criteria. Encoders are connected to the CANbus and by using USB-CAN converter, data is read from the computer.

In the computer program, C++ is used as a programming language and Visual Studio is used as an IDE. Selection of correct programming language is very important in the beginning of the project. There are several language alternatives for this project, however, C++ is widely used and it is easier to get support from suppliers when C++ language is used. In this project, CANbus API is used to communicate between CAN network and computer. This API has several language alternatives, however, in C++ support is more efficient and faster.

In this project, all programs are written in object oriented strategy. Object oriented programming brings several advantages in this kind of projects. In the programming section, a plane is obtained from the program in the sense of Least Square. After that, a plane to distance program was written and measurement results taken from this function. To obtain tip point coordinates from the encoders' angles, forward geometric model is required. This model is programmed in the programming section and used in Cartesian coordinate function.

To decrease probable problems, the design phase is kept longer and some problems are resolved in this phase. In the production period, some problems occurred, however, these problems could be solved in this period. For example, in the drilling

application, two holes of the bearings are suggested to drill in one operation. For this purpose, snap ring was added to design and this increased the axial tolerances.

The system was produced and assembled in accordance with the desired design. Mechanical and electrical parts were approved and experimental works were accomplished.

In the experimental works, there was a test setup which ensures known tolerances. For example, in the distance measurement test, a plate was used as reference plane that has a flatness under $1\mu\text{m}$. After that a gauge block was used as a measured distance. It has 8mm distance with $+0.04\mu\text{m}$ tolerances. Hence, this test setup is sufficient to test coordinate measurement machine.

In the first test, a plane was obtained with measured data. After that, an algorithm was used to fit a plane to these points. There are several algorithms for this purpose. In this work, Least-Square algorithm is used as a fitting algorithm. In this experimental work, more samples enable more sufficient surface; because, Some errors might occur in the measurement time and more points make the calculated plane closer to real plane.

To measure a distance to a plane, a point was measured on the gauge blog. Then distance to plane algorithm was used, and the minimum distance between measured point and plane was calculated. After measurement, the results are obtained as 7.9657, 8.0012.

These experimental results show that there is an error in the measurement. This error might depend on some geometric uncertainties and kinematic errors. These constant parameters are used in non-linear system model and their affects influence the system output non-linearly. Hence, the output error chance depends on the measurement motion. For example, if the points are measured close to each other, non-linearity minimally affects the system output. But if the points are measured far from each other, then rotary joints perform in a bigger degree and this affects the output error negatively.

To decrease the tip point error, identification must be done. This identification will expose system parameters. There are several ways to identify system parameters: For example, a plane could be used as a constraint plane and sampled points may be used to obtain system parameters. In this process, it is known that all the sampled data are on the same plane and forward kinematic result must give an output that all the tip point coordinates must be on the same plane.

In this thesis, it is seen that coordinate measurement machines are multi-disciplinary machines in the area of mechanical engineering, electronics engineering and computer engineering. There are several sub topics in this project and all must be done in a high level success to obtain sufficient measurement results.

1. GİRİŞ

Bu tezin amacı; üç serbestlik dereceli, taşınabilir bir ölçüm cihazı tasarlamak ve bu tasarımdan bir prototip elde etmektir. Elde edilecek prototip ile çeşitli deneysel çalışmalar yapılacak ve başlangıçta hedeflenen ölçüm hassasiyetine ulaşıp ulaşılmadığı gözlemlenecektir.

Burada teorik ve uygulamalı çalışmalar bir arada yürütülecek olup, teorik sonuçların pratik uygulamadaki çıktıları da ele alınacaktır. Bu çıktılara hangi faktörlerin etkili olacağı üzerinde durulacak ve bu faktörlerin belirlenip ölçüm hassasiyetine etkisinin minimum düzeyde tutulabilmesi için yapılması gereken çalışmalar anlatılacaktır.

1.1. Literatür Araştırması

Metroloji birçok alt başlık altında toplanmış ölçü bilimidir. Uzunluk ölçümü metrolojinin bir alt başlığı olarak görülebilir. Bu alanda uzun yıllar birçok ölçü aleti ve ölçüm yöntemi geliştirilmiş, endüstrinin kullanımına sunulmuştur. Koordinat ölçüm metodu da bu ölçüm metotlarından biridir.

Koordinat ölçüm metodunun ortaya çıkması ve cihazlarının üretilmesi, endüstrinin gelişmesine bağlı olarak gerçekleşmiştir. Artan üretim talebi ve hızlanan üretim süreçlerine cevap veremeyen ölçü aletlerinin yerine daha hızlı ve bir defada bir çok ölçümü bir arada yüksek bir hassasiyetle yapabilen ölçü aleti Koordinat Ölçüm Cihazı geliştirilmiştir.

İlk koordinat ölçüm cihazları 60'larda geliştirilmiştir. İtalyan DEA (Digital Electronic Automation Spa) tarafından Portal CMM üretilmiş, o zaman zarfı içinde ise İskoçya'dan Ferranti Ltd. ilk konsollu (cantilever) direk bilgisayar bağlantılı koordinat ölçüm cihazını tanıtmıştır. [2,6] Ferranti Ltd. aslında ölçüm sektöründe olmayan bir şirkettir. Bu şirket nümerik kontrollü tezgahlar yapmakta, üretim endüstrisine hizmet sunmaktadır. Ölçüm işleminin daha hızlı ve esnek yapılabilmesi hedefiyle, nümerik kontrollü tezgâh altyapısını kullanarak koordinat ölçüm cihazını geliştirmiştir. Sonraki yıllarda artan rekabet şartları içinde Koreli rakibine satılarak ismi "International Metrology Systems" olarak değiştirilmiştir. KÖC (Koordinat

Ölçüm Cihazı) ‘ün birçok mekanik yapıda tasarlandığı görülmüştür. Bunlar dikey, portal, konsollu, hareketli tablalı gibi yapılardır. Günümüzde de en çok kullanılan tip olan köprü yapılı KÖC’ ler ilk kez İngiliz LK Tool firması tarafından üretilmiştir.

Çizelge 0.1: Ülkelere göre metroloji firmaları Url-3.

Ülke	Firma ismi
İngiltere	W&A Metrology Ferranti Metrology Status Metrology Eley&Warren LK Tool Notsa Vickers Maxicheck Kemco
İtalya	DEA (Digital Electronic Automation Spa) Poli Coord3 Prima
Fransa	Renault CMM CMA Matra and Metrologic
Almanya	Zeiss CMM Wenzel Mora Steiffmeyer Leitz (Wezlar CMM)
İsviçre	SIP CMM Metromec
İsveç	C.E. Johanson Company
İspanya	Trimek CMM
A.B.D.	Sheffield Federal Products Brown & Sharpe Wilcox and Associates Hexagon Helmel Taurus Elm Systems Resource Engineering Starrett
Japonya	Mitutoyo Tokyo Semitsu Tokyo Boeki
Kore	Dukin CMM

1.1.1. Taşınabilir koordinat ölçüm cihazları

KÖC'lerin sanayide yaygın olarak kullanımı bu mantığın kullanışlılığını kanıtlamış ve bu mantık ile ölçüm yapmayı yaygın hale getirmiştir. Pek çok iş parçası karmaşık yapıları sebebiyle bu yöntemle ihtiyaç duymaktadır. Tersine mühendislik ve hızlı prototipleme gibi alanlarda bu teknoloji kullanılarak üretim çözümleri geliştirilmiş ve sanayide uygulanmıştır. Bu alanlardaki uygulamalar, klasik yapıdaki KÖC'lerden çok, taşınabilir, esnek kullanımlı yeni bir tip KÖC'lere ihtiyaç duymuştur. Klasik yapıdaki doğrusal hareketli yapılardan farklı olarak taşınabilir KÖC'ler dönel mafsallı kol yapıları ile oluşturulmuştur.



Şekil 0.1: Mitutoyo Portable CMM [7].

Doğrusal yapıdaki enkoderlerden farklı olarak dönel enkoderler daha düşük çözünürlükte üretilmektedirler. Bu sebeple dönel mafsallı kol yapılarının doğruluk değerleri, doğrusal eksenli klasik KÖC'lerinden düşüktür.

Piyasada birçok taşınabilir ölçüm cihazı üreticisi bulunmaktadır. En çok bilinen ve piyasaya en hakim olanı ise FARO' dur.

FARO 1981 yılında Kanada'da kurulmuş ve sonrasında birçok ülkede üretim ve satış ile ilgili ofisler açmıştır. Şu an piyasada birçok farklı modelde KÖC'leri

bulunmaktadır. Bu cihazlardan birçoğu 6 serbestlik dereceli ve esnek kullanım yapısına sahip cihazlardır. Tasarım çalışmamıza en yakın özellikteki FARO modeli ise FARO Gage olarak görülmüştür. Bu üründe 1.2 m çalışma hacmi ve 0.018 mm ölçüm doğruluğu olduğu katalog değerlerinden okunmuştur [8].

Piyasada birçok taşınabilir koordinat ölçüm cihazı bulunmaktadır. Bunlar birçok farklı boyutta bulunmaktadır. Koordinat ölçüm cihazları günümüzde uçlarına lazer tarayıcı monte edilerek tersine mühendislik çalışmalarında da kullanılmaktadır.

1.2. Ölçme Bilimi

Metroloji çok eski zamanlardan beri insanların kullandığı bir bilim dalıdır. Metroloji kelime olarak ölme bilimi anlamına gelmektedir. Antik yapılarda ve piramitlerde ölçüm standartları gerekli olmuş, tarım ve çiftçiliğin gelişmesiyle birlikte uzunluk kavramının ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Üretimin artması ve seri üretimin gelişmesi ile standardizasyon çalışmalarına önem verilmiş ve birçok ölçüm tekniği ortaya çıkarılmıştır. Daha hızlı ve esnek ölçümün gerekli olması ile ölçüm biliminde üç boyutlu ölçüm tekniği önem kazanmış ve bu yöntem ile seri üretim çalışmaları hızlandırılmıştır. Günümüzde de üretim endüstrisi çok büyük miktarlarda üretim yapmakta ve üretilen ürünlerin kalite kontrol ya da tasarım aşamalarında hassas ölçüm sistemlerinin kullanımı gerekmektedir. Koordinat ölçüm cihazları günümüzde bir çok seri imalat yapan fabrikada kalite kontrolü aşamasında kullanılmaktadır.

Metroloji tüm ölçme sistemlerinde kullanılan birimleri tanımlar ve kullanıma sunar. Bu sayede tüm ölçümlerin standartlaştırılması sağlanmış olur ve güvenilirlik artar. Metroloji Bilimsel, Endüstriyel ve Yasal olmak üzere üç temel bölüme ayrılmıştır. Bu bölümler kendi görev alanlarına göre çalışmalar yapmaktadır. Tüm birimlerin temelde olma sebebi, ölçümün standart ve güvenilir bir şekilde yapılabilmesini sağlamaktır.

Bilimsel metroloji, ölçüm standartlarının belirlenmesi ve bunun bir organizasyon çerçevesinde yapılması ile ilgilidir. BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) tarafından dokuz teknik öge altında toplanmıştır. Bilimsel metroloji Türkiye’de TÜBİTAK UME (Ulusal Metroloji Enstitüsü) tarafından gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 0.2: Metrolojinin alanları ve branşları.

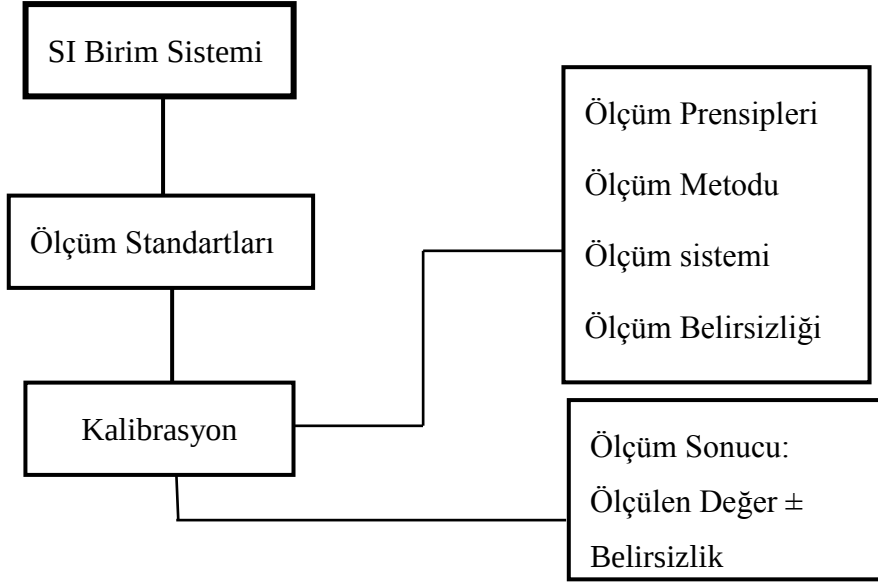
Metroloji Alanı	Branş
Akustik, ultrasonik, titreşim	Ses, titreşim
Elektrik ve manyetizma	DC voltaj, akım, direnç, empedans, AC voltaj, güç...
Uzunluk	Lazer, uzunluk metrolojisi
Kütle	Kütle, yoğunluk, basınç, kuvvet, viskozite, yerçekimi...
Fotometri ve radyometri	Detektör özellikleri, renkler, fiber optikler
Maddenin özellikleri	On altı kategoride madde özellikleri
İyonize radyasyon	Radyoaktivite, nötron ölçümleri
Termometri	Sıcaklık, nemlilik, termoplastik özellikler
Zaman ve frekans	Zaman skalası, frekans

Endüstriyel metroloji, ölçümde kullanılan cihazları uygun bir biçimde sağlamak, bunların test ve üretimini sistematik olarak planlamakla yükümlüdür. Endüstriyel kalite kontrolü ise sistematik ölçümlerde bilinen belirsizliklerle hata ölçümü yapmakla görevlidir.

Yasal metroloji ise vatandaşların ölçü aletlerinden doğru ölçüm sonuçlarını almalarını sağlar. Bunun için görevlendirilmiş kuruluşlarla kontrol edilmiş ölçü aletleri ile ölçümlerin yapılmasını ve satış aşamasındaki tüm ticari ürünlerin sertifikalandırılmasını sağlamaktadır. Ülkemizde yasal metroloji 3516 sayılı “Ölçüler ve Ayar Kanunu” kapsamında işlemektedir.

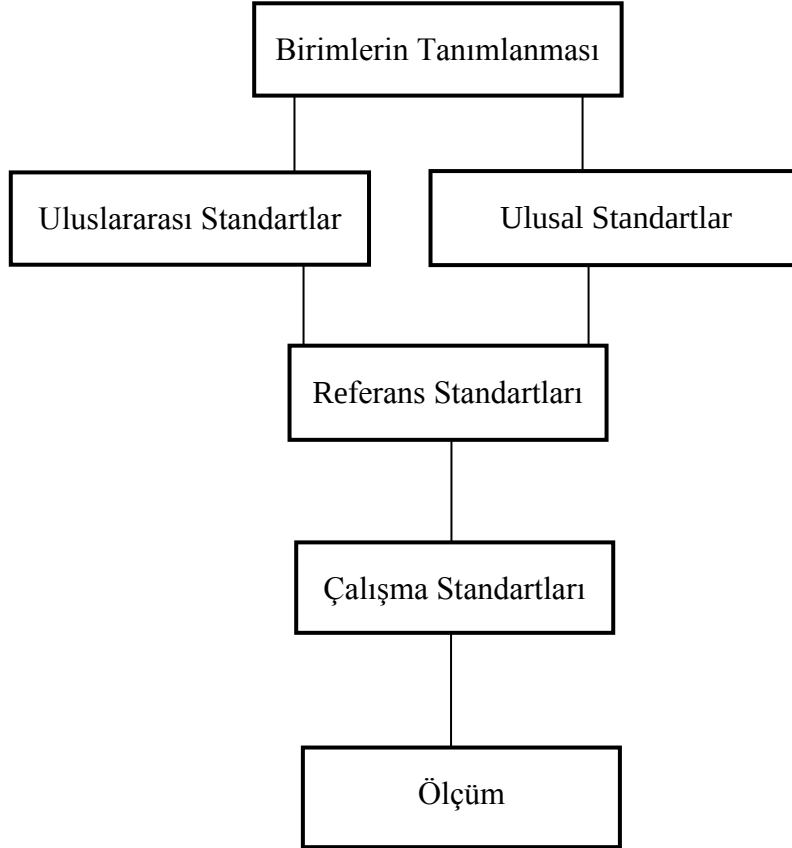
1.2.1. Ölçüm metodolojisi ve izlenebilirlik zinciri

Bir ölçümün yapılması ve onun doğru olması daima ihtiyaçları karşılamamakta ve üretim zincirinde büyük problemlerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Burada birçok etken ölçüm sonuçlarının anlamlı kılınmasında etkilidir. Örneğin ölçüm birimlerinin bir ülkeden başka bir ülkeye göre değişmesi, sonuçların izlenebilirliğine etki etmekte ve üretimi yavaşlatmakta, hatalara sebep olabilmektedir. Bu amaçla ölçümler bir yöntem çerçevesinde yapılmalıdır.



Şekil 0.2: Ölçüm metodolojisi [1].

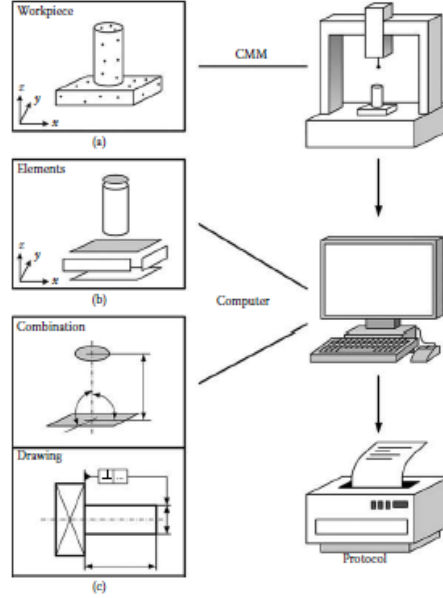
Metrolojide bir diğer önemli konu ise izlenebilirlik zincirinin oluşturulmasıdır. İzlenebilirlik zinciri bir ölçümün standartlara uygun yapılmasını sağlamaktadır.



Şekil 0.3: Ölçümde izlenebilirlik zinciri [1] .

1.2.2. Üç boyutlu ölçüm

Üç boyutlu ölçüm, üretimin hızlanması ve ölçüm sistemlerinin bu hıza adapte olabilmesi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Diğer ölçü aletlerinden farklı olarak, burada doğrudan ölçüm yapılmaz. Parça üzerinde oluşturulan noktalar, bir bilgisayar programı yardımıyla geometrik şekillerin ölçümünde kullanılır.



Şekil 0.4: Koordinat ölçüm metodolojisi [2] (p.59).

Koordinat ölçüm metodu ile yapılan ölçümlerde bir sistematik kullanmak gerekir. Bu sistematik aşağıda özetlenmiştir.

- Koordinat ölçüm cihazı kullanarak, iş parçasından bir veri seti oluşturulması
- Oryantasyon, yüzey, form gibi geometrik elemanların bu data seti kullanılarak hesaplanması
- Gerekli ölçümlerin oluşturulan formların kullanılması ile hesaplanması

Üç boyutlu ölçüm çeşitli avantajları da beraberinde getirmektedir. Örneğin parça ölçümü sırasında referans olarak kullanılan yüzeylerdeki kaçıklıklar bu yöntemle ortadan kalkmaktadır, çünkü bu yöntem ile makinanın kendi referans eksen takımı kullanılır. Bununla birlikte, ölçüm sırasında kullanılan birçok elemanın kullanım ihtiyacı ortadan kalkmıştır. Üç boyutlu ölçüm sistemleri bir defada birçok farklı ölçümün yapılabilmesini sağladığından çok daha hızlı ve esnek bir sistemdir.

1.2.3. Ölçümde hassasiyet

Ölçüm sistemlerinde ortaya çıkan sonuca bir çok etki etmektedir. Bunlar kullanılan mekanik cihazların hatalarından ya da belirsizliklerinden ya da elektronik ekipmanlardan gelebilmektedir. Bu bölümde, yapılan bir ölçüme etki eden faktörler ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi için gerekli kavramlar açıklanacaktır.

a. Doğruluk (accuracy)

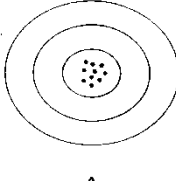
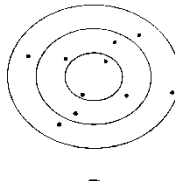
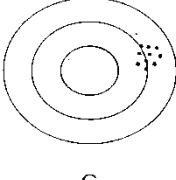
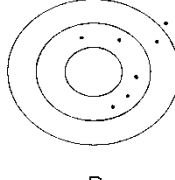
Doğruluk, sonucun gerçeğe ne kadar yakın olabildiğini açıklayan bir kavramdır. Doğrudan sonuç ile ilgili olduğundan önemli bir parametredir.

b. Tekrarlana bilirlilik (repeatability)

Bir ölçü aleti ile yapılan her ölçüm farklı bir değer verebilir. Ölçümlerin hangi oranda aynı sonucu verdiği ise tekrarlana bilirlilik ölçütü ile belirlenir.

c. Çözünürlük (Resolution)

Ölçüm sırasında sonuca etkiyen birçok parametre vardır. Bu parametrelerin bazıları değişken, bazıları ise sabittir. Çözünürlük, bir ölçüm sisteminde ölçümün minimum hangi hata ile gerçekleştirilebileceğini gösterir. Detaylandırmak gerekirse, bir ölçümün yapılması sırasında hangi minimum adımlarla bu ölçümün yapılabileceğini çözünürlük gösterir. Minimum tekrarlana bilirlilik değeri olarak da bilinmektedir.

	Yüksek Tekrarlana bilirlilik	Düşük Tekrarlana bilirlilik
Yüksek Doğruluk	 A	 B
Düşük Doğruluk	 C	 D

Şekil 0.5: Doğruluk ve tekrarlana bilirlilik arasındaki ilişki URL-1.

1.2.4. Ölçüm sonucuna etki eden faktörler

Ölçü aleti tasarımında dikkat edilmesi gereken birçok faktör bulunmaktadır. Ölçüme etki eden bu faktörler sonucu ciddi biçimde etkilemekte, hatanın artmasına neden olmaktadır. Tasarım ve programlama aşamalarında, bu faktörlerin göz önünde bulundurulması, ölçüm sonucunun daha doğru olmasını sağlayacaktır.

Tasarım aşamasında ölçü aletinin hata bütçesinin oluşturulması, hataların kaynağının ve etkisinin ne olduğuna dair üreticiye fikir verebilir ve bunlara karşı önlemler alınabilir. Hata bütçesinde, hassasiyet kavramı önemlidir. Bir hatanın ya da belirsizliğin önemi, ölçüme ne kadar etki ettiği ile ilgilidir. Bu da hassasiyet kavramını ortaya çıkarmıştır.

Sistemin mekanik aksamı incelendiğinde, hatanın rulman yataklarından geldiği görülmektedir. Bu hata değeri sistemin pozisyonuna bağlılık göstermekte ve belli aralıkta hızlı değişmektedir. Bununla birlikte, sistemde hızlı değişim göstermeyen Quasi-Statik Hatalar da mevcuttur.

Çizelge 0.3: Quasi-Statik mekanik hatalar [1,4].

Quasi-Statik Mekanik Hatalar

Geometrik Hatalar

Kinematik Hatalar

Dış Yüke Bağlı Hatalar

Yerçekimi Kuvvetinden Kaynaklı Hatalar

İvmelenen Eksenlerden Kaynaklı Hatalar

Kesme Kuvvetlerinden Kaynaklı Hatalar

Montajdan Kaynaklı Hatalar

Termal Genleşmeden Kaynaklı Hatalar

Materyal Kararsızlığından (instability) Kaynaklı Hatalar

2. MEKANİK TASARIM

2.1. Tasarım Hedefleri

Ölçüm kolunun tasarımında hedeflenen öncelikle tasarımın işlevselliğidir. Burada, tasarım çıktısının istenilen ölçümlerin yapılmasında kullanılabilir olması gereklidir. Bu prototipte istenilen ölçümler genellikle temel geometrik şekiller olacaktır. Bu da çap, derinlik ve uzunluk gibi temel ölçümlerin yapılabilmesini gerektirir.

Tasarımın en az üç serbestlik dereceli olması gereklidir. Bunun sebebi üç boyutlu uzayda bir noktanın konumunun üç parametre gerektirmesidir. Örneğin yalnızca iki boyutlu ölçümlerin yapılması hedeflenen düzlemsel bir sistemde iki serbestlik derecesi yeterli olacaktır.

Serbestlik derecesinin arttırılması esnekliği (flexibility) yeteneğini arttıracak bu da ölçüm yapan kişinin daha rahat çalışmasını sağlayacaktır. Ancak üç serbestlik dereceli bir ölçüm koluyla karmaşık şekilli modellerin bazı bölgelerine erişmek mümkün olamayabilir.

Bu problem düşünülerek piyasada 3, 4, 6 ve 7 serbestlik dereceli koordinat ölçüm cihazları üretilmiştir. Burada, tasarımın ölçü aletinin kullanılacağı yer düşünülerek yapılması yararlı olacaktır.

Tasarımın çalışma uzayı (workspace) da başlangıçta belirlenmesi gereken bir kriterdir. Çalışma uzayı arttırıldığında aynı enkoder kullanıldığında düşünülürse ölçüm hassasiyeti düşer. Bu alan tasarımıımızda 0,5 m yarıçaplı bir daireyi tarayacak şekilde düşünülmüştür.

Tasarımda sistemin hafif olması, taşınabilir bir yapı elde edebilmek için önemlidir. Bunun için alışımlı alüminyum malzemeler araştırılmış ve sistem tasarımı alüminyum alışımlı malzemeye göre yapılmıştır.

Ölçüm sistemlerinde en büyük problemler boşluklardan ve düşük frekanslı konstrüksiyonlardan kaynaklanır. Konstrüksiyonumuzda üç mafsal olduğu

düşünüldüğünde bu mafsallarda kullanılan rulmanların ve millerin çok uygun toleranslar ve iyi bir tasarım metodu ile boşluksuz şekilde tasarlanması gereklidir.

Tasarım sırasında ayrıca sistemin montajı da düşünölmek zorundadır. Çok sayıda bileşen içeren bu yapıda montaj sırası ve tasarlanan parçaların montaja uygun olması gerekir. Montaj sırasında kullanılacak ekipman düşünölerek tasarım yapılmalıdır.

2.2. Tasarım Alternatifleri

Ölçüm kolu için üç serbestlik dereli, taşınabilir ve çalışma uzayı 0,5 m olan bir konströktif tasarım gereklidir. Burada mafsalların lineer ya da dönel olarak seçilmesine bağılı olarak tasarım değışebilir.

Üç mafsaldan da lineer seçildiğı durumda aşğıdakine benzer bir konströktif yapı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 0.1: Lineer eksenli koordinat ölçüm cihazı.

Bu yapıda eksenlere yerleştirilen motorlarla eksenlerin otomatik ölçüm yapması sağlanabilir. Ancak tasarımıımız manuel ve taşınabilir bir ölçüm koludur. Bu yapı taşınabilirlik açısından elverişli değildir.

Tasarımın bir diğer alternatifi ise üç mafsallı da dönel seçilmesi olabilir. Bu durumda yapı robotik bir kola benzer. Bu yapının en büyük faydası taşınabilir olması ve ölçüm sırasında hareket kabiliyetinin yüksek olmasıdır. Bu yapı aşağıdaki şekilde gösterilen yapıya benzer.



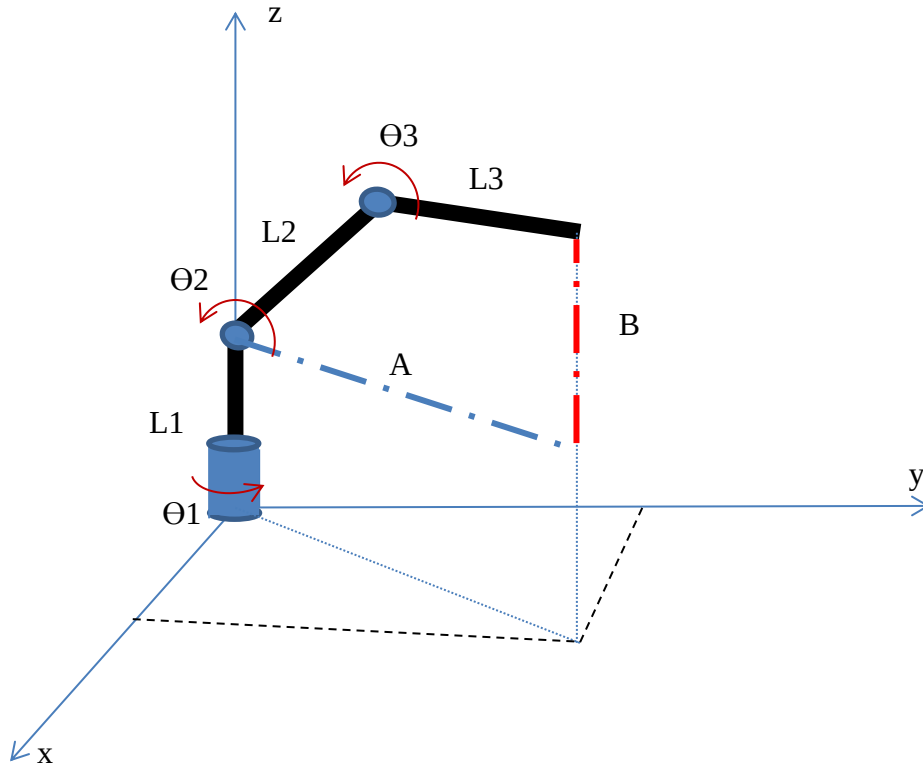
Şekil 0.2: Dönel eksenli koordinat ölçüm cihazı.

2.3. Tasarımın Geometrik Modeli

Tasarım konusunda alternatifler incelenip gerekli özellikler göz önünde bulundurularak bir tasarım tipi belirlenmiştir. Bu tasarımın geometrik modeli çıkarılıp uzuvların açılarından, uç noktanın koordinatlarının hesaplanması sağlanacaktır.

Geometrik model kullanılarak enkoderlerden okunan açı değerleri bilgisayar programında uç nokta koordinatlarına dönüştürülecektir. Koordinat ölçümünün hassas bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için geometrik modelde belirsizlik olmaması ve bilinmezlerin minimize edilmesi gerekmektedir. Bunun için sistem tanılama algoritmaları ile parametrelerin tanınması yapılabilir. Bu çalışma yapıldığında, gerçeğe daha yakın değerlerde parametreler kullanılarak uç nokta hatası minimize edilecektir.

Geometrik denklemler incelendiğinde, sistem modelinin doğrusal olmadığı görülmektedir. Bu etki ölçüme etki etmekte ve ölçüm sırasında geometrik hataların doğrusal olmayan bir şekilde ölçüm sonucuna etki etmesine sebep olmaktadır.



Şekil 0.3: Sistemin geometrik modeli.

$$A = L2 * \cos(\theta2) + L3 * \cos(\theta2 + \theta3) \quad (2.1.)$$

$$B = L2 * \sin(\theta2) + L3 * \sin(\theta2 + \theta3) \quad (2.2.)$$

$$y = A * \sin(\theta1) \quad (2.3.)$$

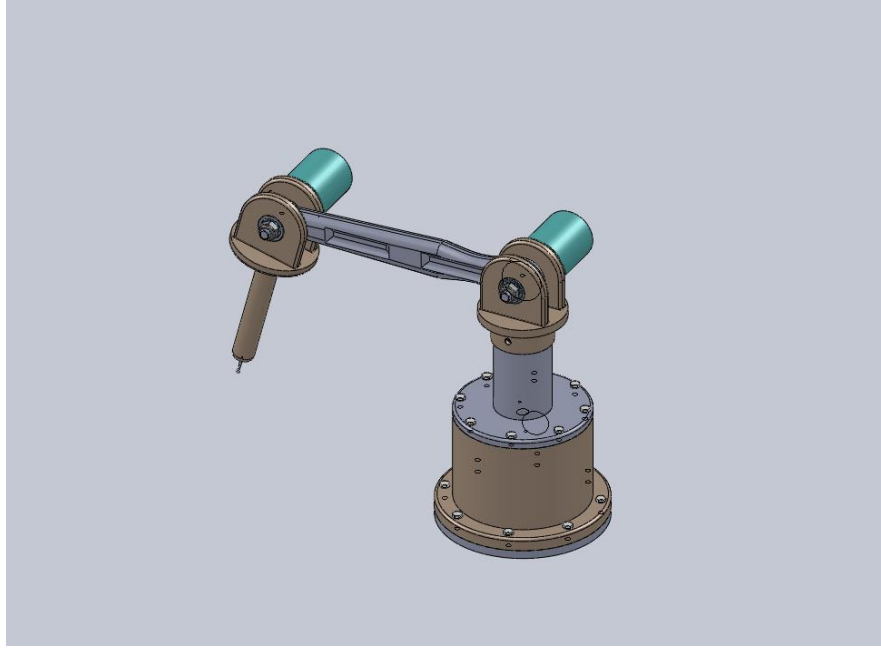
$$x = A * \cos(\theta1) \quad (2.4.)$$

$$z = B + L1 \quad (2.5.)$$

2.4. Konstrüksiyonun yapısı

Konstrüksiyon belirtilen kriterler çerçevesinde tasarlanmıştır. Bu yapının üç serbestlik dereceli, hafif, boşluksuz olması hedeflenmiştir. Tasarımın 0,5 m yarıçapında çalışabilmesi gereklidir. Bunun için öncelikle kol yapısında uzuvların uzunlukları belirlenmiştir.

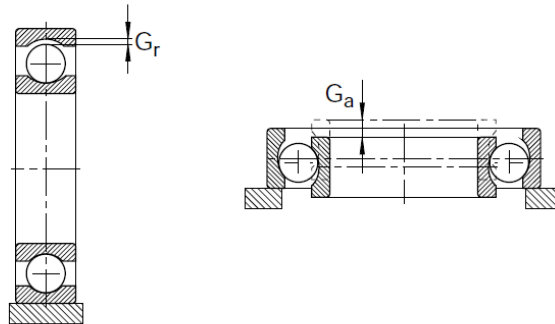
Boşluksuz yapının sağlanabilmesi için rulmanların uygun seçilmesi ve uygun bir tasarımla konstrüksiyona dahil edilmesi çok önemlidir. Bu sebeple piyasa araştırması yapıp boşluksuz rulmanlar konstrüksiyonda kullanılmıştır.



Şekil 0.4: Ölçüm kolu.

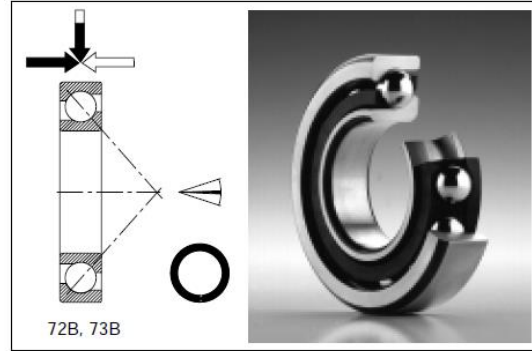
2.4.1. Rulman seçimi

Ölçüm kolunda bulunan üç adet dönel mafsallın yataklanması için rulmanlı bir konstrüksiyon kullanılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken konu, rulmanlı konstrüksiyonda meydana gelebilecek boşlukların önceden önlem olarak giderilmesidir. Buna uygun olarak, öncelikle rulmanlarda meydana gelen boşluk tiplerinin ve bu boşlukların nasıl giderileceğinin incelenmesi gereklidir.



Şekil 0.5: Rulman boşlukları (FAG Rulman Kataloğu).

Yukarıdaki şekil incelendiğinde bir rulmanda iki farklı boşluğun olduğu görülmektedir. Burada G_a eksenel boşluk, G_r radyal boşluktur. Sistemimizde eksenel ve radyal boşlukların sıfır olması istenmektedir. FAG Rulmanları incelendiğinde bu yapının sağlanabilmesi için açılmalı, bilyalı rulmanların (Fener Mili Rulmanı) kullanılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.



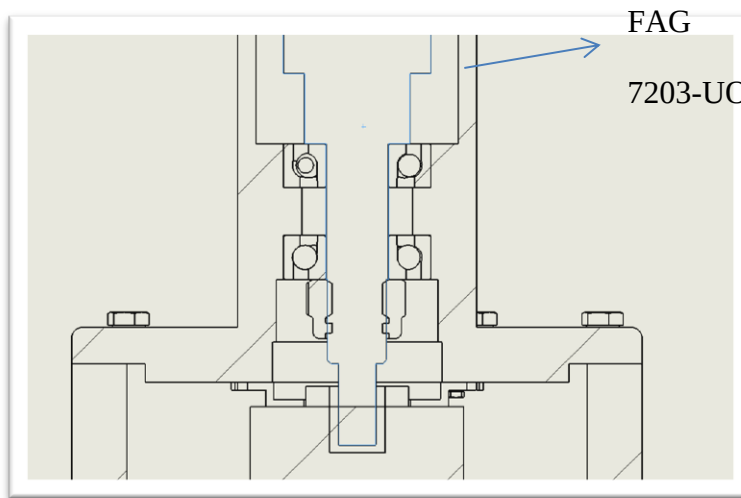
Şekil 0.6: Fener mili rulmanı.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, fener mili rulmanlarının X ya da O düzeninde bağlandığında boşluksuz bir düzenleme elde edilebileceğidir. Bunun için ayrıca, rulman iç toleranslarının UO (zero clearance) seçilmiş olması gerekir.

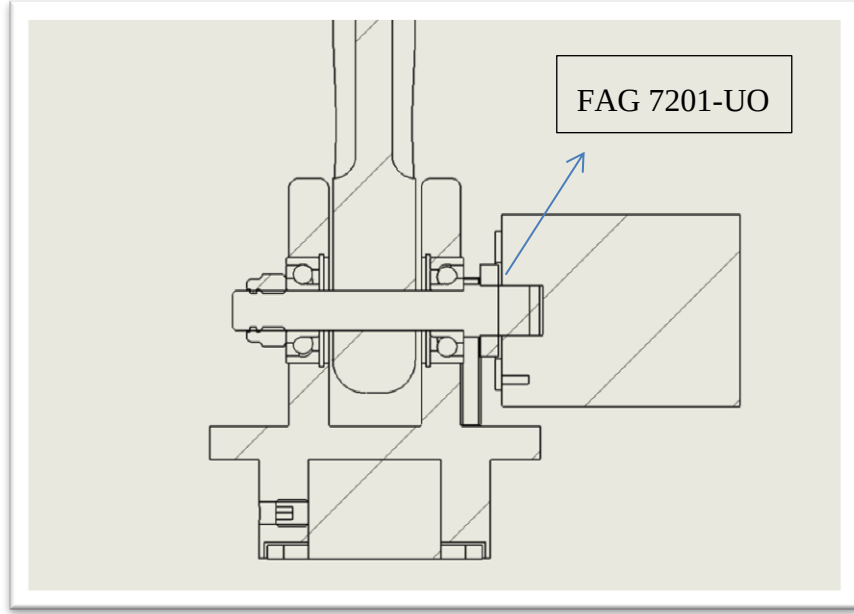
Bu yapıdaki rulmanlar piyasada sıkça kullanıl rulmanlar değildir. Bu sebeple, sipariş ve tedarik süreleri uzundur.

Sistemimizde seçtiğimiz rulmanlar INA-FAG 7201-UO ve 7203-UO rulmanlarıdır.

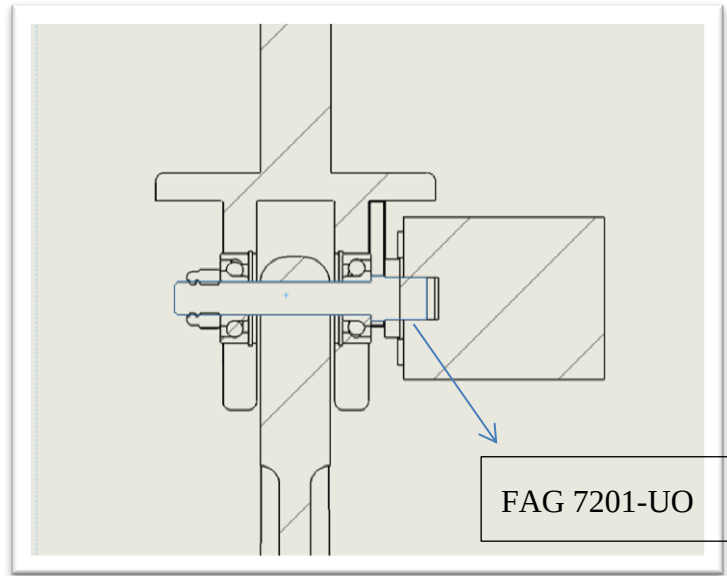
Rulmanlar sistemde O düzeninde yataklanmıştır.



Şekil 0.7: Birinci eksenindeki rulmanların yataklanması.



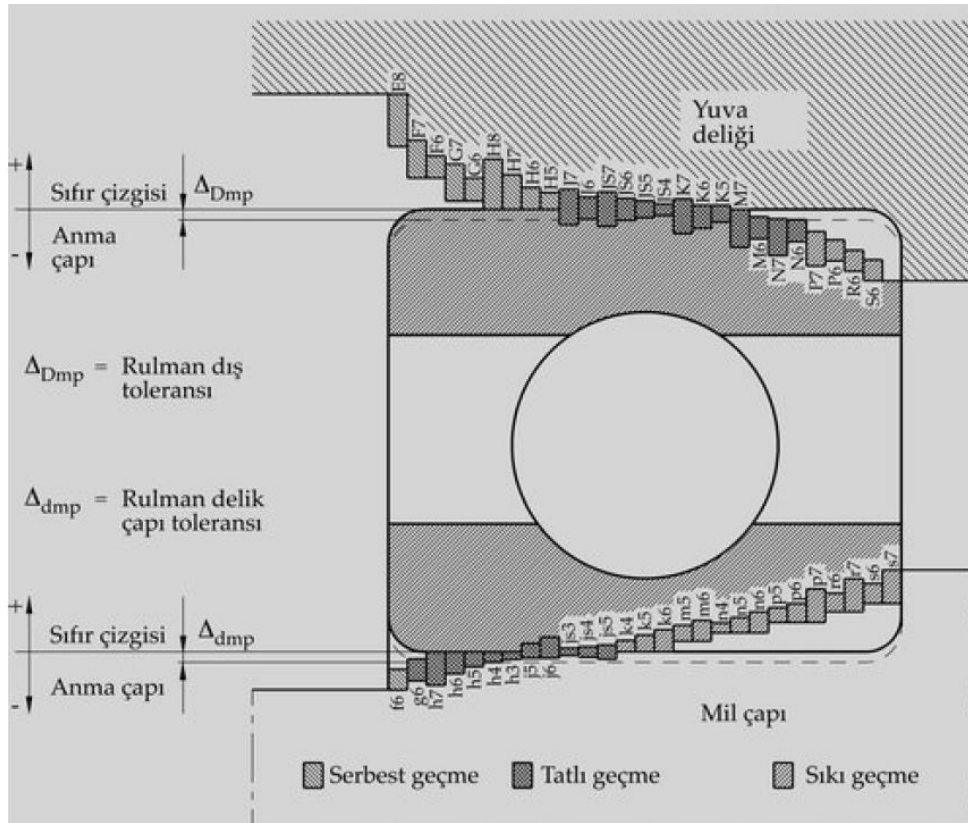
Şekil 0.8: İkinci eksendeki rulmanların yataklanması.



Şekil 0.9: Üçüncü eksendeki rulmanların yataklanması.

2.4.2. Rulmanların ve millerin geçme toleransları

Rulman ve millerin geçme toleransları rulman seçiminden sonraki en önemli aşamadır. Geçmelerin boşluksuz yapılması gerekmektedir. Ayrıca geçmeler, montaj sırası düşünülerek tasarlanmalıdır. Bu bölümde geçmelerin hangi sırayla ve hangi kriterler düşünülerek tasarlandığı anlatılacaktır.

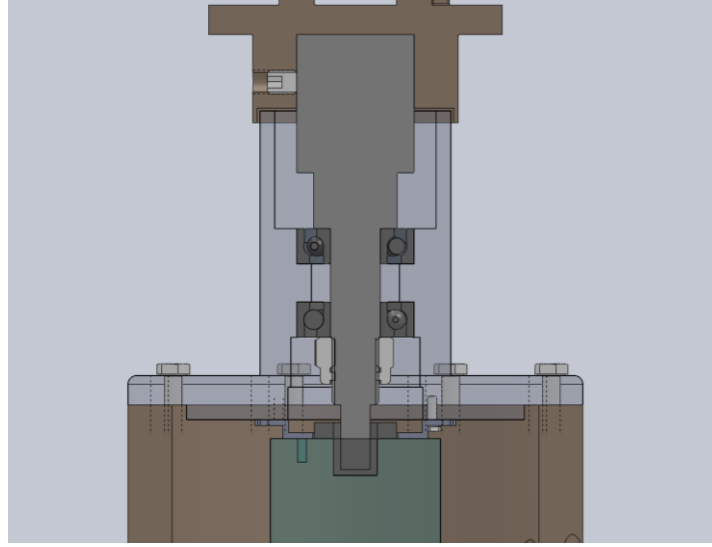


Şekil 0.10: Rulmanların geçme toleransları.

Rulman geçme toleransları incelendiğinde, rulmanların dış bilezik çaplarının daima sıfır çizgisinin altında yani olması gereken çap değerinin altında işlendiği görülmektedir. İç bilezik çaplarının da daima sıfır çizgisinin altında yani iç çaptan küçük olacak şekilde imal edildiği gösterilmiştir. Buna göre bir rulman teorik olarak sıfır tolerans ile işlenen bir deliğe 0 ile rulman dış toleransı arasında bir boşluk ile geçecektir. Aynı şekilde iç bilezik teorik olarak sıfır tolerans ile işlenmiş bir mile 0 ile rulman iç çapı arasındaki tolerans kadar bir sıkılık ile geçecektir.

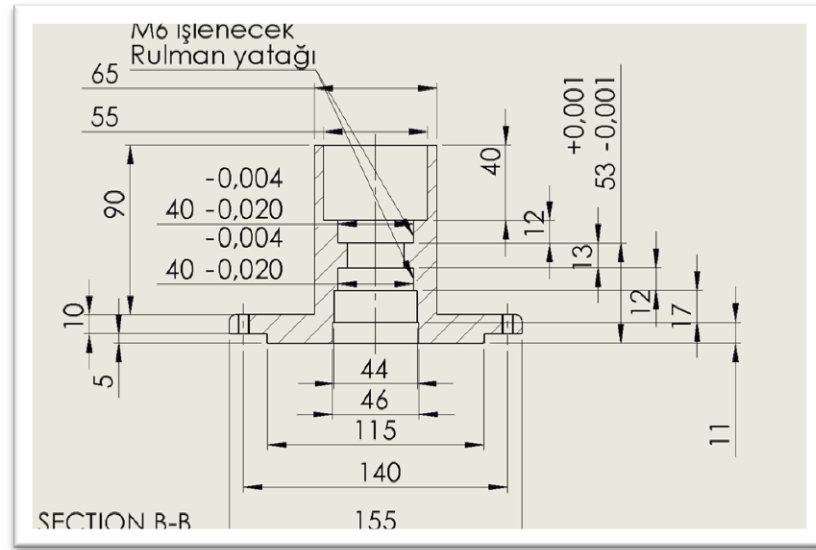
Bu durum göz önünde bulundurularak mil ve deliklerin boşluksuz olması için gerekli toleranslar belirlenebilir.

Öncelikle birinci eksende bulunan iki adet FAG-7203-UO rulman çiftinin geçeceği delikler ve rulmanlardan geçecek mil toleransları belirlenecektir. Bu parçaların resimleri ve montaj resmi aşağıda verilmiştir.



Şekil 0.11: Birinci eksen kesit görünümü.

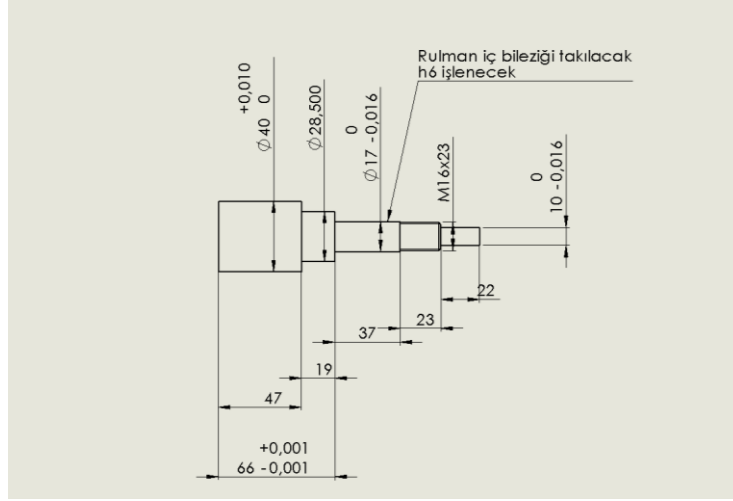
Yukarıdaki şekil incelendiğinde öncelikle iki adet rulmanın dış bileziklerinin, rulman yataklarına geçmelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Burada rulmanların bu yataklara çakarak geçirileceği düşünüldüğünde sıkı geçme bir toleransın uygun olacağı görülmektedir.



Şekil 0.12: Birinci eksen rulman yatakları.

Birinci eksenin yataklarının teknik resmi incelendiğinde, 40 mm çaplı yatakların rulman dış toleransları göz önünde bulundurularak sıkı geçme olabilmesi için yatak toleransının M6 olmasının uygun olacağı belirlenmiştir. M6 yatak toleransına göre 40 mm çaplı yatakların çapı $40_{-0.020}^{-0.004}$ olacak şekilde imal edilecektir.

Birinci ekseninde bulunan rulmanlara geçecek milin de aynı şekilde toleranslarının belirtilmesi gereklidir. Burada mil üzerinde iki farklı toleranslı bölge bulunmaktadır.

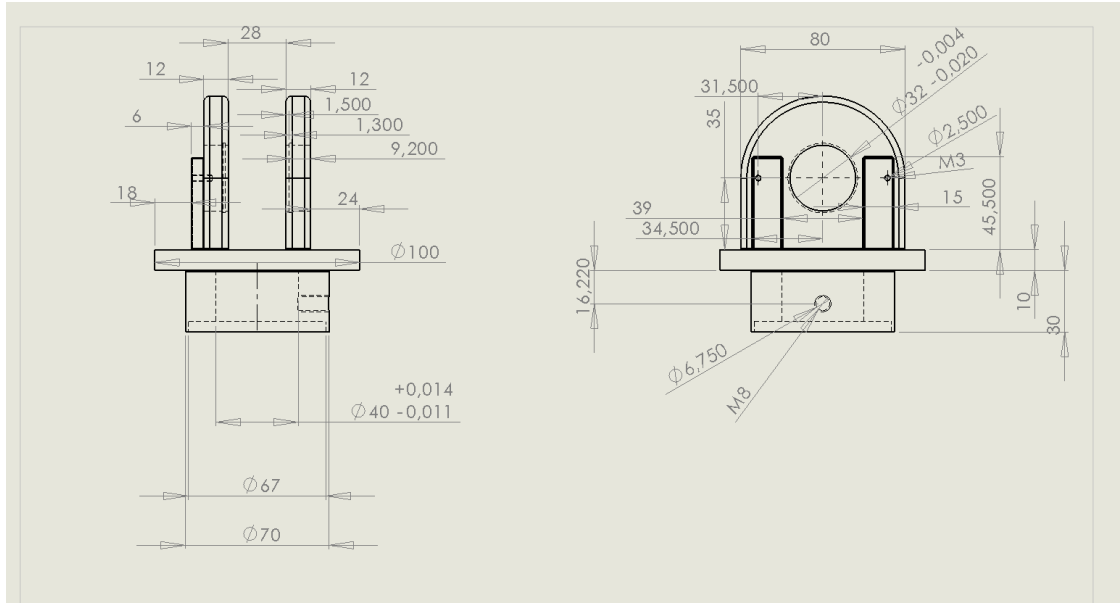


Şekil 0.13: Mil 1 toleransları.

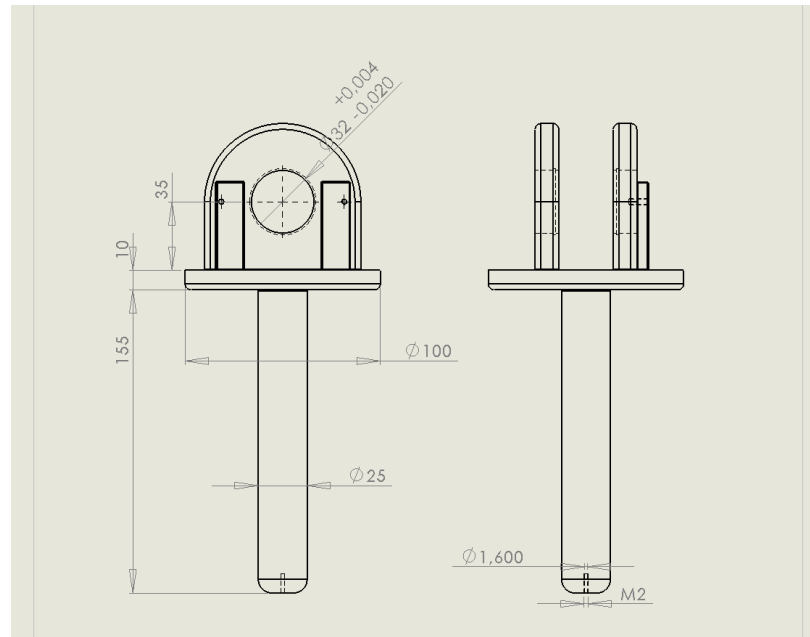
Mil 1'in toleransları incelendiğinde 17mm'lik çap ölçüsünün rulman iç bileziğine geçeceği, 40 mm çaplı bölgenin ise ikinci mafsallı gövdesine geçeceği görülmektedir. Burada rulmanlara sıkı geçme toleranslı geçme istendiğinde milin 17mm'lik çap h6 toleransında ölçülendirilmiştir. Bu tolerans ile ölçü $17^{0,000}_{-0,016}$ olacak şekilde işlenecektir. Milin 40 mm çaplı bölgesinin ölçüsü $40^{+0,010}_{-0,000}$ toleransları ile verilmiştir. Bu şekilde bu bölgede delik toleransı da incelendiğinde sıkı geçme bir tolerans elde edilecektir.

Konstrüksiyonun ikinci eksenindeki yataklama düşünüldüğünde Mil 1'e bu eksenin bağlandığı 40 mm çaplı bölgenin J7 toleransında işlenerek $40^{+0,014}_{-0,011}$ değerinde bir delik elde edileceği görülmektedir. Bu deliğe geçecek $40^{+0,010}_{-0,000}$ mm çaplı mil bu tolerans değerleri ile sıkı geçme ile monte edilecektir.

İkinci ekseninde görülen 32 mm çaplı bölgeye iki adet FAG 7201-UO rulman montajı yapılacaktır. Burada M6 delik toleransı için delik çapları $32^{0,004}_{-0,020}$ olacaktır. Bu bölgeye rulmanlar sıkı geçme olarak monte edilecektir. Montajın sıkı geçme yapılması durumunda montaj sırasında rulmanların pres ile monte edilmesi gerekmektedir. Bunun için iç bilezik ve dış bileziğe montaj parçaları tasarlanmıştır.

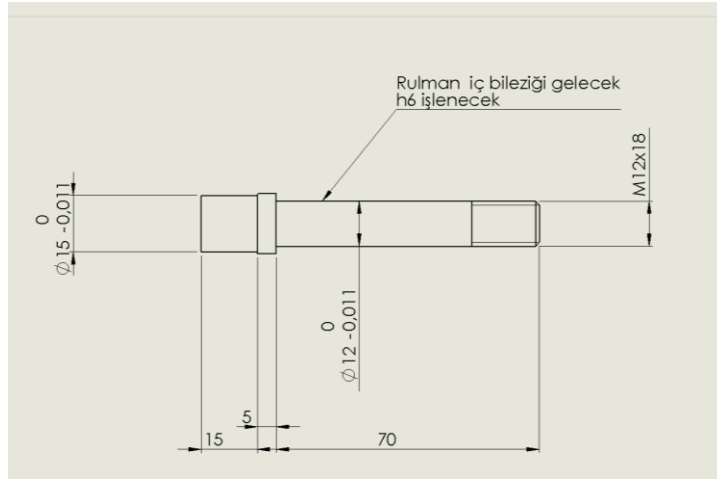


Şekil 0.14: İkinci eksen yataklanması.



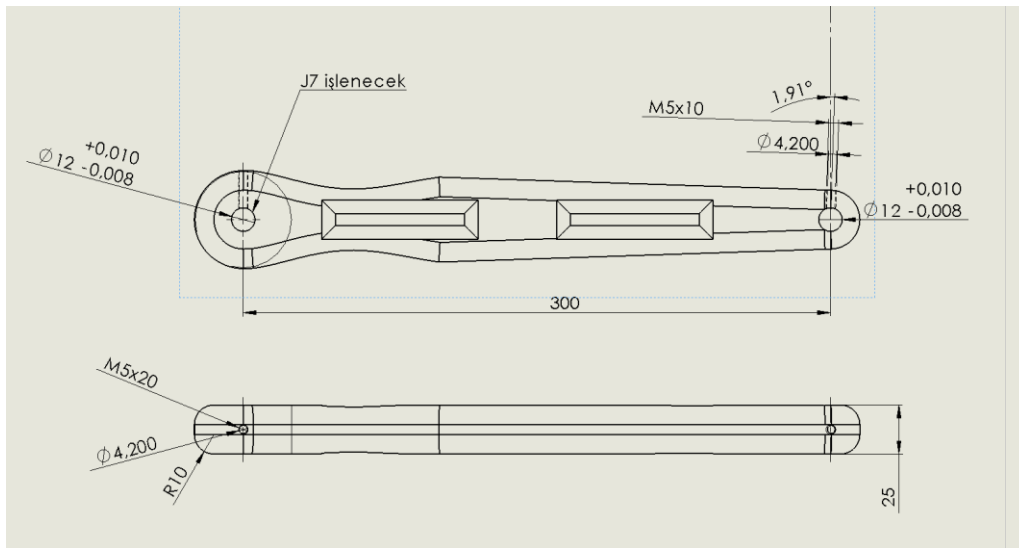
Şekil 0.15: Üçüncü eksen yataklaması.

Üçüncü ekseninde yine iki adet FAG 7201-UO rulman kullanılacaktır. Bu rulmanların yataklanmasında kullanılacak geçme toleransları ikinci eksenindeki ile aynı olup M6 olarak gösterilmiştir. Pres ile bu eksenlere monte edilecek rulmanlar için tasarlanmış ara elemanlar kullanılmıştır. Tasarımın yapısı bakımından presin açısal bozulmalara sebep olmaması için bu ara montaj parçaları büyük önem taşımaktadır.



Şekil 0.16: Mil 2 ve 3 toleranslı gösterimi.

İkinci ve üçüncü yataklarda kullanılacak mil yukarıda gösterilmiştir. Milin rulman yataklarına boşluksuz geçmesi istenmektedir. Bu sebeple mil h6 toleransında işlenecek ve çap imalat sonrası $12_{-0,011}^{-0,000}$ olarak elde edilecektir.



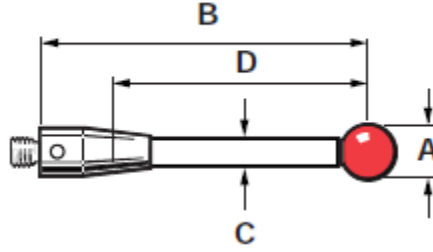
Şekil 0.17: İki ve üçüncü mafsalları bağlayan kol.

Yukarıda gösterilen kol, ikinci ve üçüncü mafsallarda yataklanmış millere bağlanacaktır. Burada önemli tolerans bölgesi ikinci ve üçüncü mile geçen 12mm'lik iki deliktir. Bu deliklerin boşluksuz ancak düşük sıkılıkta millere geçmesi hedeflenmiştir.

Tasarım hedefi doğrultusunda deliklerin J7 toleransında işlenmesine karar verilmiştir. Bu tolerans ile deliklerin çapları $12_{-0,008}^{+0,010}$ olacak ve $12_{-0,011}^{-0,000}$ toleranslı mile düşük sıkılıkta geçecektir. Ayrıca mil bir setskur kullanılarak sıkıştırılacak, böylece montaj sonrası kaymaların önüne geçilecektir.

2.4.3. Stylus seçimi

Hedeflenen tasarımda uç noktadan alınacak ölçümlerin küresel bir yapı kullanılarak alınması, böylece uç nokta yöneliminden (oryantasyon) bağımsız olarak ölçüm yapılabilmesi hedeflenmiştir. Bu amacı Stylus prob uçları ile gerçekleştirmek mümkündür.



Şekil 0.18: Stylus (Renishaw Stylus Kataloğu).

Yukarıda gösterilen şekilde A, B, C ve D ölçülerinin açıklamaları aşağıdaki gibidir.

A: Küre çapı

B: Toplam uzunluk

C: Gövde çapı

D: Efektif çalışma uzunluğu

Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta da Stylus bağlantısının yapılabilmesi için gövdesinde bulunan somunun çapıdır. Renishaw kataloğu incelendiğinde bu çapların M2, M3 M4 olarak standartlaştırıldığı görülmüştür.

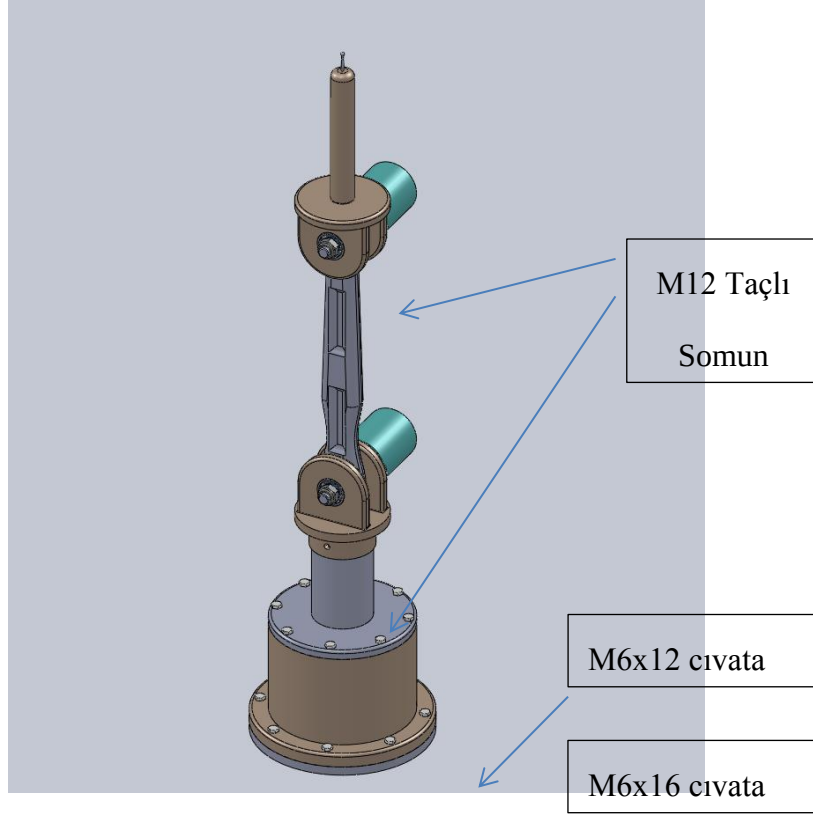
Tasarım aşamasında gerek stylus uzunluğu gerekse bağlantının metrik çapı tasarımı doğrudan etkileyen parametrelerdir. Bu sebeple Renishaw kataloğunda olan ve piyasada stokta olan ürünlerden A-5000-4161 ürün kodlu stylus seçilmiştir.

Seçilen stylus bağlantı çapı M2, uzunluğu 20 mm ve küre çapı da 4 mm'dir.

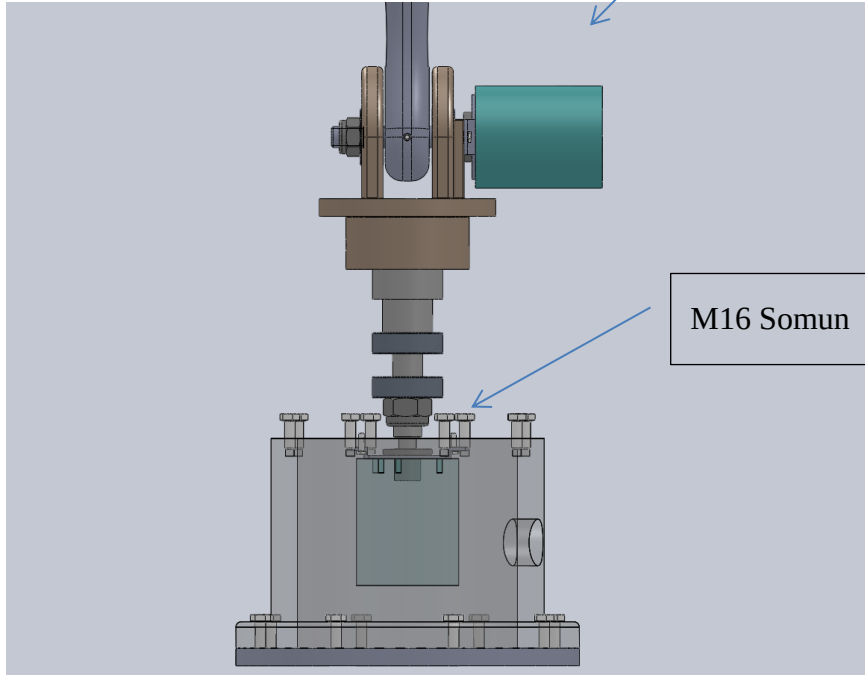
2.4.4. Cıvata, somun ve setskur seçimi

Konstrüksiyonda kullanılacak tüm cıvata somun ve setskurların metrik kullanılması hedeflenmiştir. Tasarım aşamasında olabildiğince az çeşit cıvata ve somun kullanılarak montaj aşamasının kolaylaştırılması düşünülmektedir. Kullanılan

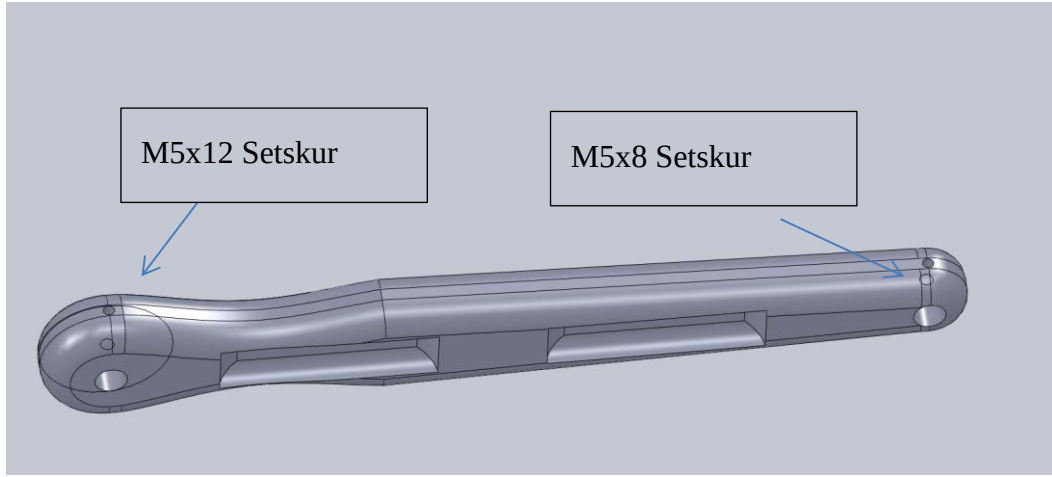
somunların, ön gerilmeye ek olarak taçlı somun seçilerek gevşemelerinin engellenmesi hedeflenmiştir.



Şekil 0.19: Ölçüm kolu montaj resmi.



Şekil 0.20: Birinci mafsalda kullanılan somun.



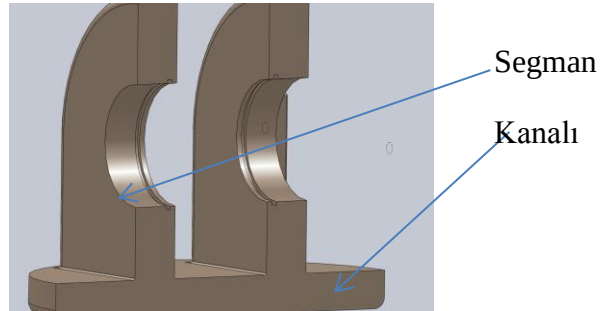
Şekil 0.21: Bağlantı kolu setskur delikleri.

2.4.5. Segmanlı tasarım ve segman seçimi

Rulman yataklarında sıkça kullanılan bir diğer makine elemanı da segmandır. Konstrüksiyonda ikinci ve üçüncü mafsallarda kullanılan rulmanların montaj tasarımı segmanlı olarak düşünülmüştür.

Bu tasarıma alternatif olarak delik içinde, rulman üst bileziklerinin dayanabileceği bir tasarım da oluşturmak mümkündür. Ancak bu tasarımın imalat yönünden segmanlı tasarıma göre dezavantajları bulunmaktadır. Segmanlı tasarımda iki rulmanın deliği de aynı yönde işlem yapılırken işlenebilir. Bu rulman deliklerinin eksenlerinin birbiri ile aynı olmasını sağlayacaktır.

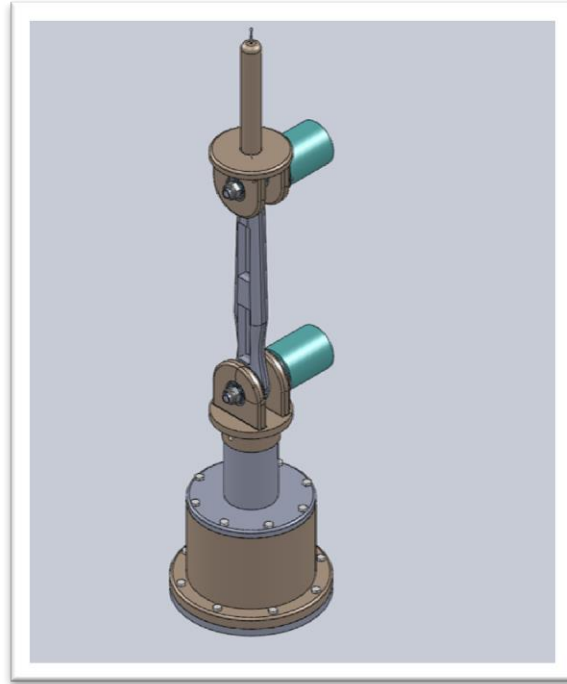
Segman seçimi rulman yatak çapı göz önüne alınarak yapılmıştır. Burada rulman yatak çapı 32 mm'dir. Segmanın delik için seçileceği düşünülerek 32 mm delik için DIN 472 segman standartları kullanılarak uygun segman seçilmiştir. Segmanın standart kalınlığı 1,2 mm olduğu için segman kanalı 1,3 mm olarak tasarlanmıştır.



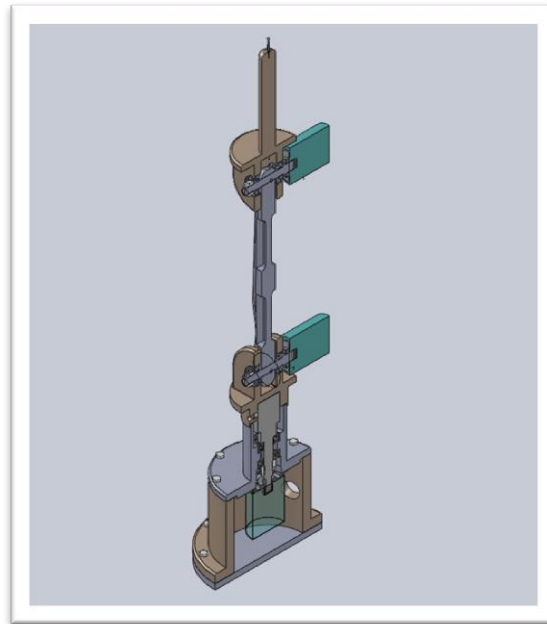
Şekil 0.22: Kesit görünümde segman kanalları.

2.4.6. Montaj resmi ve montaj sırası

Konstrüksiyonun montajının imalat sonrada yapılabilmesi için, montajın hangi sırayla yapılacağı belirtilmelidir. Bu bölümde öncelikle montaj resmi üzerinde konstrüksiyon yapısı özetlenecek olup, montajı hangi sıra ile yapılması gerektiği anlatılacaktır.



Şekil 0.23: Montaj resmi.

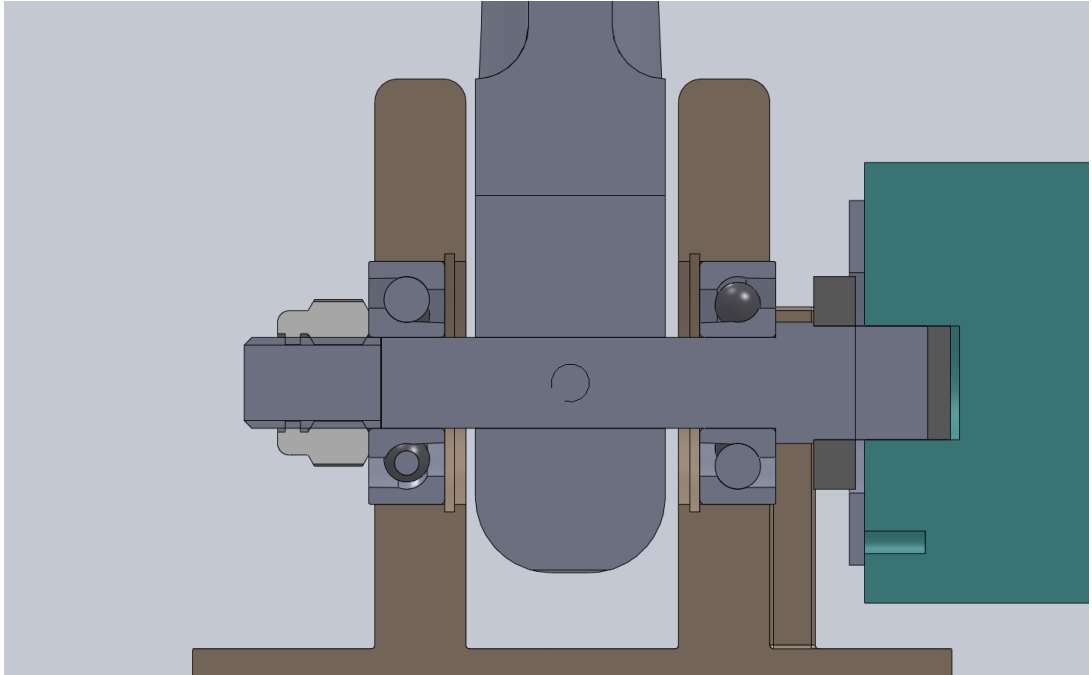


Şekil 0.24: Montaj resmi kesit görünümü.

Resimler incelendiğinde, konstrüksiyonda bulunan rulmanların sıkı geçme montajının sıralamanın başında olması gerektiği anlaşılmaktadır. Rulmanların montajı çakarak yapılacaktır.

Çakma işleminde kritik birkaç önemli adım mevcuttur. Rulmanların dış bilezikleri çakıldığından iç bileziklere ve bilyalara darbe gelmemesi için sadece dış bileziğe temas eden silindirik bir aparat üretilmiştir. Bu aparat aynı zamanda delrin malzemesinden imal edildiği için darbelerin yapıya iletiminde sönümleyici özellik de gösterir.

Rulmanların çakma işleminin ardından önce ikinci mafsalsal montajı yapılmıştır. Burada iki rulman, bir bağlantı kolu ve bir milin montajının yapılması gerekmektedir.



Şekil 0.25: İkinci mafsalsal montaj görünümü.

İkinci mafsalsal montajı tamamlandıktan sonra üçüncü mafsalsal montajı da aynı yöntemle yapılmalıdır.

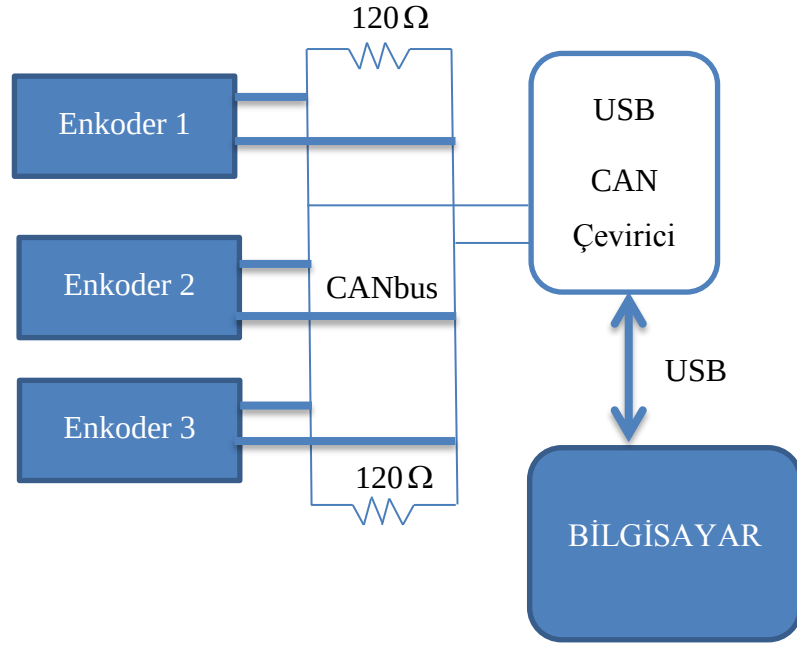
Bu aşamadan sonra birinci mafsalsal mili rulmanlara monte edilmeli ve taçlı somun ile sıkılmalıdır.

Son olarak yapının enkoder bağlantıları yapıp gerekli tüm bağlama işlemleri tamamlanabilir.

3. ELEKTRONİK TASARIM

3.1. Elektronik Tasarım

Üç boyutlu ölçüm kolunun elektronik sistem bileşenleri aşağıda belirtilmiştir. Bu bileşenlerin birbirleri ile uyumlu çalışması ve sistem yapısına uygun bir elektriksel tasarım şemasının oluşturulması gerekmektedir.



Şekil 0.1: Sistem şeması.

Sistemin yukarıda belirtilen şeması incelendiğinde, sistemde üç adet enkoder bulunduğu ve bu enkoderlerin aynı CAN hattına paralel bağlı olduğu görülmektedir. CAN sinyalleri bilgisayara USB girişi kullanılarak alınacağı için sistemde bir adet CAN-USB dönüştürücü bulunmaktadır. Burada CAN hattından alınan sinyaller bilgisayara gönderilecek ve bilgisayarda kullanılacak olan CAN API (Application Programming Interface) ile bu sinyaller anlamlı mesajlara dönüştürülecektir.

Sistemin elektronik tasarımını oluşturan temel bileşenlerin enkoder, CAN-USB çevirici ve bilgisayar olduğu açıktır. Bu bileşenlerin elektronik özellikleri yine bu bölümde detaylı şekilde açıklanacaktır.

3.1.1. Enkoder seçimi

Sistemde algılayıcı olarak enkoderler kullanılmıştır. Uzuvar arasındaki açı bu şekilde ölçülmüştür. Açı ölçümü için sistemde resolver da kullanılabilir ancak resolver enkodere göre kullanımı daha zor bir yapıdır. Çünkü resolver çıkışlarının bir mikro kontrolörden geçirilip bus hattına uygun mesajlara çevrilmesi gerekecektir. Bu sebeple sistemde algılayıcı olarak enkoder kullanılması tasarım sürecini kısıltacaktır.

Seçimi yapılacak enkoderin mutlaka taşınması gereken özelliklere göre bir piyasa araştırması yapılmış, bu araştırma sonucunda aşağıdaki tablo ortaya çıkmıştır. Burada BUS sisteminin CANopen haberleşme protokolü uyumlu CANbus sistemi olması ve enkoderin mutlak tek turlu bir yapıda olması piyasa araştırmasında dikkat edilmesi gereken özelliklerdir.

Çizelge 0.1: Enkoder karşılaştırması.

Marka	Model	Çözünürlük	Boyutlar	Ağırlık	Haberleşme
LIKA	HSC59-18	18 bit	58x75mm	500 g	CANopen
WACHEN DORFF	WDGA 36A	12 bit	36x46mm	112 g	CANopen
Kübler	M3678	16 bit	36x43mm	200 g	CANopen
Baumer	GXP5S	13 bit	58x49.5mm	600g	CANopen

Tablo incelendiğinde görüleceği gibi çözünürlük olarak tek turlu mutlak enkoderlerde piyasada en yüksek çözünürlük Lika marka enkoderlerdir. Sistem bir ölçüm sistemi olacağından ve prototip aşamasında ölçümün yüksek çözünürlükte yapısı gerekeceğinden piyasadaki modeller arasından Lika HSC59-18 modeli enkoder olarak seçilmiştir.

Enkoder seçimi sırasında piyasada bulunan çok turlu (multi turn) enkoderler de incelenmiştir. Örneğin 16 bit tek tur 12 bit çok turlu bir enkoder 360 dereceyi 16 bit çözünürlükle tarayacak ve 12 bit kadar da tur sayabilecektir. Bu tip bir enkoder kullanılarak çözünürlük arttırılmak istendiğinde enkoderin tur sayma kapasitesinden yararlanmak düşünülebilir. Burada mafsal bir tur döndüğünde enkoder çok tur dönecek şekilde bir redüksiyon yapıp tur sayıları da kullanılabilir. Örneğin 16 bit tek tur, 12 bit tur çok tur kapasitesi olan bir enkoder düşünelim. Bu enkoderi mafsala $12 \text{ bit} = 2^{12}=4096$ çevrim oranı ile bağladığımızı düşünelim. Enkoder bir tur döndüğünde mafsal $\frac{1}{2^{12}}$ tur dönecektir. Ayrıca enkoder kendi turunu da 16 bit

çözünürlükte göstermektedir. Dolayısı ile $\frac{1}{2^{12}}$ turu 2^{16} 'ya bölerek toplamda 2^{18} bit çözünürlükle mafsalin bir turunu ölçmem teorik olarak mümkün olur. Bunun için öncelikle aktarım oranı çok yüksek redüktörler araştırılıp bu redüktörlerin ters boşlukları (backlash) bilinmelidir. Burada yapılan araştırmada ters boşlukların minimum 6 Ark.min olduğu görülmüştür. Bu da yaklaşık 0,1 derece ters boşluklu bir yapı demektir.

Sistemde böyle bir yapının kullanılmasının bu sebeplerle uygun olmayacağı ve enkoderin tek turlu seçilmesinin uygun olacağına karar verilmiştir.

3.1.2. USB-CAN çevirici seçimi

Sistemin elektronik diğer bir bileşeni de USB-CAN çeviricisidir. Burada çeviricinin işlevi CANbus hattındaki sinyallerin CANbus girişi olmayan bilgisayarlara USB girişi kullanılarak aktarılmasını sağlamaktır. Piyasada oldukça fazla sayıda USB-CAN çevirici mevcuttur. Bunlar arasında çeşitli farklılıklar bulunmakta, bu farklılıklar da sistemde kullanılacak çeviriciyi seçerken öne çıkmaktadır.

Yapılan Ölçüm Kolu'nun bilgisayarların donanım ve yazılımından minimum etkilenecek istenilen bilgisayarda çalışması istenmektedir. En çok kullanılan Microsoft ve Linux tabanlı işletim sistemlerinde Ölçüm Kolu programının çalışması ve bu bilgisayarlarda CANbus girişinin yerine USB girişinin kullanılması hedeflenmiştir.

Linux tabanlı işletim sistemleri özelinde durum değerlendirildiğinde Linux Kernelinin yeni sürümlerinde USB girişli cihazların sürücülerinin GPL lisansı olması zorunluluğu getirilmiştir. Bu duruma uymayan ve sürücülerini GPL lisansı yapmayan firmaların donanımları Linux Kernelinin yeni sürümlerinde çalışmamaktadır. Bu da Linux tabanlı işletim sistemlerinde de çalışması hedeflenen bir program için problem oluşturmaktadır.

Bu durumun sorun teşkil etmemesi için GPL lisansı olan USB-CAN çeviriciler araştırılmıştır. Bu araştırma neticesinde en yaygın kullanılan markanın PEAK-SYSTEM olduğu görülmüştür. Birçok yazılımın doğrudan USB-CAN çevirici özelinde yazıldığı düşünüldüğünde yaygın bir çevirici markası kullanmak bu tip problemlerle karşılaşma olasılığını azaltacağı gibi kaynak bulma ve karşılaşılan problemlerin hızlı çözülmesi konusunda da etkili olacaktır.

Seçilen USB-CAN evirici PEAK-SYSTEM PCAN-USB modelidir.



Şekil 0.2: PCAN-USB.

USB-CAN evirici seçiminde dikkat edilmesi gereken bir diğerk husus da CANbus API (Application Programming Interface)'dir. Piyasada oldukça fazla sayıda CANbus API bulunmaktadır. Bu API'lerin bazıları sadece CAN mesajlarını alıp göndermek için yazıldıkları gibi bazıları belli protokollerin (CANopen, DeviceNet gibi) API'leridir. Bu API'lerin ücretli ve ücretsiz olanları mevcuttur.

Bir çok firma geliştirdiğı CANopen API'leri satışa sunmaktadır. Bunlardan biri CANopen Magic CANopen API'sidir. Bu program geliştirme ara yüzünün de birçok versiyonu mevcuttur. İhtiyaca göre bir versiyon seçilip o versiyonun satın alınması maliyet açısından uygun olacaktır. Versiyonlar ise CANopen protokol özelliklerine göre birbirinden ayrılmaktadır. Örneğın ağı yönetimi ile ilgili özel bir ihtiyaa cevap vermesi gereken CANopen API ihtiyaı ortaya çıktığından buna uygun bir API seçiminin yapılması gerekmektedir.

Linux ortamında CANopen API kullanılması düşünüldüğü durumlarda ücretsiz bir versiyon tercih edilmek istenirse CANfestival kullanılabilir. Peak-System şirketi CANfestival API'yi desteklemekte ve USB-CAN eviricilerinin bu API ile kullanılabilmesi için srclerini yayınlamaktadır.

ok	No bug reported since last success claim.
broken	Implementation proven bugged, contact specific port maintainer for more.
	Non applicable

CAN device	Linux			Win32			µC
	Vanilla	Xenomai	RTAI	VC++	mingw	Cygwin	
SocketCan	ok	ok					
Peak System	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
can4linux	ok						
CAN-mVCCM				ok			
LinCAN	ok						
IXXAT				ok			
VScan	ok			ok			
Anagat	ok			ok	ok	ok	
Kvaizer				broken			
Unix pipes	ok					ok	
Serial	ok						
Motorola HCS12							broken
AVR							ok

Şekil 0.3: CANfestival destekleyen cihazlar.

Şekilden de görüleceği gibi CANfestival kullanılması gereken durumlarda PCAN-USB rahatlıkla kullanılabilir.

Peak-System çeviricisi ile birlikte ücretsiz bir CAN API sağlamaktadır. Bu API bir CANopen API değildir ancak CAN mesajlarının okunabilmesi ve gönderilebilmesi için yeterlidir. Sistemimizde CAN mesajlarının gönderilmesi ve okunması için PCAN Basic API kullanılmıştır. Programın detayları haberleşme protokolü başlığı altında anlatılacaktır.

3.2. Haberleşme Sistemi

3.2.1. Haberleşme sisteminin sağlaması gereken özellikler

Ölçüm kolunda bulunan üç adet mutlak, tek turlu enkoderden bilgisayara veri aktarmak için bir haberleşme sistemi kullanılması gerekmektedir. Haberleşme sisteminden gerek fiziksel gerekse protokol düzeyinde bazı beklentiler

bulunmaktadır. Bu bölümde haberleşme sisteminin hangi özellikleri taşıması gerekeceği açıklanacaktır.

3.2.1.1. Fiziksel yapıdan beklenen özellikler

Haberleşme sistemlerinin fiziksel olarak konstrüksiyon üzerinde kablolamada önemli bir rolü bulunmaktadır. Haberleşme temelde seri ve paralel olarak yapılabilmektedir.

Paralel haberleşmede, çok sayıda kablonun paralel olarak bit ileti yapması ile haberleşme sağlanır. Bu yapı hızlı bir yapı olması bakımından avantajlı görülebilir, ancak çok sayıda kablo kullanılması ve bu kabloların her birinin arıza olasılığını arttırması bu yapının dezavantajlarıdır.

Seri haberleşme yöntemlerinde bitler seri olarak gönderilirler. Farklı seri haberleşme yapılarında seri haberleşme de türlere ayrılmaktadır. Bu yapı tek bir kablo kullanarak bir ağ yapısı oluşturmaya imkan vermektedir.

3.2.1.2. Protokolden beklenen özellikler

Ölçüm kolunun mekanik yapısı incelendiğinde bu yapının bir robotik kola benzediği görülecektir. Robotik bir kolda olduğu gibi uç noktanın hangi pozisyonda olduğu bu yapıdaki üç mafsallın o anda nerede olduklarına bağlıdır. Haberleşme sistemi yapısı bu noktada önem kazanmaktadır. Burada üç mafsallın bir t anında açı sal pozisyonlarının aynı anda okunabilmesi gerekmektedir. Eğer bu okuma işlemi sıralı yapılırsa, her bir okumada okuma süresince oluşan yer değiştirme kadar hata olacak, bu hata da uç nokta hatası olarak karşımıza çıkacaktır. Bu problem literatürde senkronizasyon problemi olarak adlandırılmıştır.

Okuma işleminde senkronizasyonun sağlanması kullanılan protokolle çözülmesi gereken bir problemidir.

Haberleşme sistemi ayrıca yeterince hızlı olmalıdır. Üç adet mafsaldan okuma yapılacağı için haberleşme hızı düşük bir sistem kullanıldığında okuma yavaşlayacak ve hız kaynaklı okuma hataları ortaya çıkabilecektir.

Protokolden beklenen bir diğer özellik hata denetiminin protokol düzeyinde var olmasıdır. Bu, standartlaştırılmış bir hata denetim ile daha güvenli haberleşme sağlayacaktır.

3.2.2. Farklı haberleşme sistemlerinin karşılaştırılması

Haberleşme sisteminden beklenen özellikler açıklandıktan sonra, hangi haberleşme sisteminin bu sisteme uygun olacağı yönünde bir çalışma gerekli olmuştur. Bu çalışmada, farklı haberleşme sistemlerinin temel özellikleri belirtilmiş ve istenen kriterler doğrultusunda hangi haberleşme sisteminin kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Endüstriyel haberleşme sistemlerinden yaygın olarak kullanılan örnekleri aşağıda sıralanmıştır. Bunlar arasındaki temel farklılıklar ortaya konulmuş ve seçim için bir kıyaslama yapılmıştır.

Sıkça Kullanılan Endüstriyel Haberleşme Sistemleri:

- RS 232
- RS 485
- CANbus
- Ethernet

3.2.2.1. RS 232

Tek eksenli haberleşme sistemleri için en yaygın çözüm olarak kullanılan haberleşme protokolü RS-232'dir. Burada hızlı, kolay ve ekonomik çözümler oluşturmak mümkün olmaktadır. Birçok bilgisayar ve aygıtta bulunan seri port girişi kullanılarak bu sistem uygulamaya alınabilir. Basit 3 kablolu yapısı ve 115.2K baud hızı ile bir çok uygulamada kullanılabilir.

RS 232 mesajlarında okuma için 8 data byte ve cevap için de 12byte'lık mesaj uzunluğu kullanılması gerekir. Bu da maksimum hızda 1.3ms toplam mesaj zamanı anlamına gelmektedir.

3.2.2.2. RS 422/485

Çok eksenli uygulamalarda kullanılabilecek ekonomik bir çözüm de RS 422/485 haberleşme sistemidir. Burada 32 adet noda kadar destek sağladığı gibi 921.6K hızı ile birçok uygulamanın ihtiyacını karşılayabilir. Full-Duplex olarak kullanılabilen bir yapıdır. Okuma için 8 data byte ve yazma için 12byte'lık veri ihtiyacı ile toplam mesaj zamanı 174µs olmaktadır.

3.2.2.3. CANbus

CAN haberleşme sistemi dayanıklı yapısı ile diğer haberleşme sistemlerinden ayrılmaktadır. Düşük maliyet, yaygın kullanım ve açık kaynak kodlu protokol destekleri ile ihtiyaca hızlı cevap veren bir haberleşme sistemidir. Bus yapısı 3 kabloludur ve diferansiyel iletişim ile gürültüye karşı dayanıklı bir yapısı vardır. Piyasada bulunan birçok mikroçip üreticisi firmanın CAN destekli ürünleri bulunmaktadır. Ayrıca birçok gömülü bilgisayarda da CAN destekli portlar bulunmakta, USB girişlerini kullanabilmek için ise USB-CAN çeviricilere piyasan ulaşabilmektedir. CANbus birçok işletim sistemini de destekleyen bir yapıdadır. (Windows, VxWorks, Linux) Hatta aynı anda 128 noda kadar destek sağlamaktadır.

CAN haberleşmesinde 1Mbit/s haberleşme hızına kadar ulaşabilmektedir. Ortalama 130 bitten oluşan bir mesaj için 130µs mesajlaşma süresi gerekli olur.

3.2.2.4. Ethernet (EtherCAT Protokolü ile)

Ethernet altyapısı kullanılarak kontrol uygulamalarının geliştirilebilmesini mümkün kılan EtherCAT protokolü diğer haberleşme sistemlerine nazaran çok daha hızlıdır. Bir çok bilgisayarda bulunan Ethernet girişi kullanılarak bir master kontrolör oluşturmak son derece kolay olmaktadır. Ayrıca EtherCAT protokolü açık kaynak kodlu bir yapısıyla geliştiricilerin kendi master kontrolörlerini geliştirmelerine de imkan sağlar. Haberleşme hızı maksimum 200Mbit/s 'a kadar ulaşmaktadır. 256 dijital I/O kullanılan durumda çevrim süresi 1 µs'dir.

3.2.3. CANbus haberleşme sistemi

CAN (Controller Area Network) bus bir ağ teknolojisidir. Hızlı ve güvenli haberleşmenin sağlanması gereken yerlerde tercih edilmektedir. Haberleşme hızı 1Mbit/s'dır. Birçok kontrol sisteminde birden fazla sayıda algılayıcı ya da eyleyici kullanılması gerektiğinde bir ağ yapısı gerekli olmaktadır. CAN teknolojisi ile kontrol sistemlerinde ihtiyaç duyulan hızlara (çevrim zamanlarına) ulaşabilmesi aynı zamanda bunun senkron şekilde yapılabilmesi mümkün olmaktadır. CANbus ile gerçek zamanlı kontrol sistemi tasarlamak mümkündür.

CAN haberleşme sisteminin çıkışı otomotiv endüstrisine dayanmaktadır. İlk olarak BOSCH laboratuvarlarında 1980'lerde otomobillerde kullanılmak için geliştirilmiş ve ISO 11898 standardı alınarak yayınlanmıştır. Açık kaynak kodlu oluşu ve

geliştirilebilir yapısı yaygınlaşmasında etkili olmuş ve günümüzde de otomotiv, otomasyon ve robotik endüstrilerinde en çok kullanılan haberleşme sistemi haline gelmiştir.

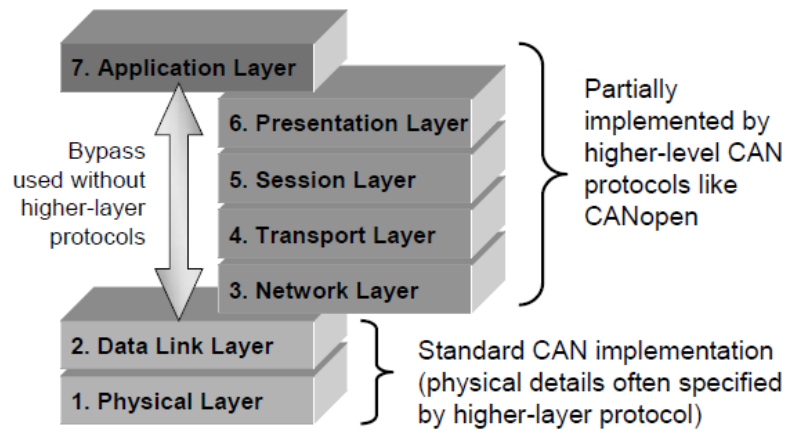
Günümüzde birçok mikro kontrolör üreticisi firma CANbus destekli çipler üretmektedir. İlk CANbus çipi 1986 yılında üretilen INTEL 82526'dır.

Çizelge 0.2: CANbus haberleşme sisteminin gelişim süreci (Voss W.,2005,p.5).

Tarih	Gerçekleşen olay
1983	Bosch otomobillerde kullanılmak üzere bir ağ sistemi projesinin başlangıcı
1986	CAN protokolünün resmi tanıtımı
1987	İlk CAN kontrolör çipinin INTEL tarafından duyurulması
1991	Bosch'un CAN 2.0 özelliklerinin yayınlaması
1992	CAN in Automation (CiA) uluslararası CAN üretici ve kullanıcı grubunun kuruluşu
1992	CiA'nın CAN uygulama katmanlarını(Application Layer) yayınlaması
1992	CANbus kullanan ilk Mercedes-Benz arabasının yapılması
1993	ISO 11898 standartlarının yayınlanması
1994	İlk uluslararası CAN Konferansının CiA tarafından düzenlenmesi
1994	Allen-Bradley tarafından DeviceNet protokolünün tanıtılması
1995	ISO 11898 genişletilmiş yapı formatının yayınlanması
1995	CANopen protokolünün CiA tarafından yayınlanması

Katmanlı ISO referans modeli

ISO standartlarına göre, bir haberleşme sistemi 7 katmanlı bir yapıdan oluşmaktadır. Bu yapı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 0.4: 7 Katmanlı haberleşme sistemi yapısı [5].

CAN haberleşme katmanı şekilden de görüleceği gibi 1 ve 2 numaralı katmanlardır.

3.2.4. CANopen haberleşme protokolü

CANopen haberleşme protokolü CiA (CAN in Automation) tarafından oluşturulmuş ve halen bu kuruluş tarafından sunulan bir haberleşme protokolüdür **Url-7**. Protokolün en büyük özelliği açık/geliştirilebilir bir yapıda olmasıdır. Bu da kullanıcıların kendi ihtiyaçlarına yönelik çözümler geliştirmesine olanak sağlar. CANopen tamamen ücretsiz bir protokoldür. CiA’ a üye olan ve olmayan herkes CANopen dokümanlarına www.cia-can.org sitesinden ulaşabilmektedir.

Ağ tasarımcıları CANopen kullanarak kendi tasarladıkları nodları bu ağa uygun hale getirebilmektedirler. Ayrıca kolaylıkla geliştirilebilir bir yapıya sahiptir. CANopen birçok fonksiyonelliğini opsiyonlu olarak sunmuş, bu da zorunlulukları azaltmıştır.

3.2.4.1. CANopen’da tanımlayıcılar (Identifiers) ve nesneler (Objects)

Protokolün oluşturulması sırasında, bir çok Tanımlayıcı ve Nesne tanımlanmış ve bunlardan yararlanılarak protokol yapısı kurulmuştur. Bu sebeple, protokolün açıklanabilmesi için öncesinde bu Tanımlayıcı ve Nesnelerin açıklanması gerekir.

CANopen’ da 3 farklı Tanımlayıcı (Identifier) bulunmaktadır. Bunlar:

- **Node ID** (nod tanımlayıcısı): Node ID’ler her bir nodu tanımlamak için kullanılır. Bu tanımlamalar yapıldıktan sonra hatta bulunan her bir nod 1’ den 127’ ye kadar bir değer alır. Bir hatta bulunan nodların tamamına farklı bir numaranın atanmış olması gerekmektedir.
- **The Object Dictionary Index** (Nesne Kütüphanesi İndeksi): Obje kütüphanesi kullanılarak bir noda ait birçok özellikli değişkene ulaşılabilir.
- **COB ID** (Connection Object ID) (Bağlantı Nesnesi Tanımlayıcısı) : Bağlantı objeleri mesajları birbirine bağlamak için kullanılmaktadır. Doğrudan mesaj ID ‘ye karşılık gelmektedir. COB ID her bir mesaj için ağda tektir ve bu da çakışmayı engeller.

CANopen’ da kullanılan bir diğer kavram da nesnelerdir. (Objects) Birçok farklı nesne oluşturulmuş ve sistemin yapısını oluşturmuştur. Bu nesneleri aşağıdaki gibi tanımlayabilir.

- **Object Dictionary (OD)** (Nesne kütüphanesi): Burası değişkenlerin ve sabitlerin depolandığı bir kütüphanedir. Nodların değişkenleri ve sabitleri

burada bir sistematik içerisinde tutulurlar ve kullanılma ihtiyacı doğduğunda bu sistematik ile çağrılırlar.

- **Process Data Objects (PDO)** (İşlem Veri Nesnesi) : PDO'lar CANopen' en çok kullanılan nesnelerdir. Bu nesneler ile işlem yapılmak istenen değişkenler ve sabitler nodlar arasında hızlı bir biçimde iletilebilirler.
- **Service Data Objects (SDO)** (Servis Veri Nesnesi): SDO'lar kullanılarak ağdaki nodların özelliklerinin değiştirilmesi ve düzenlenmesi mümkündür. Yapısal olarak PDO'lardan farklı olduklarından iletim zamanları daha uzundur. Bu sebeple SDO'lar işlem verilerinin taşınması için kullanılmamalıdır.
- **Connection Objects (COB)** (Bağlantı Nesnesi): Bu nesneler bir servisin bağlantısı için kullanılmaktadırlar. Örneğin bir SDO iki COD ID kullanıp bu nesneler ile işlem gerçekleştirir.

3.2.4.2. CANopen nesne kütüphanesi

CANopen Nesne Kütüphanesi, nodlara ait verilerin tutulduğu bir tabloya benzemektedir. Bu tablo kullanılarak istenen veriler alınır ya da üzerinde değişiklikler yapılabilir. Nesne Kütüphanesine Servis Veri Nesneleri(SDO) ya da İşlem Veri Nesneleri (PDO) ile ulaşılabilir. Her bir nod kendi nesne kütüphanesini oluşturmak zorundadır. Nesne kütüphanelerinde tutulan veriler o nod ve diğer nodlar tarafından kullanılabilirler.

Nesne Kütüphaneleri CANopen tarafından oluşturulmuş bir standart çerçevesinde oluşturulurlar. Bu sayede piyasada bulunan tüm CANopen uyumlu nodlara ait nesne kütüphanelerine kolaylıkla ulaşılabilir bu da uygulama oluşturma aşamasında tasarımcıya kolaylık sağlar.

a. Nesne kütüphanesinin (OD) oluşturulması

Nesne kütüphaneleri veri (entry) topluluklarından oluşmaktadır. Her bir veri İndeks olarak isimlendirilen bir numaralandırma ile numaralandırılmıştır. İndeks 16 bitlik bir sayıdır. Bu da maksimum veri sayısının 65,536 olabileceğini belirtmektedir. Her bir veri ise kendi alt verilerini tutabilir. Alt veri sayısı 8 bitlik bir sayıdır. Her bir veri

en fazla 256 adet altveri tutabilir. CANopen standartlarına göre her bir veri en az bir altveri bulundurmak zorundadır.

İndeks numaralandırması hegzadesimal (taban 16) sayı sistemi kullanılarak yapılmaktadır. CANopen standartları da hegzadesimal sayı sistemini kullanır.

Nesne kütüphanesindeki veri eğer bir adet alt veri tutuyorsa, bu alt veri 00h alt indekste tutulur. Eğer birden çok alt veri tutuluyorsa, 00h adresinde bu verilerin sayısı verilir ve 01h itibariyle veriler tutulur.

Örneğin 1000h adresi bir adet 8 bitlik veri tutsun. Burada alt indeks 00h = 8 bitlik veridir. 1001h adresinin 3 adet veri tuttuğunu düşünelim. Bu durumda 00h=3, 01h= ilk 8 bitlik veri, 02h=2. 8bitlik veri, 03h=3. 8 bitlik veridir.

Nesne kütüphanesindeki indeksler aşağıdaki tabloda belirtildiği gibi alanlara ayrılmıştır.

Çizelge 0.3: Nesne kütüphanesinin biçimlendirilmesi.

İndeks aralığı	Açıklaması
0000h	Ayrılmış
0001h-0FFFh	Veri Türleri
1000h-1FFFh	Haberleşme Verileri
2000h-5FFFh	Üreticiye Özel Veriler
6000h-9FFFh	Cihaz Profil Parametreleri
A000h-FFFFh	Ayrılmış

Uygulamalarda kullanılan verilen alt indekslerde tutulmaktadır. Bu veriler 8 ya da 16 bit olabilir.

3.2.4.3. Elektronik veri föyü (The Electronic Data Sheet (EDS)) ve cihaz yapılandırma dosyası (Device Configuration Files (DCF))

CANopen standartlarına uygunluk için kullanılan önemli iki terim de EDS ve DCF'dir. Elektronik veri föyü, bir nodun tüm özelliklerini barındıran bir dosyadır. Windows işletim sistemindeki .ini dosya yapısına benzer. Herhangi bir metin düzenleyicisi kullanılarak değiştirilebilir ancak standartlara uygunluk açısından bu tip bir değişiklik yapmak oldukça zordur. Bu amaçla, standart değişiklikleri yapabilen bazı metin düzenleyici programlar mevcuttur. Vector CANeds ve IXXAT CANopen EDS Editor gibi programlara ücretsiz olarak ulaşmak mümkündür. EDS dosyaları, CAN hattının monitörize eden programlarda ve analizörlerde süreci hızlandırmak

için kullanılabilir. Bazı CANopen Master programları ise bu dosyaları kullanarak bloklarla CANopen master oluşturmaya imkan vermektedir.

Elektronik veri föyü bir formattır ve bu formatı birden çok noda uygulamak mümkündür. Ancak nod özelindeki yapılandırma ayarlarını belirlemek için DCF kullanılır. DCF o nodun özek yapılandırma ayarlarını tutar.

3.2.4.4. Servis veri nesneleri kullanarak nesne kütüphanesine erişim

Bir CANopen nodunda verilerin sınıflandırılarak tanımlanmasını Nesne Kütüphanesi adıyla yaparak bu nesnelerin kullanıma belli bir düzen içinde sunulması sağlanabilir. Bu verilere erişim için Servis Veri Nesnesi (SDO) kullanılmaktadır. SDO' lar kullanılarak bu veriler okunabilir ya da OD' ye yeni veriler yazılabilir.

Bir ağda CANopen standartlarına göre ancak bir adet Alıcı (Client) bulunabilir. Diğer nodlar sunucu (server) durumundadırlar. Alıcı bir mesajı öncelikle alma talebinde bulunur. Bunun için ilgili nodun ilgili adresine bir mesaj gönderir ve o nod gelen mesaja göre bir cevap mesajı hazırlayıp gönderir. Bu sayede haberleşme ve veri alışverişi tamamlanır.

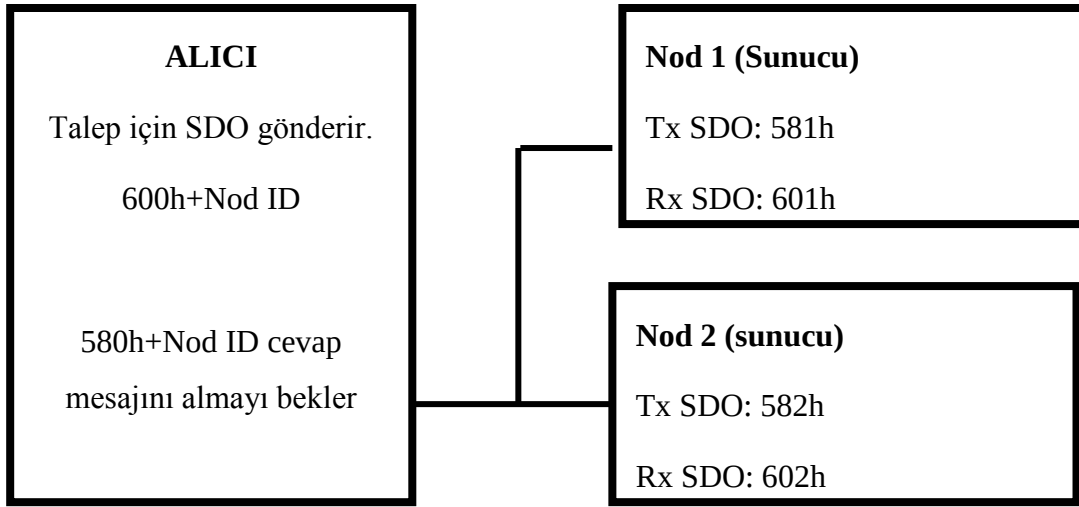
SDO' lar kullanılırken dikkat edilmesi gereken önemli bir konu da mesaj tanımlayıcılarıdır. CANopen' da bir ağda bulunan tüm mesajların kendi mesaj tanımlayıcı numaralandırmaları vardır.

SDO'ların kullanımına yönelik bazı limitler bulunmaktadır. Teorik olarak SDO kullanarak Nesne Kütüphanesindeki tüm verilere erişmek mümkündür ancak bu işlemin pratik uygulamalar için uygun olmadığı söylenebilir. SDO ile haberleşme yeterli hızda gerçekleşmemektedir. Bu sebeple bu biçime Servis Veri Nesnesi denmektedir, sadece servisler ve yapılandırma için kullanılması önerilir.

Örneğin işlem veri nesnelerinin taşınması gereken bir uygulama düşünüldüğünde bu nesnelerle o uygulamanın yapılabileceği söylenebilir. Burada taşınması gereken veri bir sıcaklık ya da bir aç değeri olabilir. Bu amaçla bir SDO'nun kullanılması az sayıdan nodun bağlı olduğu ağlarda bir problem oluşturmazsa da çok sayıda nodun bağlı bulunduğu ağlarda çevrim sürelerinin artmasına ve kontrol ihtiyacı olan uygulamalarda kontrolün yapılamamasına sebep olabilmektedir.

CANopen protokolünün geliştirilmesi aşamasında servis işlemlerinin ayrı bir nesne ile yapılması ve veri işlemleri için ayrı bir nesne tipinin kullanılması düşünülmüş ve

kullanıcıların protokol özelliklerini etkin bir şekilde kullanabilmesi için bu ayrımı göz ardı etmemesi beklenmiştir.



Şekil 0.5: SDO mesaj gönderim şeması.

Daha hızlı ve işlem verilerinin taşınabilmesi için PDO servisi kullanılmalıdır.

3.2.4.5. İşlem veri nesneleri (Process Data Object (PDO))

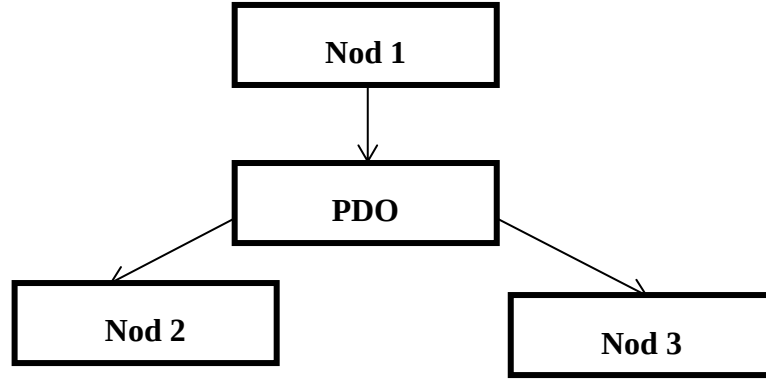
Bir haberleşme sisteminden beklenen en önemli özellik işlem sırasında ortaya çıkan sıcaklık, akım gibi işlem verilerinin hızlı bir şekilde taşınmasıdır. CANopen protokolünde bu tip işlem verilerinin taşınması için İşlem Veri Nesneleri (PDO) kullanılmaktadır.

PDO'lar ile bir defada 8byte'lık veri taşınabilir. Bu 8byte'lık veri bölmesi sadece bir işlem verisi için değil, o noda ait birden fazla işlem verisinin aynı anda taşınması için de kullanılabilir. İki adet işlem veri nesnesi bulunmaktadır. Bunlardan biri gönderme işlem veri nesnesi (TPDO) diğeri ise alma işlem veri nesnesidir. (RPDO)

Bir nod için kendi ürettiği işlem verisinin depolandığı ve dışarıya gönderildiği PDO, TPDO'dur. Diğer nodlar için ise aynı PDO, RPDO olarak isimlendirilir.

Şekil 3.6'da hatta bulunan PDO nod 1 için TPDO, nod 2 ve nod 3 için ise RPDO'dur.

PDO'ların gönderilmesi ve alınması için bazı yapılandırma parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Temelde bu yapılandırma parametreleri iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar haberleşme parametreleri ve eşleme (mapping) parametreleridir.



Şekil 0.6: PDO'nun gönderilmesi.

Haberleşme parametrelerinin sayısı TPDO ve RPDO için farklıdır. Bir PDO'yu göndermek için daha fazla sayıda yapılandırma parametresinin tanımlanması gereklidir. İzleme parametreleri ise bir PDO'nun taşıdığı verilerin hangilerinin kullanılacağını göstergesidir. Örneğin 8Byte'lık bir veri bloğunun ilk 2byte'ı sıcaklık, sonraki 2byte'ı hız ve diğer 4byte'ı konum değerini gösteriyorsa, bunun eşleme parametresi olarak belirtilmesi gerekmektedir.

PDO mesajlarının gönderim şekli CANopen' da büyük önem taşımaktadır. 4 farklı PDO gönderim şekli vardır.

- **Olaya bağlı (Durum Değişimli)(Event Driven (COS, Change Of State))**

Olaya bağlı PDO gönderim şekli için öncelikle noddaki TPDO'nun haberleşme parametresinin Olaya Bağlı (Event Driven) olarak belirlenmesi gereklidir. Bu şekilde, noddaki belirli bir olayın belirtilen değişiminde, o nod TPDO'sunu gönderir. Bu olay bir limitin aşımı ya da bir dijital girdi sinyalinin algılanması olabilir.

- **Zamana bağlı (Time Driven)**

Bu tip bir haberleşme yapısında gönderilen TPDO'lar, belirtilen zamanlarda bir gönderilir. Örneğin çevrim zamanının 50 ms olması istendiğinde, 50ms'de bir TPDO gönderilir. Burada önemli bir nokta ise, değer değişse de değişmese de bu mesajın gönderileceğidir. Olaya bağlı gönderim şekli kullanıldığında bu mesaj değişmediği durumlarda gönderilmez. CANopen'da birden fazla gönderim şekli bir arada kullanılabilir.

- **Bireysel seçim (Individual Polling)**

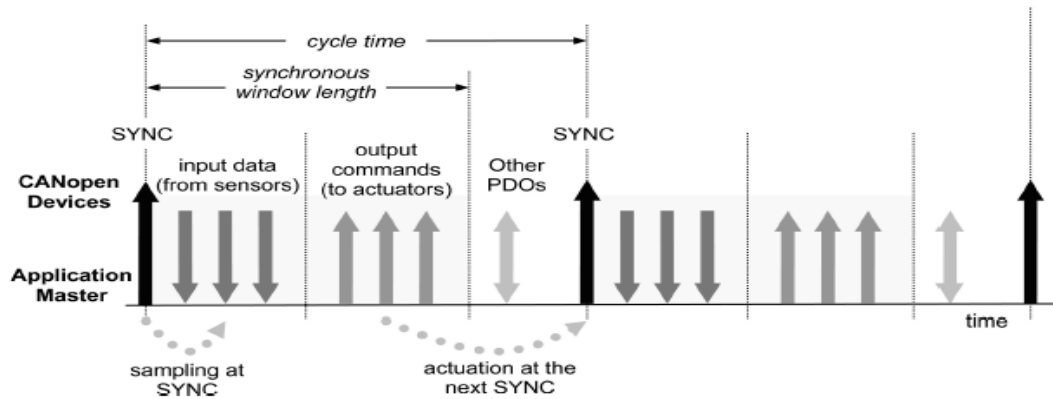
Bireysel seçimli PDO gönderim metodu CANopen’da kullanılması tavsiye edilmeyen ve çok kullanılmayan bir gönderim şeklidir. Burada birçok yonga üreticisinin bu tip haberleşme desteklemediği ya da yonga üreticileri arasında farklılık olduğu belirtilmektedir [5]. Bireysel seçimde, bir PDO diğer nodlar tarafından istendiği zaman gönderilir. Bu tip bir yapı kullanmak yenişen senkronize bir yapı kullanılması tavsiye edilmektedir.

- **Senkronize (Synchronized, Group Polling)**

Robotik bir sistemin ISO tanımına göre en az 3 serbestlik dereceli olması gerektiği bilinmektedir. Bu tip çok eksenli yapılarda, pozisyon ölçümlerinin ve kontrol işaretinin tüm nodlara aynı anda gönderilmesi gerekmektedir. Bu tip bir ihtiyacın olduğu durumlarda CANopen’da Senkronize haberleşme yapısı kullanılmaktadır.

Senkronize haberleşme yapısında bir Senkronizasyon mesajı kullanılır. Bu mesaj master (client) tarafından üretilir ve tüm nodlara aynı anda gönderilir. Tüm nodlar bu mesajı aldıktan sonra bus hattına tanımlı senkronize TPDO’larını göndermeye çalışır. Bu durumda bir çakışma olmaması için mesajlar bir sıra ile bus hattına verilir. Bu sıra da öncelik (priority) olarak belirtilen bir sıralama sistemi kullanılarak yapılır.

Öncelikli mesajların acil durumlar gibi önemli anlarda birincil sırada gönderilmesi gerekmektedir. Örneğin bir aracın kaza anında birincil öncelikli mesajı, hava yastığının açılmasını sağlayan mesajdır. Bu mesaj hiçbir gecikmeye uğramadan işleme alınmalıdır. CANopen bu tip gerçek zamanlı ve öncelikli işlem yapılarının kullanılması gereken yerlerde tercih edilmektedir.



Şekil 0.7: Senkronize haberleşme sistemi [7] p(13-18).

Bir CAN haberleşme sisteminde tüm mesajlar aslında aynı formattadır. Ancak CANopen protokolü bu mesajları belli yöntemlerle gruplandırır. Nesne kütüphanesinde bulunan ve adresleri 1212h gibi hegzadesimal türden olan veriler için özel olarak tanımlanmış Bağlantı Nesneleri bulunmakta ve bunlar için de bir tanımlayıcı sayı(COB ID: Connection Object Identifier) kullanılmaktadır. COB ID'ler belli bir düzen içinde kullanılır ve haberleşme bu düzenle sağlanır.

Her bir PDO için CANopen standartlarına göre ön-tanımlı COB ID'ler bulunmaktadır.

CAN ID			
From	To	Communication Objects	Comment
0h	--	NMT Service	From NMT Master
80h	--	SYNC Message	From SYNC Producer
81h	FFh	Emergency Message	From nodes 1 to 127
100h	--	Time Stamp Message	From timestamp producer
181h	1FFh	1st Transmit PDO	From nodes 1 to 127
201h	27Fh	1st Receive PDO	For nodes 1 to 127
281h	2FFh	2nd Transmit PDO	From nodes 1 to 127
301h	37Fh	2nd Receive PDO	For nodes 1 to 127
381h	3FFh	3rd Transmit PDO	From nodes 1 to 127
401h	47Fh	3rd Receive PDO	For nodes 1 to 127
481h	4FFh	4th Transmit PDO	From nodes 1 to 127
501h	57Fh	4th Receive PDO	For nodes 1 to 127
581h	5FFh	Transmit SDO	From nodes 1 to 127
601h	67Fh	Receive SDO	For nodes 1 to 127
701h	77Fh	NMT Error Control	From nodes 1 to 127

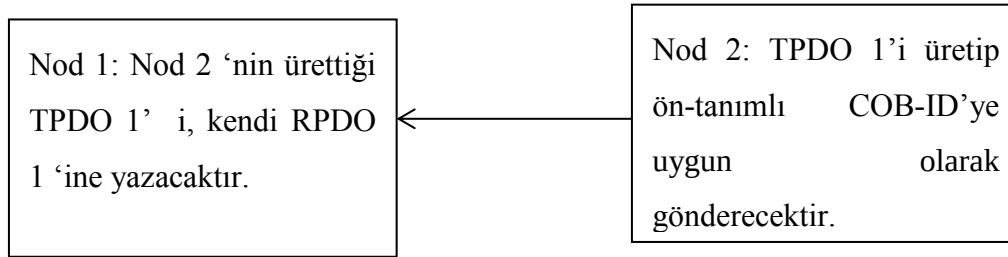
Şekil 0.8: Ön- Tanımlı COB-ID'ler. [5] p(75).

Örneğin bir PDO için ön-tanımlı COB-ID 'lerden yararlanarak o PDO 'nun COB-ID 'leri oluşturulduğunda aşağıdaki gibi bir tablo elde edilir.

Bağlantı Nesnelerinin tanımlanmasından sonra bu nesnelerin birbirleri ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Örneğin bir sistemde iki adet nod olsun. Nod 1 ve Nod 2 'nin birbirlerinin işlem verilerini kullanabilmeleri için birinin ürettiği TPDO 'nun diğerinin RPDO'su tarafından okunması gerekmektedir. Bu işlem aşağıdaki şemada gösterildiği gibi yapılabilir.

Çizelge 0.4: COB-ID Tanımlaması.

PDO	COB-ID
TPDO1	185h
RPDO1	205h
TPDO2	285h
RPDO2	305h
TPDO3	385h
RPDO3	405h
TPDO4	485h
RPDO4	505h



Şekil 0.9: TPDO ve RPDO'ların COB-ID'lerinin belirlenmesi.

Yukarıdaki şekilde Nod 2'nin ürettiği TPDO 1' in COB-ID' si $180h+2=182h$ 'tır. Bu durumda, nod 1'in RPDO 1' ine bu TPDO'yu bağlamak için, nod 1'in RPDO 1' ine 182h yazılması gerekmektedir. Bu sayede nod 1' in RPDO 1' i hattaki COB-ID' si 182h olan mesajı okumaktadır.

PDO'ların taşıdıkları 8byte'lık verilerin doğru kullanılabilmesi için alıcının, bu 8 byte'lık verideki eşlemeleri bilmesi gerekir. Bu işleme PDO eşleme (mapping) denmektedir.

Eşleme işlemi bit düzeyinde çalışmaktadır. Bir PDO 8byte'lık veriden oluştuğu için 64 adet bit eşlemesi yapılabilir. Bir eşleme işlemi için 32 bitlik eşleme parametresi kullanılmalıdır.

Çizelge 0.5: Eşleme Parametrelerinin Gösterilmesi.

İndeks	Alt-İndeks	Uzunluk
Bit 31...16	Bit 15...8	Bit 7...0

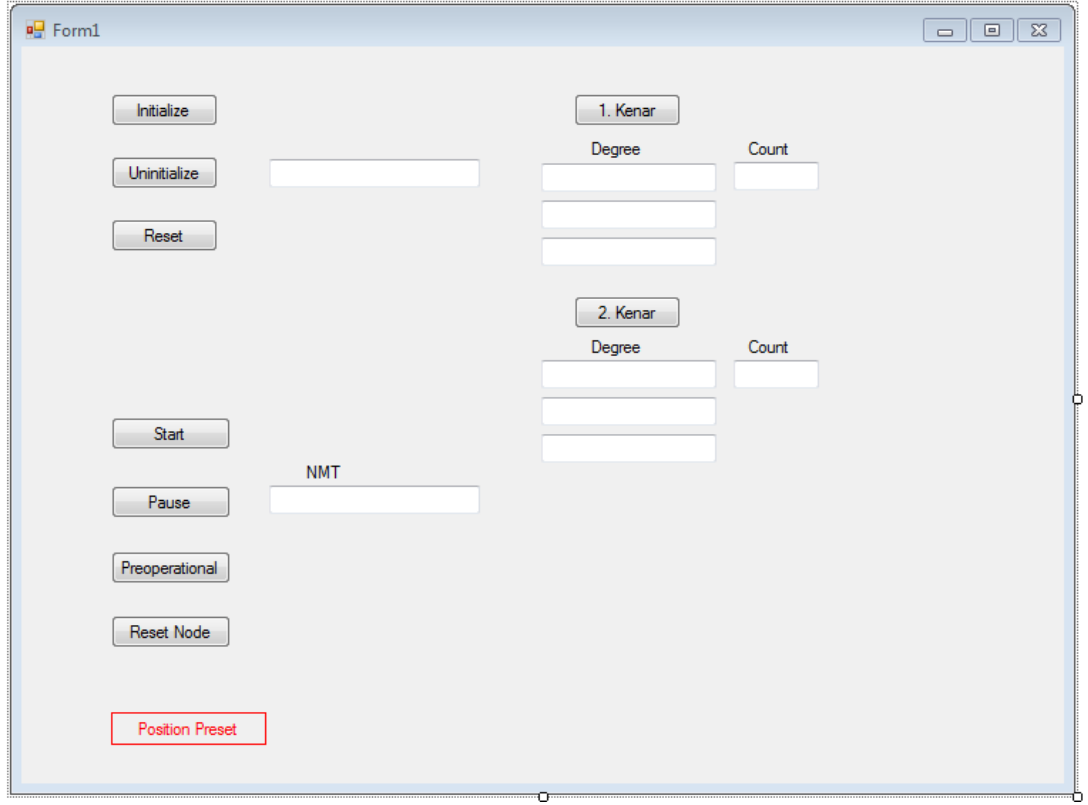
Bilgisayar programında öncelikli amaç, enkoderlerden verilen okunabilmesi ve bu verilen ekrana yazdırılabilmesidir. Enkoderler, mutlak enkoderdir ancak yine de bir kez bu enkoderlerin ilk pozisyonlarını set edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, Enkoderlerin pozisyon setlemesinde kullanılan program parçacığı için bir ara yüz geliştirilmiş ve programın içerisine yerleştirilmiştir.

Enkoderlerin ilk değerlerinin verilebilmesi için CANopen protokolünden yararlanılmıştır. Bu protokolde bu tip servis özellikli uygulamalar için kullanılan Servis Veri Nesneleri(SDO) bulunmaktadır. Bu servis veri nesneleri kullanılarak, enkoderin ilgili indeksinin ilgili alt indeksine ulaşılabilir ve buraya yazma amaçlı bir mesaj gönderilebilir. Enkoder, bu işlem sonrasında, belirtilen değer doğrultusunda mutlak enkoder olarak mutlak açı bilgisini bilgisayar programına gönderecektir. Burada konstrüktif kısıtlardan yararlanılarak ilk açı bilgileri set edilmiştir.

Programda kullanılması gereken bir diğer özellik ise enkoderlerin oluşturduğu açı değerlerinin okunması işlemidir. Robotik bir kola benzeyen yapıdaki bu enkoderlerin üçü de aynı anda okunmalıdır. Bu tip bir işlemin gerçekleştirilebilmesi için CANopen protokolünün Senkron TPDO (Transmit Process Data Object) 'ları kullanılmıştır. Bilgisayar programında oluşturulan bir senkron mesajı hatta gönderildiğinde, hatta bulunan tüm enkoderler aynı anda örnekleme yaparak bu verileri bilgisayarın bufferına yazmaktadır. Program vasıtası ile bu veriler bilgisayar bufferından okunmuştur.

Şekil 3.10'da da görüldüğü gibi bilgisayar programında öncelikle USB-CAN çevirici ayarlarının yapılabilmesi için bir bölüm oluşturulmuştur. Bu bölümde 3 farklı fonksiyon kullanılmaktadır.

Bilgisayar programında ayrıca sistemin ileri geometrik modeli kullanılarak enkoderlerden okunan açı değerleri uç noktanın koordinatlarına dönüştürülmüştür. Bu işlem sırasında ortaya çıkan bir problem ise birinci ve ikinci mafsallarda enkoder dönüş yönü saat ibrelerinin tersi iken üçüncü mafsalda dönme esnasında mil sabit kalıp gövde döndürüldüğü için dönüş yönü saat ibreleri yönünde olduğu görülmüştür. Bu problem yazılımda enkoderden okunan açı değerleri 360'dan çıkarılarak hesaplanıp giderilmiştir.



Şekil 0.11: Bilgisayar programı ara yüzü.

- **Initialize:** USB-CAN çeviricinin başlatılması. Başlatma ayarlar program içerisindeki fonksiyonda tanımlanmıştır.
- **Unitalize:** Çeviricini durdurulması.
- **Reset:** Çeviricinin kapatılıp açılması gerek yerlerde kullanılır.

CANbus ağının ağ yönetim ayarları için de aşağıda belirtilen fonksiyonlar bilgisayar programında bulunmaktadır.

- **Start:** CANbus ağının başlatılması (Operational Mode)
- **Pause:** Ağın çalışmasının durdurulması
- **Pre-Operational:** Ağın çalışma modunun Pre-Operational duruma geçirilmesi
- **Reset Node:** Nodların resetlenmesi için yazılmıştır.
- **Position Preset:** Enkoder pozisyonlarının sıfır konumlarının setlenmesi için kullanılır

Programdan okunan ölçüm sonuçları üç adet enkoderin açı bilgisidir. Bu açı bilgileri enkoderin ileri kinematik bilgileri kullanılarak Kartezyen koordinatlara dönüştürülecektir.

The screenshot shows a software window titled 'Form1' with a light gray background. On the left side, there are several control buttons: 'Initialize', 'Uninitialize', 'Reset', 'Start', 'Pause', 'Preoperational', 'Reset Node', and 'Position Preset' (which is highlighted with a red border). In the center, there is a section labeled 'NMT' with a dropdown menu currently set to 'Operational'. On the right side, there are two sections for joint data. The first section is labeled '1. Kenar' and has a 'Degree' label above three text boxes containing the values '351,260375976563', '249,322357177734', and '66,3560485839844'. To the right of these is a 'Count' label above a text box containing the value '1'. The second section is labeled '2. Kenar' and has a 'Degree' label above three empty text boxes. Below this section is a 'Cartezian' button and three text boxes containing the values '-13,4574846257405', '94,407653356617', and '283,658747796186'.

Şekil 0.12: Kartezyen koordinatların bilgisayar programında gösterilmesi.

Programların sonucunda bir dosyaya okunan koordinat değerleri gönderilmekte ve bu koordinat değerleri ile bir düzlem ve ölçüm yapılan noktanın bu düzleme olan uzaklığı hesaplanmaktadır. Burada kullanılan algoritmalar bölüm 4'te referans düzlemin oluşturulması başlığı altında aktarılmıştır.

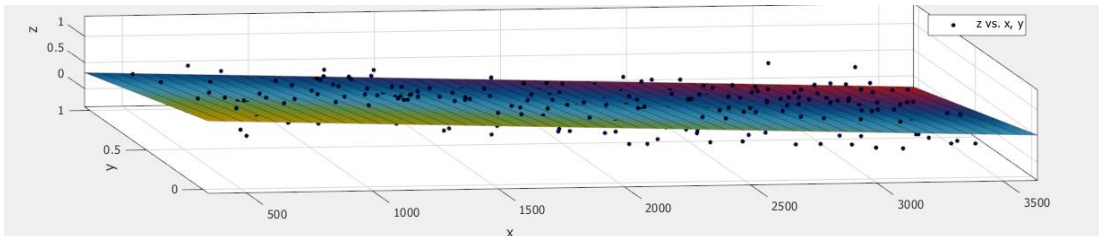
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Koordinat ölçüm metodu kullanılarak yapılacak deneylerden ortaya çıkacak sonuçlarla birçok inceleme yapılabilir. Örneğin, kolun geometrik yapısındaki bozulmalar ya da kinematik denklemlerdeki hatalar, doğrudan ölçüm sonucuna yansımaktadır. Bu bölümde yapılması planlanan deneylerle, ortaya çıkan prototipin üzerinde ne tür geliştirmelerin yapılması gerektiği de ortaya çıkacaktır.

4.1. Referans yüzeyinin oluşturulması

Koordinat ölçüm metodunun en önemli öğeleri, ileri geometrik modelden elde edilen Kartezyen koordinatlar ve bu koordinatlar kullanılarak ortaya çıkarılan geometrik yapılardır. Örneğin bir uzaklık ölçümünün yapılabilmesi için bir adet referans düzlemi ve bir adet nokta gereklidir. Referans yüzeyini oluşturmak için ise minimum 3 adet noktanın kullanılması gereklidir.

Referans yüzeyleri taşınabilirliği mümkün kılar. Taşınabilir koordinat ölçüm cihazının kendi taban düzleminin bilinmesine gerek duyulmaz. Böylece istenilen bölgelerde, o bölge etrafında referans yüzeyleri yaratılarak ölçüm yapılabilir. Doğruluk değerleri belli değerler arasında kalan cihazlar kullanılarak yapılan ölçümlerde matematiksel olarak bir düzlem tanımlamak için bazı algoritmaların kullanılması gerekmektedir. Bunlardan en yaygın kullanılanı ise küçük kareler (Least-Square) algoritmasıdır.



Şekil 0.1: Küçük kareler algoritması kullanılarak düzlem elde edilmesi.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi küçük kareler algoritması ile önceden toplanmış veriler kullanılarak bir düzlem elde etmek mümkündür. Bu düzlem referans düzlemi olarak kullanılabilir.

Referans yüzeyinin düzlemsellik toleransı, ölçüm sonucunu doğrudan etkilemektedir. Burada, Taşınabilir Koordinat Ölçüm Cihazlarının piyasada çok yüksek olmayan toleranslı ölçümler için kullanıldığı göz önüne alınarak, bu tip cihazlarda cismin kendi yüzeylerinin referans yüzeyi olarak kullanıldığı görülmektedir. Ancak test ve kalibrasyon işlemlerinde referans olarak kullanılacak yüzeyin düzlemsellik toleransının yüksek olması gerekmektedir. Bu gibi amaçlarla kullanılan yüzeylere “pleyt” denmektedir.



Şekil 0.2: Granit pleyt [21].

Şekil 4.2’de görülen Insize Pleyt deneysel çalışmalarda referans yüzeyi olarak kullanılmıştır. Ölçüm verileri ve standartları kataloğunda belirtilen pleytin düzlemsellik değeri 1.06 μm olarak görülmektedir. Bu değer DIN876 değerlerine göre Grade 00 sınıfı içindedir.

Referans yüzeyi oluşturulurken minimum 3 nokta gereklidir. Ancak fazla sayıda örnek oluşturmak referans yüzeyin doğruluk derecesini arttırmaktadır. Bunun sebebi, az sayıda örnek ile referans yüzeyi oluşturulduğunda, ortalama değerin dışında olması gereken noktaların etkisi artmakta ve sonuç hatası artmaktadır.

Bir düzlemin tanımlanması için polinomlar kullanılabilir. Ölçüm verileri kullanılarak 1. Dereceden bir polinom model ile yüzey denklemi yazılırsa bu düzlem denklemi verecektir.

Düzlem denklemi denklem 4.1’de gösterildiği tanımlanmaktadır.

$$a * x + b * y + c * z + d = 0 \quad (4.1.)$$

Düzlem denklemi denklem 4.2’deki gibi de tanımlanabilir.

$$a * x + b * y + c * z = d \quad (4.2.)$$

Bir noktanın bir düzleme olan uzaklığı ise $a^2 + b^2 + c^2 = 1$ olduğu durumda:

$$r_i = a * x_i + b * y_i + c * z_i - d \quad (4.3.)$$

Olarak gösterilmektedir.

Küçük kareler (Least –Square) yöntemini kullanarak bir nokta setini kullanarak bir düzlem elde edebilmek için, minimize edilmesi gereken denklem;

$$Q = \Sigma[(r_i)^2] \quad (4.4.)$$

Olarak yazılabilir. Buradan,

$$Q = \Sigma[(a * x_i + b * y_i + c * z_i - d)^2] \quad (4.5.)$$

$$\frac{dQ}{da} = \Sigma[2 * x_i(a * x_i + b * y_i + c * z_i - d)] = 0 \quad (4.6.)$$

$$\frac{dQ}{db} = \Sigma[2 * y_i(a * x_i + b * y_i + c * z_i - d)] = 0 \quad (4.7.)$$

$$\frac{dQ}{dc} = \Sigma[2 * z_i(a * x_i + b * y_i + c * z_i - d)] = 0 \quad (4.8.)$$

$$\frac{dQ}{dd} = \Sigma[-2(a * x_i + b * y_i + c * z_i - d)] = 0 \quad (4.9.)$$

Burada $\Sigma d = n * d$ 'dir.

$$d = a * x_0 + b * y_0 + c * z_0 \quad (4.10.)$$

$$x_0 = \frac{\Sigma x_i}{n}, y_0 = \frac{\Sigma y_i}{n}, z_0 = \frac{\Sigma z_i}{n} \quad (4.11.)$$

Buradan;

$$W \times P = 0 \quad (4.12.)$$

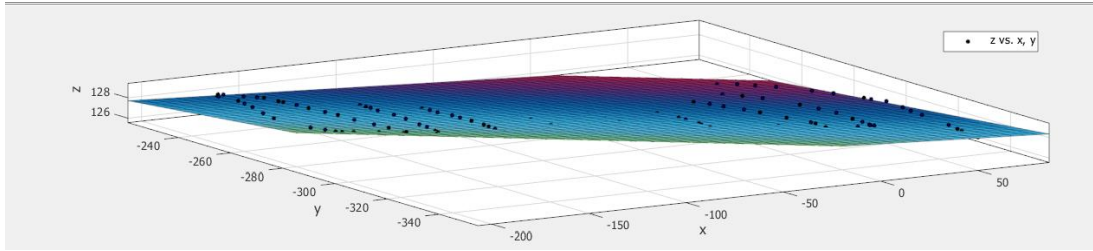
$$W = \begin{bmatrix} \Sigma(x - x_0)^2 & \Sigma(x - x_0)(y - y_0) & \Sigma(x - x_0)(z - z_0) \\ \Sigma(x - x_0)(y - y_0) & \Sigma(y - y_0)^2 & \Sigma(y - y_0)(z - z_0) \\ \Sigma(x - x_0)(z - z_0) & \Sigma(y - y_0)(z - z_0) & \Sigma(z - z_0)^2 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

Denklem 4.12 çözüldüğünde elde edilen özdeğerler ve özvektörler ile düzlem denklemi elde edilir.

Alınan verilerden bir yüzey oluşturulurken kullanılan least-square metodunun farklı yöntemleri kullanılabilir. Bunlar:

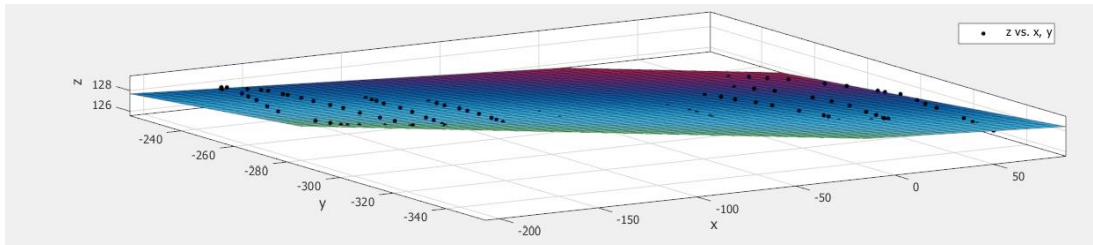
- **LAR:** Least-Absolute-Residual Method.
- **Bisquare:** Bisquare weights method.



Şekil 0.3: Least-Square metodu.

Linear model Poly11:
 $f(x,y) = p00 + p10*x + p01*y$
 Coefficients (with 95% confidence bounds):
 p00 = 119.9 (119.3, 120.5)
 p10 = -0.009776 (-0.01052, -0.00903)
 p01 = -0.02622 (-0.02841, -0.02404)

Şekil 0.4: Least- Square ile elde edilen denklem.

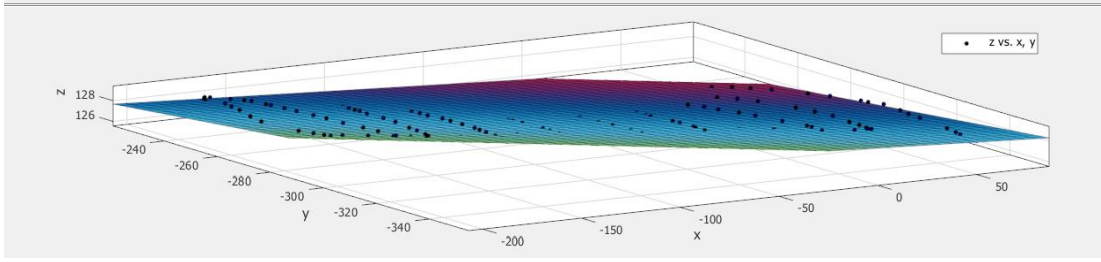


Şekil 0.5: LAR metodu.

Linear model Poly11:
 $f(x,y) = p00 + p10*x + p01*y$
 Coefficients (with 95% confidence bounds):
 p00 = 119.8 (119.2, 120.4)
 p10 = -0.009645 (-0.01036, -0.008935)
 p01 = -0.02661 (-0.02868, -0.02453)

Goodness of fit:
 SSE: 15.75
 R-square: 0.8628
 Adjusted R-square: 0.861
 RMSE: 0.324

Şekil 0.6: LAR metodu ile elde edilen denklem.



Şekil 0.7: Bisquare metodu.

Linear model Poly11:
 $f(x,y) = p00 + p10*x + p01*y$
 Coefficients (with 95% confidence bounds):
 p00 = 119.9 (119.3, 120.5)
 p10 = -0.009703 (-0.01043, -0.008981)
 p01 = -0.02606 (-0.02817, -0.02394)

Şekil 0.8: Bisquare metodu ile elde edilen denklem.

4.2. Koordinat Ölçüm Cihazı Kullanılarak Uzunluk Ölçümünün Yapılması

Düzlem denklemlerinin elde edilmesinden sonra bu denklemlerden yararlanılarak çeşitli ölçümler yapılabilir. En temel ölçüm olan uzunluk ölçümü de yine bu mantıkta yapılmıştır.

Düzlem için kullanılan ve düzlemselliği belli bir tolerans içerisinde kalan pleyt gibi, uzunluk için de bir uzunluk mastarı kullanılması gerekmektedir. Bu uygulamada 8mm uzunluğa sahip bir uzunluk mastarı kullanılmıştır. Bu uzunluk mastarının hata değeri $+0.04\mu\text{m}$ olarak belirtilmektedir.



Şekil 0.9: Gauge blok [21].

Ölçümlerde öncelikle bir veri seti oluşturulup referans düzlemi oluşturulmuştur. Düzlemsellik toleransının yüksek olabilmesi için fazla sayıda veri toplanmıştır.

Oluşturulan bu veri seti kullanılarak aşağıdaki düzlem denklemi elde edilmiştir.

$$p00 = 119.9$$

$$p10 = -0.009703$$

$$p01 = -0.02606$$

Bir noktanın bir doğruya olan uzaklık denklemlerinden yararlanılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} pp &= \\ &-45.7345 \ -285.8553 \ 127.7931 \\ dz &= \\ &7.9559 \end{aligned}$$

Şekil 0.10: Uzunluk ölçüm deney sonuçları.

Çizelge 0.1: Uzunluk ölçümü için yapılan deneysel sonuçlar.

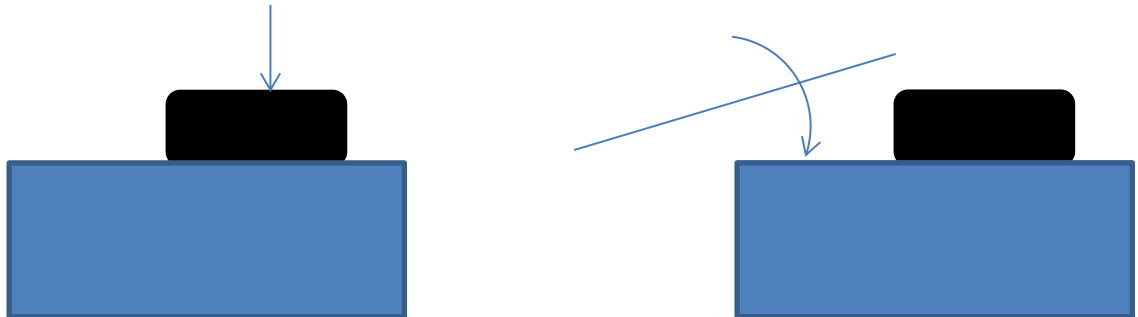
Düzlem koordinatları [x,y,z]	Ölçüm yapılacak nokta [x,y,z]	Hesaplanan denklemi [p00, p10, p01]	düzlem	Hesaplanan uzunluk, dz
Ölçüm 1				
-258.739,-167.767, 103.344	-260.026,-166.37, 111.331	96,9564081156170		7.9657
-265.308,-159.308, 103.425		0,0201956371648044		
-270.983,-163.264, 103.56		0,00694654818399649		
-264.161,-175.075, 103.51				
Ölçüm 2				
-255.857,-162.297, 103.094	-256.274,-166.5, 111.148	95,5812495564630 -		8.0012
-260.904,-156.026, 103.162		0,0236359036314502		
-264.522,-158.974, 103.269		0,00904347417161790		

Çizelge 0.2: Uzunluk ölçümü için yapılan deneysel sonuçlar. (Devamı)

-258.036,-170.215, 103.221				
Ölçüm 3				
-261.435,-153.937, 103.16	-267.195,- 152.265, 111.273	96,0466352782756	7.9885	
-264.593,-155.771, 103.25		0,0229464024711994		
-270.739,-147.035, 103.324		0,00725280395611268		
-266.453,-144.319, 103.209				

Uzunluğu ölçülen 8mm mastarın hesaplama sonucunda uzunluğu 7.9559mm bulunmuştur. Burada elde edilen sonuca birçok parametre etki etmektedir. Bunlardan en önemlileri geometrik hatalardır ve montaj sırasında ortaya çıkmıştır. Birçok geometrik ölçü ise ölçü aletleri kullanılarak ölçülememektedir. Örneğin bir konstrüksiyonda meydana gelen bir çarpılmanın ölçülerek hesaba katılması çok zordur. Bu gibi belirsizlikleri bulabilmek için tanılama algoritmaları ile sistem modeli yenilenmelidir.

Dönel eksenlere sahip bu gibi sistemler doğrusal olmayan modellere sahiptir. Bilinmeyen parametre sabit bile olsa doğrusal olmayan denklemler sebebiyle ölçümde hata meydana getirir.



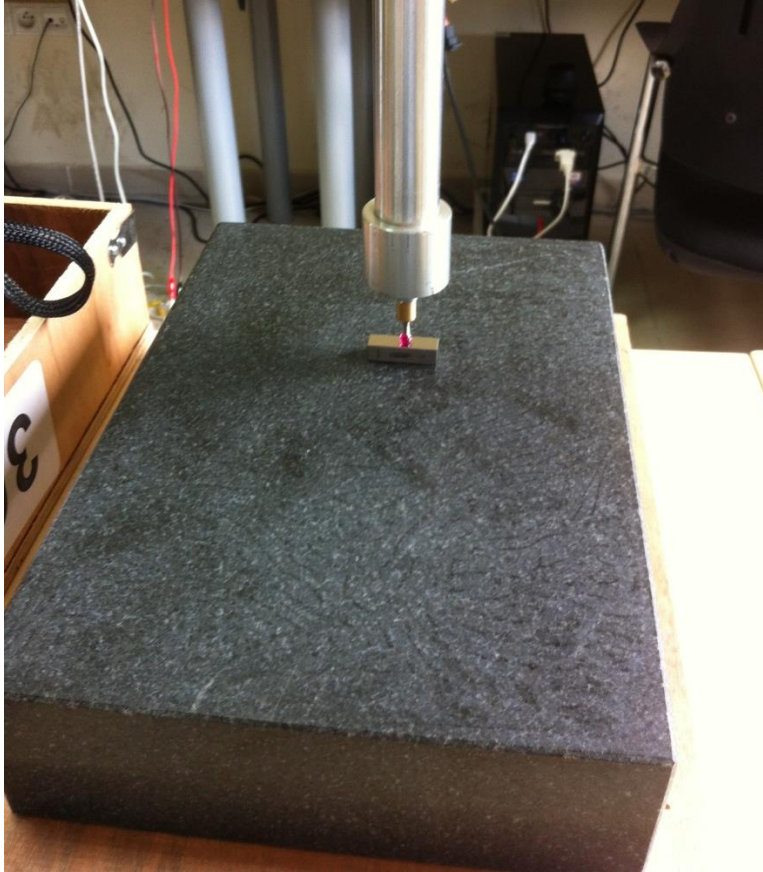
Şekil 0.11: Ölçümde doğrusallığın etkisi.

Şekil 4.11’de görülen iki farklı şekli incelersek, doğrusal olarak ölçüm yapan ilk bağlantı kolunun uzunluğunun bilgisayar programına yanlış olarak girildiğini düşünelim. Referans yüzeyi olarak kullandığı yüzey aslında olması gerekenden Δx

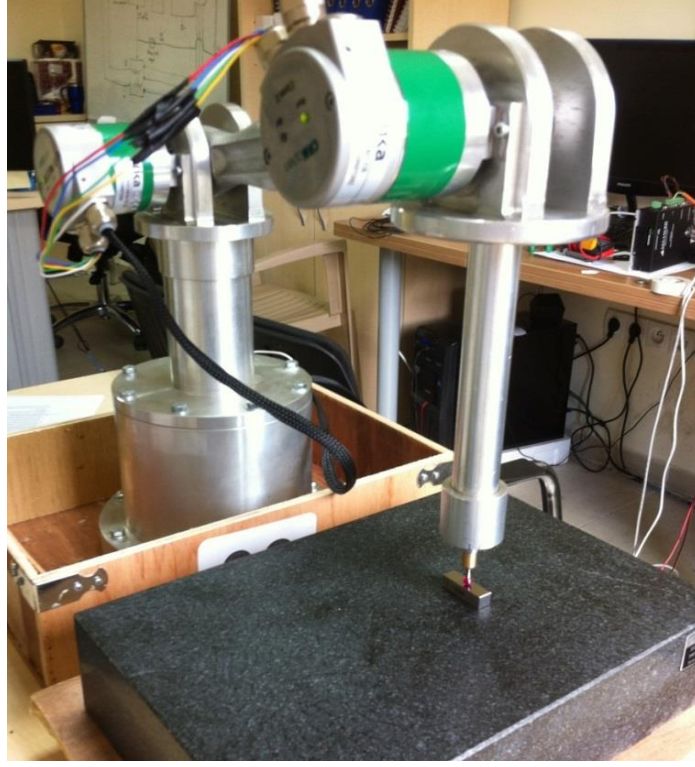
kadar aşağıda olacak ve ölçüm verisi ise $h+\Delta x$ uzaklığında olacaktır. Ölçüm sonucunda h verisi bağıl olarak elde edildiği için ölçülen büyüklük bağlantı kolunun hatalı olarak bilgisayar programına girilmesinden etkilenmeyecektir.

Ancak doğrusal olmayan sistemlerde bu hata her bölgede aynı almadığı için ölçüm sonucuna yansır ve ölçüm doğruluğunu etkiler.

Koordinat ölçüm cihazında bulunan dönel mafsallar bu doğrusal olmayan etkiyi meydana getirmektedir. Ölçüm verileri incelendiğinde bazı ölçümlerdeki hataların $1\mu\text{m}$ olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, istatistiki olarak alınan verilerin hata çemberindeki minimum bölgeden gelmesinin yanında ölçüm sırasında kolun 90 derece ve etrafında ölçümler yaptırılarak doğrusal olmayan modelden minimum düzeyde etkilenmesi sağlandığı içindir.



Şekil 0.12: Ölçüm sisteminin görünümü.



Şekil 0.13: Ölçüm sisteminin görünümü.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma sonucunda orta üç serbestlik dereceli, taşınabilir, 8 kg ağırlığında ve 0,5 m yarıçapında çalışma uzayına sahip bir koordinat ölçüm cihazı çıkmıştır. Üç serbestlik dereceli yapıda kullanılan enkoderler ile açı bilgileri alınmış ve uç noktanın koordinatları hesaplanmıştır.

Ortaya çıkan sistemde görülen problemlerden biri, sistemin ikinci mafsalında bir dengeleme mekanizması ihtiyacının olduğudur. Bu yapı ile ölçüm sırasında operatör kol ağırlığını taşımayacak, sadece kolun yer değiştirebilmesi için gerekli ataleti yenme kuvvetini uygulayacaktır. Bu operatörün yorulmasını engelleyecek ve daha etkin bir ölçüm sağlayacaktır.

Yapı üç serbestlik dereceli olduğu için x, y ve z koordinatlarının ölçülmesinde yeterlidir. Ancak kullanım kolaylığı ve esneklik bakımından yapının 4 ya da 5 serbestlik dereceli olması daha uygun olacaktır. Özellikle çok karmaşık geometrilerde yapıdaki esnekliği arttırabilmek için serbestlik derecesi daha da arttırılabilir.

Kullanılan enkoderlerde çeviricide ve bilgisayar programında istenilen özelliklerin sağlandığı görülmüştür. Ancak enkoderlerin boyutları taşınabilir bir sistem için fazla büyüktür.

Ölçüm sonuçları incelendiğinde, yapının geometrik parametrelerinin ölçüm sonucuna etki ettiği görülmektedir. Yapının doğrusal olmayan modeli, geometrik parametre hatalarını uç noktaya yansıtmaktadır. Bunun sonucunda da ölçümlerde farklı hatalar elde edilmiştir. Burada yapının geometrik parametrelerinin tam olarak belirlenebilmesi için bir tanılama çalışması yapılabilir. Bu çalışmada uç nokta kısıtlarından yararlanarak yapının geometrik parametreleri tanılanacaktır. Örneğin uç noktanın daima bir düzlemde olduğu durumda, tüm ölçümlerin aynı düzlem denkleminde olması gerekeceği kısıtı kullanılarak geometrik parametrelerin tahmini yapılabilir. Burada robot kalibrasyonu ve robot parametrelerinin tanılaması konularında yapılacak çalışmalarla ölçüm hatası minimize edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Czichos, Horst; Saito, Tetsuya; Smith, Leslie E.** (2011) Fundamentals of Metrology and testing
- [2] **John A. Bosch** (1995) Coordinate Measuring Machines and Systems
- [3] **Akgöz, A; Yandayan, T .** Uzunluk Standardı “METRE” nin Endüstriye Sunumu: Mastar Blokları
- [4] **Külbay, K.** (2000) Geometril Ölçülendirme ve Toleranslandırma
- [5] **Pfeiffer, O; Ayre, A; Keydel, C.** (2008) Embedded Networking with CAN and CANopen
- [6] **CiA** (2011) CANopen Application Layer and Communication Profile
- [7] **Zurawski, R.** (2005) The Industrial Communication Technology
- [8] **Kutay, G.** (2009) Cıvatalar ve Somunlar
- [9] **FAG** (1999) FAG Rolling Bearings, Fundamentals, Types, Designs
- [10] **Hexagon Metrology** Probes & Sensors for Coordinate Measuring Machine
- [11] **FAG** Mounting and Dismounting of Rolling Bearings
- [12] **Renishaw** Styli and Accessories
- [13] **Slatter, R; Degen, R.** Miniature Zero-Backlash Gears and Actuators for Precision Positioning Application
- [14] **Beer, F; Johnston, R; DeWolf, J; Mazurek, D.** (2009) Mechanics Of Materials
- [15] **Caenen, J.L; Angue, J.C.** Identification of Geometric Parameters of Robots
- [16] **Zhuang, H; Roth, Z.** (1991) A Closed Form Solution to the Kinematik Parameter Identification of Robot Manipulators

[17] **Zhuang, H.** A Linear Solution to the Kinematic Parameter Identification of Robot Manipulators

[18] **Pfeiffer, F; Hölzl J. (1995)** Parameter Identification for Industrial Robots

[19] **Zhuang, H; Motaghedi, S; Roth, Z. (1999)** Robot Calibration With Planar Constraints

[20] **Trenk, M; Franke, M; Schwenke, H.** The “Virtual CMM” a Software Tool for Uncertainty evaluation-practical Application in an Accredited Calibration Lab

[21] **INSIZE (2012)** Measuring Instruments Catalogue 2012E

URL-1 Gülmez T. <http://web.itu.edu.tr/gulmezt/Metroloji.html>

Url-2 ISLAM, S. Math Notes. <<http://www.sbg.bio.ic.ac.uk/~islam/plane.html>> alındığı tarih: 20.08.2013

Url-3 <http://www.wenzel-cmm.co.uk/wenzel_history_of_cmm.asp#> alındığı tarih: 08.05.2013

Url-4 <<http://www.mitutoyo.co.jp/eng/useful/catalog/index.html#page=607>> alındığı tarih: 05.08.2013

Url-5 <<http://gage.faro-europe.com/tr/ozellikler/>> alındığı tarih: 03.07.2013

Url-6 <<http://www.a-m-c.com/>> alındığı tarih: 07.05.2013

Url-7 <<http://www.can-cia.org/>> alındığı tarih: 09.08.2013

EKLER

EK A: Üç Boyutlu Ölçüm Cihazı Resimleri

EK A



Şekil A 1: Üç boyutlu ölçüm cihazı resmi.



Şekil A 2: Üç boyutlu ölçüm cihazı resmi.



Şekil A 3: Üç boyutlu ölçüm cihazı resmi.



Şekil A 4: Üç boyutlu ölçüm cihazı resmi.



Şekil A 5: Üç boyutlu ölçüm cihazı resmi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ömür BAÇ

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir, 30.01.1988

Adres: Duvarcı Sokak, Şifa Apt. No:2, D:3 Ortaköy/İSTANBUL

E-Posta: omurbac@gmail.com

Lisans: Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Ömür BAÇ Dokuz Eylül Üniversitesi'nde lisans eğitimi sırasında mekatronik ve kontrol sistemleri ile ilgili çalışmalar yaptı. Bu dönemde katıldığı TÜBİTAK Hidromobil yarışlarında ekibiyle birlikte 3 kez birincilik ödülü kazandı. Yüksek lisansını yaptığı sistem dinamiği ve kontrol alanında akademik çalışmaların uygulamada yerini bulması gerektiği fikriyle endüstrideki bu yönde olan çalışmaları inceledi. Bu süreçte T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na proje hazırlayıp bu proje için Teknogirişim Sermayesi Desteği almaya hak kazandı ve 2012 yılında BAÇ Mühendislik ismiyle kendi şirketini kurdu. Halen kendi şirketinde akademik değeri olan ürünlerin geliştirilmesiyle ilgili çalışmalarını sürdürmektedir.