

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAŞINABİLİR ÖLÇÜM CİHAZLARINDA KONTROL SİSTEMİ TASARIMI VE BU
CİHAZLARIN ÖLÇÜM KARAKTERİSTİKLERİNİN ALIŞILMIŞ SİSTEMLER İLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

CEM YURCİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. NUMAN DURAKBAŞA**

İSTANBUL, 2012

ÖNSÖZ

Koordinat Ölçüm Makineleri(CMM/Coordinate Measuring Machines) bir çalışma yüzeyi üzerindeki noktaların koordinatlarını belirlemek için hareketli bir ölçüm probunu takip etmek üzere tasarlanan mekanik sistemlerdir. CMM'ler ölçüm tablasını içeren makine gövdesi, ölçüm probu, kontrol veya hesaplama sistemi ve ölçüm yazılımı olmak üzere dört temel bileşenden meydana gelmektedir. Farklı boyut ve tasarımlar ile farklı prob teknolojilerine sahip olan çok değişik türden makineler bulunmaktadır.

Kalite ölçüm cihazları için çok geniş bir seçenek aralığı bulunmasına rağmen, taşınabilir CMM'lerin yaygınlığı artmağa devam etmektedir. Şirketler, bu cihazları yüksek kullanım esneklikleri sayesinde en çok ihtiyaç duydukları zamanda ve yerde kullanabilmekte; istedikleri yüksek doğruluktaki sonuçları elde edebilmektedir. Iskarta oranları ve kayıpların azaltılması, ölçüm sürelerinin kısaltılması, parça ve makina kalitesinin yükseltilmesi, taşınabilir CMM'lerin kullanılmasıyla elde edilebilecek avantajlardan bazılarıdır. Bu avantajlar, şirketlerin taşınabilir CMM yatırımlarının geri dönüşünü çoğu kez 12 ay içinde tam olarak geri alabilmelerini sağlamaktadır.

Mafsal kollu ve lazerli olmak üzere iki temel taşınabilir CMM tipi mevcuttur. Mafsal bir kol, probun üç boyutlu ortamdaki konumunu belirleyip kaydetmekte ve daha sonra da yazılım aracılığıyla sonuçları rapor etmektedir. Kollar tipik olarak 6 veya 7 dönüş eksenine sahiptir. Bu da, cihazın çok farklı şekillerde hareket etmesi için yeterli olabilmektedir. Ayrıca, çok daha geniş bir ölçüm aralıkları ve oldukça yüksek doğruluk dereceleri ile elde etmek için lazerli bir CMM'in kullanılması gerekmektedir. Bu cihazlar, aynı zamanda koordinat verilerini çok yüksek hızlar altında toplamakta ve yalnızca bir operatör tarafından çalıştırılabilmektedir.

Tezimi yöneten ve yapılmasında destek ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Değerli Hocam Prof. Dr. Numan Durakbaşı'ya teşekkürü bir borç biirim. Tezimin uygulamalarını yapma fırsatını bana tanıyan ve yakın ilgi gösteren Faro Almanya merkez ve Türliye şubelerinin sayın yetkililerine, Coşkunöz A.Ş. / Bursa ve Repkon A.Ş. / Şile-İstanbul firmalarının değerli teknik ekiplerine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezin hazırlanması sırasında ilgi ve desteklerini gördüğüm Hocalarım Mekatronik Müh. Böl. Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ahmet Koyun, Makine Müh. Böl. Öğretim Üyesi Prof. Dr. Erhan Altan, Bilgisayar Müh. Böl. Öğretim Üyesi Prof. Dr. Coşkun Sönmez, Makine Müh. Böl. Öğretim Üyesi Y. Doç. Dr. Tamer Kepçeler ve Bilgisayar Müh. Böl.'den Ar. Gör. Muhammed Balcılar'a teşekkür ederim.

Ocak, 2012

Cem YURCI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
ALIŞILAGELMİŞ VE MAFSAL KOLLU CMMLER	4
2.1 Ölçüm Cihazları	4
2.2 Klasik Ölçüm Yöntemleri Manuel Ölçüm Cihazları	5
2.3 Klasik Optik Karşılaştırmacılar ve Makine İzleme Sistemleri.....	5
2.4 Koordinat Ölçüm Makinası	6
2.4.1 CMM Konfigürasyonunun Tipleri.....	7
2.4.1.1 Köprü Tipi	7
2.4.1.2 Dört Kolonlu Makinalar	8
2.4.1.3 Dirsek (Cantilever) Tip.....	9
2.4.1.4 Yatay Kol Tipi	10
2.4.2 Taşınabilir CMM Tipleri.....	11
2.4.2.1 Mafsalsız Kollu CMMler	11
2.4.2.2 Lazerli CMMler	11
2.4.2.3 Mafsalsız Kollu CMMlerin Tipik Uygulamaları	12
2.4.2.4 Lazerli CMMlerin Tipik Uygulamaları	12
2.4.2.5 Avantajlar ve Karşılaştırma.....	13
2.4.2.6 Tarihi	13
2.4.2.7 Taşınabilir CMMleri Üreten Firmalar Kısa Bir Bakış	16
2.4.2.7.1 Hexagon Metroloji.....	16

2.4.2.7.2 Faro.....	20
2.4.2.7.3 Axila 8 Boyutlu.....	21
2.4.2.7.4 Zett Mess.....	21
2.4.2.7.5 Brown & Sharpe	22
2.4.2.8 Tez Konusunda Yapılan Pratik Çalışmalar	22
2.4.2.9 Mafsallı Kollu CMMlerin İşleyişine Örnek.....	24
2.4.2.10 Lazer Tarayıcı (Laser Scanner): Cihazın Tasarımı.....	27
BÖLÜM 3	
ÖLÇME BELİRSİZLİĞİ.....	30
3.1 Ölçüm Belirsizliği.....	30
3.1.1 Belirsizlik Aralığı.....	30
3.1.2 Belirsizlik Bölgesi.....	31
3.1.3 E ve P'nin Uygulanması.....	32
3.1.4 E ve P'nin Uygulanmasının Açıklanması	34
3.1.5 Yapısal Parametrelerin Ölçüm Belirsizliğine Etkileri.....	35
3.1.5.1 Parametrelerin Analizi	35
3.1.5.2 Parametre Tanımlama Yöntemi.....	36
3.1.6 Deneysel Yöntemler	37
3.1.7 Test Ekipmanları	38
BÖLÜM 4	
CMM KOLUNUN OTOMASYONUNA ÖRNEK	42
4.1 Dış İskeletli CMM ve Otomasyonu Sağlamak	42
4.1.1 Avantajları.....	43
4.1.2 İç CMM Kolu Yapısı Belirsizlik Bölgesi.....	44
4.1.2.1 Rijitlik ve Kütle.....	44
4.1.2.2 Biçim.....	45
4.1.3 İç CMM Kolu Yapısı Belirsizlik Bölgesi.....	45
4.1.3.1 Rijitlik ve Kütle.....	45
4.1.3.2 Biçim.....	45
4.1.4 İç CMM Kol Malzemeleri	46
4.1.5 Dış İskelet Malzemeleri.....	46
4.1.6 Joint Bearings (Bağlantı Yatakları)	46
4.1.7 Internal CMM Arm Encoders (İç CMM Kolu Enkoderleri).....	49
4.1.8 Çift Modelli Enkoder (Dual Pattern Enkoder)).....	51
4.1.9 Prob Tipleri	55
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR	58
EK-A	
HOMOJEN MATRİS DÖNÜŞÜMÜ	60

EK-B	
ÇİZİM VE ANALİZ VERİSİ.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	96

SİMGE LİSTESİ

AÖS	Alt Özellik Sınırı
ÜÖS	Üst Özellik Sınırı
E	Hacimsel Uzunluk Ölçümü Hatası
P	Hacimsel Dokunma Hatası
σ	Standart Sapma
RP	Tek Nokta Tekrarlanabilirliği
La	Gösterilen değer
Lr	Doğru değer
E_{ki}	Düzeltilme değeri
SD	Küre mesafe hatası
P_s	Gösterilen çap hatası
P_f	Prob (dokunma) hatası

KISALTMA LİSTESİ

CMM	Coordinate Measurement Machine
CAD	Computer Aided Drawing
CNC	Computerized Numerical Control
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
ADM	Absolute Distance Meter
SMR	Spherical Mounted Retroreflector
CCD	Charge Coupled Device

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Köprü Tip CMM'lere Örnekler.....	7
Şekil 2.2 Gantry Tip CMM'lere Örnekler	8
Şekil 2.3 Cantilever Tip CMM'lere Örnekler.....	9
Şekil 2.4 İkli Kol Tipi Yatay CMM	10
Şekil 2.5 İlk Mafsal Kollu CMM Örneği	16
Şekil 2.6 Absolute Arm-6 Axis.....	18
Şekil 2.7 FaroArm Edge	21
Şekil 2.8 Repkon'daki Tatbikat	22
Şekil 2.9 Mafsal Kollu CMM.....	23
Şekil 2.10 Lazer Tracker Tatbikatı.....	23
Şekil 2.11 CMM ve Lazer Tracker	23
Şekil 2.12 Kol Elemanları	25
Şekil 2.13 Mafsal Kollu CMM'le Ölçme Örneği	26
Şekil 2.14 Mafsal Kollu CMM Sistemi.....	27
Şekil 2.15 Kol Bağlantılarının Gösterimi	28
Şekil 2.16 Lazer Tarayıcı CMM	28
Şekil 2.17 Lazer Tarayıcı CMM Sistemi.....	29
Şekil 3.1 Belirsizlik Aralığı	31
Şekil 3.2 Özelliğe Uygunluğun Ve Uygunsuzluğun Kanıtlanamaması	31
Şekil 3.3 Özelliğe Uygunluğun Ve Uygunsuzluğun Kanıtlanamaması	32
Şekil 3.4 Hacimsel Uzunluk Ölçümü, Hatası E'ye Örnek.....	33
Şekil 3.5 Hacimsel Dokunma Hatası B'ye Örnek	33
Şekil 3.6 Test İşlemi	34
Şekil 3.7 Konumdaki En Büyük Fark	34
Şekil 3.8 Büyüklük Ve Biçim Hataları Gösterimi	35
Şekil 3.9 Değişik Konumlarda Veri Alımı.....	36
Şekil 3.10 Blok Veya Adım Mastarı Şematik Gösterim.....	39
Şekil 3.11 Küre Çubuğu / Küre Kolu Şematik Gösterim	39
Şekil 3.12 Demonte Edilebilir Küresel Çubuk Şematik Gösterim	40
Şekil 3.13 Referans Uzunluklara Sahip Duvar Şematik Gösterim	40
Şekil 3.14 Uzunluk Komperatörü Şematik Gösterim.....	41

Şekil 4.1	Dış İskeletli CMM Çalışma Şeması	42
Şekil 4.2	Bağlantı Yataklarının Gösterimi	47
Şekil 4.3	Bağlantı Yataklarının Gösterimi	48
Şekil 4.4	Yapısal Elemanlarının Gösterimi	49
Şekil 4.5	Enkoder Örneği	50
Şekil 4.6	Çift Modelli Enkoder Yapısı	52
Şekil 4.7	Çift Modelli Enkoder İle Haritalama.....	53
Şekil 4.8	Dönme Merkezi Ve Düzensizliklerin Gösterimi	53

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Faro Teknik Özellikler.....	20

**TAŞINABİLİR ÖLÇÜM CİHAZLARINDA KONTROL SİSTEMİ TASARIMI VE BU
CİHAZLARIN ÖLÇÜM KARAKTERİSTİKLERİNİN ALIŞILMIŞ SİSTEMLER İLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Cem YURCİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Numan DURAKBAŞA

Alışılmış temel ölçüm enstrümanlarından kumpas ve mikrometreler genellikle çap, uzunluk ve genişlik vb. basit geometrik ölçümlerin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu aletlerin karmaşık geometrili parçaların ölçümlerinde kullanılması oldukça sınırlı kalmaktadır. Söz konusu aletler yapılan ölçümlerin parçanın CAD datası ile karşılaştırmasına da izin vermemektedir. Aynı zamanda, insan hatalarına karşı oldukça açık olup farklı veriler sağlayan sonuçlar üretmesi mümkün değildir.

Koordinat Ölçüm Makinalarının kullanımı ile yukarıda belirtilmiş olan güçlükler aşılabilmektedir. Fakat bu kez de birtakım sınırlayıcı koşullar ile karşılaşılmaktadır. Söz konusu koşullar, klimatize ortamın ve ölçülecek objenin mutlaka taşınıp tabla üzerine yüklenmesinin sağlanması vb. çoğu kez yerine getirilmesi çok zor veya imkansız olabilen durumlar yaratmaktadır. İşte, bu tezin konusunu oluşturan Mafsalsız Kollu Ölçüm Cihazları (Articulated Arms) bu gibi sebeplerle ortaya çıkmıştır. Söz konusu cihazların kullanımı ile bu zorluklar aşılmakla birlikte, yapılan uygulamalarda uygun konuşlandırma, çevre koşullarından mümkün olduğunca soyutlama ve referans alma vb. hususlarda dikkat ve özen gösterilmesi çok önemlidir. Operatörün sahip olduğu deneyimin de ayrı bir önemi vardır.

Mafsalsız Kollu Ölçüm Cihazlarının sağlamakta oldukları önemli avantajlar dolayısıyla özellikle makina imalat sektöründe yaygınlaşmağa başladığı görülmektedir. Bunları

tasarlayıp imal eden firmalar, her geçen gün yeni geliştirmelere yer vermek suretiyle bu pratik ölçüm enstrümanlarının kullanımını daha cazip kılmaya çalışmaktadır. Alınan sonuçlar da bunu doğruladığından ve Ülkemizin Makina ve Tezgah İmalat Sanayii sürekli gelişim gösterdiğinden, bunların kontrollerini yapacak olan söz konusu cihazların üzerinde çalışma yapılmasının gerektiği düşünölmüştür.

Tez çalışmasının öngörölme gerekçesi yukarıda açıklanmış bulunmaktadır. Bu çalışmayı yaparken aşağıdaki aşamaların gerçekleştirilmesi planlanmış bulunmaktadır.

- 1) Mafsal Kollu Ölçüm Cihazlarının çalışma prensiplerinin incelenmesi
- 2) Anılan cihazların kullanımına yönelik araştırma ve ölçüm uygulamaları yapılması
- 3) Bu cihazlara alternatif konumunda olan CMM ölçüm ve Lazer Ölçüm ile benzer ölçümler yapılarak, aralarındaki farkların uygulamanın içinde saptanması
- 4) Bir Mafsal Kollu Ölçüm Cihazı seçilerek bunun tasarımı için gerekli verilerin toplanması; mekanik aksamın tasarlanması
- 5) Anılan cihazın hareketlerinin ve sınırlarının belirlenmesi
- 6) Hareket matrislerinin ve fonksiyonlarının çıkarılması
- 7) Oluşturulan arayüz vasıtasıyla, tasarlanan sanal cihaz üzerinde varsayılan hareket inputları girilmesi suretiyle ölçüm sonuçlarının alınması
- 8) Sonuçların topluca değerlendirilmesi

Yukarıdaki plan dahilinde yapılmış olan çalışmaların sonunda, Ülke Sanayinin ihracatının artması açısından anılan cihazların kullanımının teşvik edilmesinde yararlar olduğu görölmüştür. Aynı zamanda, üzerinde daha ileri çalışmalar yapıldığı takdirde, bunların yazılımlarının geliştirilebileceği ve imalatlarında mesafe alınabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Koordinat Ölçüm Makinası (CMM), Mafsal Kollu Ölçüm Cihazı, Ölçme Belirsizliği, Dış İskeletli CMM, Kol Tasarımı, Enkoder

**DESIGNING OF CONTROL SYSTEM OF PORTABLE MEASUREMENT
MACHINES AND COMPARING OF THEIR MEASUREMENT PROPERTIES
WITH CONVENTIONAL METHODS**

Cem YURCİ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Numan DURAKBAŞA

Conventional basic measurement devices such as a callipers or a micrometer are used for simple geometrical measurements; for example a diameter, a length or a width. But, these tools can't be employed for the measurement of complex parts. They also can't compare the measurement result with CAD data. In addition, they can be affected easily by operator errors.

The problems, mentioned above, can be solved with using of Coordinate Measuring Machine(CMM). But this method has some obstacles, too. Especially providing of a well conditioned testing environment, carrying of big parts to table and mounting of them are the difficulties of CMMs. The subject of this thesis, that is the Articulated Arms, is generated because of these problems. Besides, by the applications of these arms, well positioning, abstracting from environmental conditions and referencing are important. The experience and skill of the operator have an additional importance, too.

Due to the important advantages of articulated arms, their usage has become widespread in the machine manufacturing field. In the recent years, the designer firms of these arms are developing new features which make them more popular. Because of the important conclusions and the continuous development of our country's machine manufacturing sector, the researching of articulated arms has been selected as the subject.

The aim of this thesis has been explained, above. The phases of this work are planned and shown, below.

- 1) Investigation of working principles of articulated arm CMMs
- 2) The researching of the usage of these machines and making of measurement applications
- 3) Determining of the differences between these devices and conventional CMMs and Laser Trackers
- 4) Selecting of an articulated arm and collecting the data which are necessary for the designing of their mechanical elements
- 5) Determining of their movements and their limits
- 6) Generating of kinematical matrices and equations
- 7) Designing of an interface and so, getting of measurement results after giving data values as an input
- 8) Evaluating of all results

After working which has been made according to the plan, above, for the rising of our country's industrial exportation, these articulated arms have to be employed widely. Besides, in the future, new software and manufacturing features can be added to their designs.

Key words: Coordinate Measurement Machine, Articulated Arm CMM, Measurement Uncertainty, CMM with Exoskeleton, Designing of Arms, Encoder

1.1 Literatür Özeti

Mafsal kollu taşınabilir ölçüm cihazı konusunda patentler U.S. Patent no 3,944,798 ile 1974 yılından başlayıp günümüze kadar uzanmaktadır. İlk patent Homer Eaton'un egzost boruları bükme işiyle ilgilendiği sırada ölçüm için cihaz gerekliliği ile ortaya çıkmıştır. İlk tip taşınabilir CMM'lerin bir örneği U.S. Patent no 5,402,582'de verilmiştir. Bu patent alışlagelmiş üç boyutlu ölçüm sistemi içerir. Bu sistem bir ucunda bir destek altlığı, diğer ucunda bir ölçüm probu olan elle kontrol edilebilen çoklu bağlı bir mafsal kollu sistem içerir. Başka bir referans alınacak patent de U.S. Patent no 5,611,147'dir. (Şekil 2.15) Bu patent bir çok yeni ve önemli özellik getirmiştir ve bir sonraki durum 7 eksenli kol olmaya rehberlik etmiştir. Başka bir yenilikçi patent de kullanıcıya talimatlarla yardımcı olan ve referans veri olarak görev alacak CAD datası sunan U.S. Patent no 5,978,748'dir. Bu patentlerin öncülüğünde U.S. Patent no 7,246,030 ile Lazer Tarayıcı CMM tipleri geliştirilmiştir. Patent araştırmalarında otomasyona yönelik tek bir patente ulaşılmıştır. Crampton tarafından 2008 yılında alınmış olan bu patent hem manuel hem otomatik olarak işleyebilen daha doğru ölçümler yapabilmek amacıyla görev yapan U.S. Patent no 7,591,078'dir. Bu patent kolların yataklamaları, kullanılacak enkoderler gibi bir çok yapısal bilgi içermektedir. Ayrıca, ölçüm konusuyla ilgili çeşitli kitaplar ve üretici firmaların örnek katalogları kolla ilgili teknik özellikler ve gelişmeleri ele almaktadır. sunmaktadır. Bu kitapların en önemlisi K. Kamrani Ali ve Emad Abouel Nasr tarafından hazırlanmış olan "Rapid Prototyping Theory and Practice"tir. Ayrıca, internette üretici firmalar ve bunların ürünleri; literatürde ise konu ile ilgili ISO verileri

ve Alman Mühendisler Birliği (VDI) tarafından konu ile ilgili hazırlanmış normlar mevcuttur.

1.2 Tezin Amacı

Endüstri Devrimi, imalat sanayiinin belki de en önemli gelişimi sayılabilecek “Değiştirilebilir İmalat (Interchangable Manufacturing)” aşamasını getirmiştir. Bu fikrin ortaya çıkması ile de standart kavramı oluşup gelişim göstermiştir. Dolayısıyla, standartların en önemli bölümünü teşkil eden geometrik ölçümler için kullanılacak enstrümanların geliştirilmesi de bir zorunluluk olmuştur. Bu gelişim süreci, öncelikle en basit ve alışılmış ölçüm aletlerinden başlamış ve günümüzün en gelişmiş temaslı ve temassız ölçüm cihazlarına kadar gelmiştir. En son ulaşılmış önemli yöntemlerden birisi de taşınabilir koordinat ölçüm cihazlarıdır. Bu tezin amaçlarından biri de bir tip ölçüm cihazlarının avantajlarını ortaya koymaktır. Bu avantajlardan sayılabilecekler esneklikleri, taşınabilirlikleri, her türlü parça büyüklüğü ve biçim karmaşıklığında kullanılmalarıdır ve ortamdaki bağımsızlıklarıdır. İleride daha geliştirilebilecek ve ölçme doğruluğunu arttıracak yöntemlere rehberlik edebilecek bir ön tasarım yapmak ve hareket matrislerinin ve fonksiyonlarının çıkarılması ile yapısal parametrelerin son koordinat çıktıklarına etkisini gösterecek bir arayüz tasarlamak hedeflenmektedir. Taşınabilir ölçüm cihazlarının gelişimi gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Çünkü yapılan sağlıklı ve hızlı ölçümler ürünün kalitesini, ürünün kalitesi imalat yöntemlerini ve ürünün özelliklerini, ürünün özellikleri de maliyeti ve satışı etkiler. Bu da bir ülkenin ihracatına etki etmeye kadar uzanır. En uç hedefler ise daha gelişmiş yazılım özelliklerine sahip daha az hata içeren daha yüksek doğruluk sağlayacak otomatize edilmiş taşınabilir ölçüm cihazları tasarlamaktır.

1.3 Hipotez

Bu tezin konusunu teşkil eden Kollu Koordinatölçer (Articulated Arm) cihazları, geometrik ölçümler açısından en son gelişmeleri kapsayan donatılardır. Ülkemiz sanayiinde yeni yeni tanınan bu pratik enstrümanların kullanımları günbegün artmağa başlamıştır. Söz konusu gelişmelere yönelik olarak bu konunun incelenmesinde yarar görülmüştür. Her çalışmada olduğu gibi, incelemeler öncelikle literatür ve patent

araştırmaları ile başlamaktadır. Yapılan planlamayla, bu çalışmada mafsallı kollu taşınabilir ölçüm cihazının bir n tasarımının gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Tez alışmaları başlatılırken, ilk hedef olarak bu cihazların ve kullanım alanlarının tanınması ele alınmıştır. Daha sonra da projelendirme aşamasında yapılması gerekenler gerek konstrüktif ve gerekse yazılım oluşturma açısından gerçekleştirilmiştir. Matlab ve Catia yazılımlarından yararlanmak suretiyle gerekli hesaplama (Homojen matris dönüşümleri) ve analizlerin (Serbestlik derecesi ve çarpma) yürütülmesi sağlanmış, söz konusu temel altyapıya dayalı olarak da, nihai hedef olan imalat prosesine veya sistemine yönelik ölçüm cihazları projelendirmelerine gidilebileceği planlanmıştır.

ALİŞİLAGELMİŞ VE MAFSAL KOLLU CMMLER

2.1 Ölçüm Cihazları

Ölçüm cihazları, muayene işleminin tarz ve gereğine bağlı olarak objektif ve subjektif olarak ikiye ayrılmaktadır. Objektif muayenelerin kapsamında, karşılaştırma ve sayıma yönelik ölçme; mastarlamaya yönelik yakın muayeneler vardır. Bu kapsamda, ölçme cihazı, mastar ve yardımcı aletler kullanılarak objektif muayeneler yapılmaktadır. Ölçü etalonları ile göstergeli ölçüm aletleri bu grupta kullanılan başlıca enstrümanlar olmaktadır. Subjektif muayenelerde ise, görsel ve görsel olmayan muayeneler söz konusudur. Görsel olmayanlar dokunma, dinleme, koklama ve tatma vb. duylulara dayalı muayenelerdir [1].

Parçaların ölçüm ve kontrolleri için piyasada birkaç farklı cihaz bulunmaktadır. Her cihazın kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunduğundan genellikle en doğru tercihin uygulamaya bağlı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Yıllar içerisinde gelişen kalite standartlarına bağlı olarak, bu cihazlar da daha gelişmiş bir hale gelmiştir. Her geçen gün daha fazla sayıdaki imalatçı, ürünlerini ve süreçlerini sürekli olarak geliştirmek amacıyla altı sigma ve ISO 9000 gibi kalite standartlarını uygulamaya başlamaktadır. Bu programlar, ürün hatalarının azaltmasına veya giderilmesine ek olarak üretim süreci sırasında ortaya çıkan problemlerin tespit edilmesinde de oldukça yararlıdır. Bu da şirketlerin hatalı ürünlerin süreç sırasında daha fazla işlem görmesini engellemesine olanak sağlamaktadır. Üreticilerin bu yaklaşımda başarılı olabilmesi için,

ürün montajının daha önce hiç ölçüm yapılmayan çeşitli aşamaları da dahil olmak üzere, süreçleri her adımda ölçmeleri gerekmektedir.

2.2 Klasik Ölçüm Yöntemleri Manuel Ölçüm Cihazları

Kumpas ve mikrometre gibi manuel ölçüm aletleri genellikle çap, uzunluk ve genişlik vb. basit geometrik ölçümlerin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, karmaşık geometrili parçaların ölçümlerinde kullanılmaları oldukça sınırlı kalmaktadır. Söz konusu aletler yapılan ölçümlerin parçanın CAD datası ile karşılaştırmasına izin vermez, insan hatalarına karşı oldukça açıktır ve farklı veriler sağlayan sonuçlar üretmez. Örneğin, bir delik çapının iki noktadan ölçülerek hızlı bir şekilde belirlenmesini sağlayabilen bir kumpas, deliğin ne kadar yuvarlak olduğu hakkında bir bilgi vermez veya kullanıcıya deliğin diğer noktalarındaki çap ölçüsünün önemli ölçüde değişip değişmediğini göstermez. Bu bilgilerin kumpas kullanılarak elde edilmesi oldukça zaman isteyen bir işlemdir. Bunun için kullanıcının mutlaka birçok farklı noktadan ölçümler alarak bunların sonuçlarını birbiriyle karşılaştırması gerekmektedir.

2.3 Klasik Optik Karşılaştırıcılar ve Makine İzleme Sistemleri

Optik karşılaştırıcılar, arkadan aydınlatılan parçaların büyütülmüş profillerinin ekrandaki bir ölçekle karşılaştırmasına dayanan eski bir teknolojidir. Bu şekilde iki boyutlu şekiller hızlı bir şekilde ölçülebilir. Ancak doğruluk sınırlıdır ve işlem maneldir. Makine izleme sistemleri de optik karşılaştırıcılara benzemektedir. Bununla birlikte, öncekinden farklı olarak muayene analizlerinin gerçekleştirilmesi için kameralar ve görüntüleme yazılımları da kullanılmaktadır. Makine izleme sistemleri ile yapılan ölçüm ve değerlendirmeler çok hızlı olarak gerçekleştirilebilmektedir. Söz konusu cihazların pahalı oluşları, belirli uygulamalarla sınırlı kalmaları ve yalnızca küçük parçaların iki boyutlu muayeneleri için kullanılmaları dezavantajlı yönlerini teşkil etmektedir [2].

2.4 Koordinat Ölçüm Makinası

Tersine mühendisliğe ait temas esaslı metodlar yıllardır kullanılır olmuştur. Tersine mühendisliğin ilk metodu (hala en popüler) olarak sunulan koordinat ölçüm cihazıdır. Bir koordinat ölçüm cihazı, üç boyutlu bir kartezyen koordinat sisteminin fiziksel temsilini verir. CMM bir objenin yüzeyini bir temas probu yardımıyla ölçer. Bu prob basınca karşı oldukça duyarlı bir cihaz olup, cisimle herhangi bir temasta harekete geçer. Proben pozisyonunun üç eksenenden olan lineer uzaklığı araştırılır; bu da yüzeyin x,y ve z koordinatlarını verir.

Tersine mühendisliğin başka temaslı yöntemleri elektromagnetik sayıcılar ve sonik sayıcılar içerir. Elektromagnetik sayıcılar, ölçülecek cismin yüzeyi boyunca bir magnetik alan içeren ve elle tutulan iğne yardımıyla metal olmayan cisimlerin (magnetik bir alan içine yerleştirilmiş) yüzey verilerini temin eder. Magnetik alan, bir elektronik birimle bağlantılı, iğnenin konumunu belirler. Sonik sayıcı, bir noktanın bir referans noktasına göre konumunu hesaplamak için ses dalgaları kullanır. Tekrardan bu yöntemde de, yüzeyi takip eden ve elle tutulan bir iğne kullanılarak, bir ultrasonik etki iğne tarafından yayılır ve dört mikrofon tarafından alınır. Dört mikrofonun her birine ulaşacak şekilde aşımış süreler kaydedilir ve bu zaman farklarından x, y ve z koordinatlarını hesaplar [3]. İlk CMM, Makinenin XYZ konumunu görüntüleyen, bir dijital değerin okunduğu basit bir cihaz olarak 1960 'lı yılları başında üretilmiştir [2].

Sabit CMM'ler çok yüksek hassasiyet düzeylerine sahiptir ve CAD modeli ile bağlantı sağlamaktadır. Anılan cihazlar, sıcaklığı kontrol edilen bir iklimatik odada çalıştırılmaktadır. Ölçülecek parçaların CMM'ye getirilmesi ve parçanın CMM ölçüm tablasına sığması gerekmektedir. Klasik CMM'nin kullanım alanları büyük boyutlu parçaların taşınabilirlikleri ile sınırlıdır. Bu teknolojide, imalatçılar, büyük veya karmaşık şekilli parçaları ölçmek için ya manuel ölçüm cihazlarını kullanmağa devam edecekler veya günümüzün pahalı ölçüm cihazlarından edinmeleri gerekecektir. Sabit CMM'lerin kullanımları oldukça karmaşıktır. Bu da, eğitimli operatör ve kullanıcı bulunmasını zorlaştırmaktadır [2].

2.4.1 CMM Konfigürasyonunun Tipleri

Herhangi bir CMM'in konfigürasyon tipi, onun ölçüm parametrelerini de belirlemektedir. Bunlar doğruluk, esneklik, ölçüm prosesinin süresi, en büyük iş parçası boyutu ve maliyettir. Bu konfigürasyonların çoğu bir operatör tarafından elle veya bir programla kontrol edilebilirler. Operatörle kullanılan CMM "Manuel CMM"; bir programla çalıştırılan CMM ise "CNC CMM" olarak adlandırılır.

2.4.1.1 Köprü Tipi

Köprü(Bridge) tipi makinelerde kol yatay bir kirişe bağlıdır ve aşağıya doğru dikey yönde asılıdır. Bu yatay kiriş köprü gibi iki dikey kolonla desteklenmiştir. Ölçülecek cismi konumlandıran köprüyü makinanın x-ekseni taşımaktadır. Tezgah uzunluğu boyunca iki dikey kolonun hareketinde uygunsuzluklar olabilir ve bu da köprünün elastik eğilmesine ve burulmasına sebep olabilir. Bu hata, bir pozitif pozisyon geri dönüşüm kontrol sistemi veya iki kolonu da aynı anda hareket ettirecek bir merkezi tahrik sistemi kullanarak düzeltilebilir. Bu makina düzensiz konstrüksiyonu sayesinde, daha yüksek doğal frekanslara sahiptir. Bu da yukarıdan asılı dirsek (cantilever tipi) CMM'lere kıyasla daha gelişmiş dinamik cevaplar vermektedir. Bu tip CMM'ler daha küçük tabla alanlarına sahip olurlar. Bu da, söz konusu cihazların temiz oda veya tasarım laboratuvarlarında kullanılmalarına elverişli kılar.



Şekil 2.1 Köprü Tip CMM'lere Örnekler

2.4.1.1.1 Kullanım Alanları

- Mekanik parçaların muayenesi
- Karmaşık geometrili mekanik elemanların (dişliler, kamlar, türbin kanatları vb.) muayenesi ve sayısallaştırılması
- Yüzeylerden bağımsız muayene (kalıplar, modeller, sac metal, plastik ve döküm kalıpları)
- Nokta nokta muayene
- Sürekli izleme muayenesi [3]

2.4.1.2 Dört Kolonlu Makinalar

Dört Kolonlu(Gantry Tip) makinalar 4 metre veya daha fazla büyüklükteki parça boyları için kullanışlıdır. Dört kolonlu makinalar ölçülecek cismi konumlandırmak için iki yan destekli bir çerçeve yapısına sahiptirler. Bir yatay kiriş ölçülecek cismin uzunluğunu kateder. Çift tahrikli yapısı sayesinde, bu yolu katedeceği sırada yandaki desteklerin bükülmesi veya esnemesi en aza indirilir. Bu yatay kirişe bağlı bir ölçüm kolu, ölçüm sırasında cismin genişliği boyunca hareket eder. Gantry makinaları diğer CMM'lerle karşılaştırıldıklarında daha karışık bir konstrüksiyona sahiptirler. Bükülmeden ve konumlandırılan ölçülecek parçanın ağırlığından kaynaklanan deformasyonu dengelemek için böyle bir konstrüksiyona sahiptirler. Bu tip makinalar, diğer CMM tipleri arasında, büyüklüklerine oranla en büyük ölçüm hacmi içinde çalışırlar. Daha yüksek hassasiyet, ısı dengelemesi ve havalı yataklar ile yüksek doğrulukta lineer yatakların birlikte kullanılmasıyla sağlanabilir.



Şekil 2.2 Gantry Tip CMM'lere Örnekler

2.4.1.2.1 Kullanım Alanları

- Büyük parçaların (borular, basınçlı kaplar, otomobil çerçeveleri gibi) muayenesi
- Ağır ve büyük karışık parçalar için kullanılan mastar ve fikstür sistemlerinin ölçülmesi
- Atölye muayenesinde kullanılacak, yüksek operasyonel güvenlikteki ekipman olarak [3]

2.4.1.3 Dirsek (Cantilever) Tip

Bu tip makinalarda; dikey bir kol, sadece bir ucundan irtibatlı bir destek yapısıyla desteklenmiştir. Bu tip açık bir konfigürasyon, operatörün ölçülem cisme ulaşımını kolaylaştırır. Ağır parçalar sabit tablaya yerleştirilerek ölçülebilir. Fakat, yukarıdan aşağıya sadece bir ucundan irtibatlı yapı sebebiyle, ölçümün hızını etkileyecek daha düşük sistem doğal frekansına sahiptir. Bu tip bir sistem, tablanın uzunluğu boyunca uzanan, diğer iki ekseninde daha küçük ölçülere sahip uzunlamasına parçalar için uygundur.



Şekil 2.3 Cantilever Tip CMM'lere Örnekler

2.4.1.3.1 Kullanım Alanları

- Model, taslak gibi ön tasarımda
- Hafif frezeleme operasyonları
- İstenilen biçimdeki yüzeylerin kopyalanması [3]

2.4.1.4 Yatay Kol Tipi

Yatay kol makinaları, yaygın olarak otomotiv endüstrisinde kullanılırlar. Bu konfigürasyonda ölçen probu destekleyen kol, hareket edebilir dikey bir destekten yatay olarak sadece bir ucundan irtibatlıdır. Sonuç olarak, bu tip bazen dirsek tasarım olarak da tanınabilir. Şekilde gösterildiği gibi, çift kol düzenlemesi de yapılabilir. Yukarıdan bağlı kollar makinanın dinamik rijitliğini sınırlar ki, bu da ölçümlerin hızını etkiler. Fakat bu hata yazılım yardımıyla düzeltilerek telafi edilebilir.



Şekil 2.4 İkili Kol tipi Yatay CMM

2.4.1.4.1 Kullanım Alanları

- Özellikle sadece bir ekseninde büyük ölçülere sahip parçaların muayenesinde
- Kendi kendine alt montajlı prizmatik elemanların ölçülmesinde
- İstenilen biçimdeki cisim yüzeylerinin ölçümlerinin elde edilmesinde (otomobil tasarımında, uçak yüzeylerinin belirlenmesinde) [3]

2.4.2 Taşınabilir CMM Tipleri

Mafsalsız kollu ve lazerli olmak üzere iki temel taşınabilir CMM tipi mevcuttur.

2.4.2.1 Mafsalsız Kollu CMM'ler

Mafsalsız bir kol, probun 3 boyutlu ortamdaki konumunu belirleyip kaydeder ve daha sonra yazılım aracılığıyla sonuçları rapor eder. Prob ucunu konumunun hesaplanması için, koldaki her bir bağlantı noktasının dönüş açısının ve her bir segmentin uzunluğunun bilinmesi gerekmektedir. En açık konumda radyal erişim mesafesi tipik olarak (4feet ile 12 feet çapında veya çalışma hacminde) 2 feet (609.6 mm) ile 6 feet (1828.8 mm) arasında değişmektedir.

Kol içerisinde her bir hareketli bağlantı noktasının dönüş açısı, optik döner kodlayıcılar kullanılarak belirlenir. Bu kodlayıcılar, cam bir disk üzerine hassas şekilde çizilmiş çizgileri tespit ederek dönüş sayısını artışı bir şekilde belirler. Kollar tipik olarak 6 veya 7 dönüş eksenine sahiptir, bu da cihazın çok farklı şekillerde hareket etmesine olanak sağlar [2].

2.4.2.2 Lazerli CMM'ler

Lazerli bir CMM'nin çalışması oldukça kolay anlaşılır: İki açı ve bir mesafe ölçer. Lazerli takip cihazı, ölçülecek nesne üzerinde tutulan retroreflektif bir hedefe bir lazer ışını gönderir. Hedeften yansıyan ışın geldiği yolu tekrar takip ederek, cihaza çıktığı noktadan geri döner.

Kullanılan retroreflektif hedefler farklılıklar gösterir, ancak en yaygın olan dairesel monteli retroreflektörlerdir (SMR). Işın cihaza geri döndüğünde, cihaz ile SMR arasındaki mesafeyi ölçen bir mesafe ölçüm sistemine gider. Mesafe ölçüm sistemi, interferometre veya mutlak mesafe ölçer (ADM) olmak üzere iki tipte olabilir [2].

Ek olarak, taşınabilir CMM'lerin fiyatları 30000 ile 50000 dolar arasında değişse de günümüzde Faro şirketinin uygulamaları ile 20000 doların altına inmiştir [4].

2.4.2.3 Mafsal Kollu CMM'lerin Tipik Uygulamaları

- Boyut Analizleri: Geometrik ve GD&T analizleri için ölçümlerin gerçekleştirilmesi
- CAD Tabanlı Kontrol: Gerçek zamanlı sapmaların tespit edilmesi için doğrudan CAD verilerine göre ölçüm yapılması
- Makine Üzerinde Kontrol: Parçaların doğrudan makine üzerinde kontrol edilmesi
- Hizalama: Göreceli konumlardaki değişimin değerlendirilmesi için parçaların hizalanması
- Tersine Mühendislik: Her yüzeyi belirlenmiş CAD modellerin elde edilmesi için parçaların ve nesnelerin sayısallaştırılması [2].

2.4.2.4 Lazerli CMM'lerin Tipik Uygulamaları

- Hizalama: Nesne konumlandırılması için gerçek zamanlı geri beslenme
- Montaj: Makine temelini yerleştirilmesi/dengelenmesi
- Parça Kontrolü: Gerçek ve nominal değerlerin dijital olarak kaydedilmesi
- Cihaz Kurulumu: Cihazların yalnızca tek bir kişi tarafından kurulması ve kontrol edilmesi
- Tersine Mühendislik yüksek doğruluk düzeylerine sahip dijital tarama verilerinin elde edilmesi [2].

2.4.2.5 Avantajlar ve Karşılaştırma

- Taşınabilir CMM'ler, klasik CMM'lerin tüm avantajlarıyla birlikte daha yüksek bir esnekliğe sahiptir.
- Ağırlıkları düşüktür ve bu nedenle ölçüm yapılması gereken her yerde kullanılabilir(makine parçaya gider).
- Kontrollü bir ortam oluşturulmasına gerek yoktur ve ayrıca kullanımı oldukça basittir.
- Oldukça yüksek doğrulukta sonuçlar sağlar ve birçok ortamda çalıştırılabilecek kadar sağlamdır.
- Taşınabilir CMM'ler ayrıca klasik bir CMM'den çok daha ucuzdur [2].

Taşınabilir CMM kullanmak daha az hurda, daha kısa ölçüm zamanları, ve daha gelişmiş ürün kalitesi sonuçlarını getirir (Firmaların yaptıkları taşınabilir CMM masrafı 12 ayda kendini amorte edebilir) [5].

Taşınabilir CMM'ler, güç santrali türbin kanatları gibi ,sabit ve alışlagelmiş bir CMM'e götürmek için çok büyük olan parçaların ve üretim hattından çıkarmadan küçük parçaların ölçümünde kullanılırlar [6].

Dezavantajları maliyet ve doğruluk olsa da, bu yönlerde de gün geçtikçe gelişmeler görülmektedir. Bu da değişik kol tasarımları ve eklenen yeni yazılım özellikleri ile sağlanmaktadır [6].

2.4.2.6 Tarihi

Mafsal kollu CMM'lerin hikayesi 1970'lerin başında Romer firmasının kurucusu da olan Homer Eaton'un gerçekleştirdiği orijinal Vektör 1 boru ölçüm kolu ile başlar. Bu buluş Eaton'un hayal gücüne, yüksek okul hayatında garajında egzost boruları bükmesiyle girmiştir. Orijinal patent 18 Nisan 1974'te 3,944,798 patent numarasıyla verilmiş ve Homer Eaton'u Mafsal kollu CMM tiplerinin isim babası yapmıştır [7].

Bu buluşun sadece borulara değil, diğer cisimlere de uygulanmak istenmesi ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, özellikle dizüstü bilgisayarların icadıyla, bu patent daha ileri götürülmüştür. Zaten 1986'da da Homer Eaton ve Romain Granger ortaklığında, bu tip ölçüm cihazlarını geliştirerek üretecek Romer firması kurulmuştur. Aşağıda 3,944,798 numaralı patent kısaca açıklanmıştır [8].

Bu patent bükülmüş boru örneğine dayanmaktadır. Bükülmüş örnek bir borunun detayları ölçülerek, diğer imal edilecek borulara bir zemin oluşturmak amaçlanmaktadır.

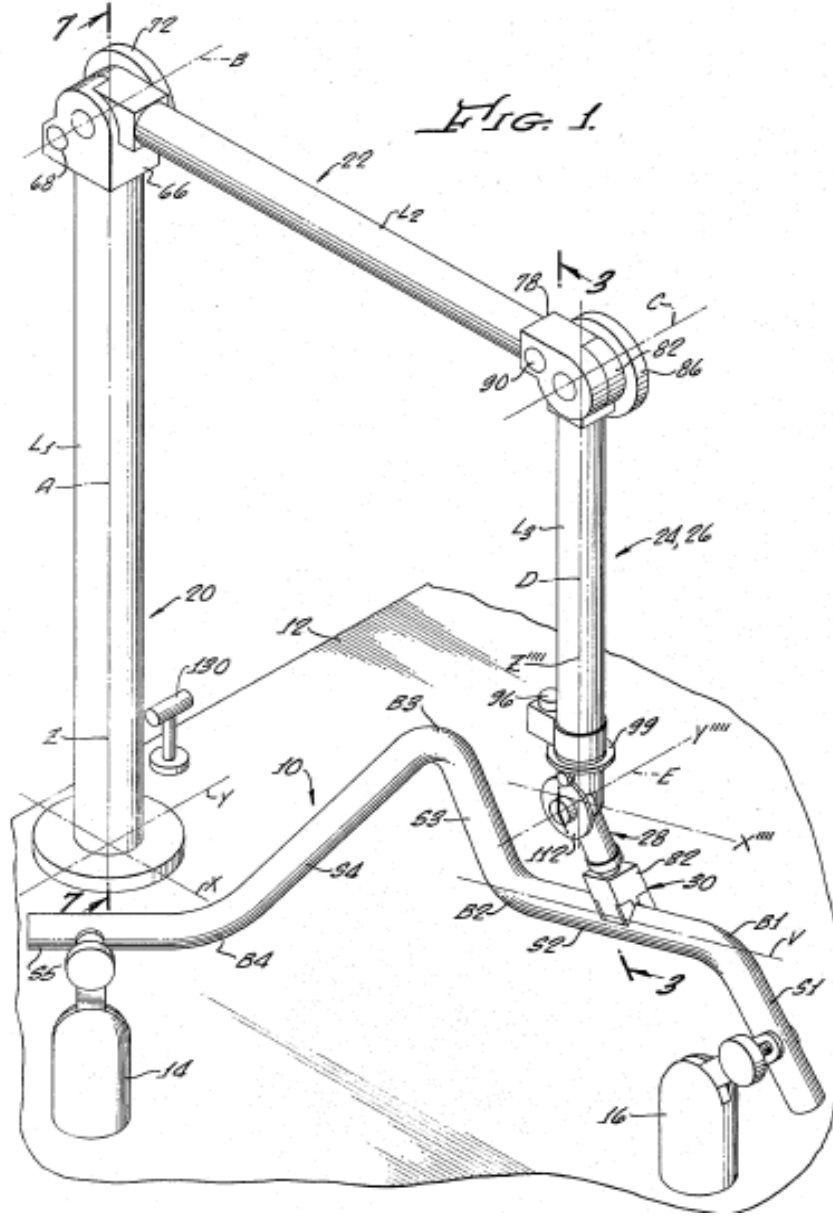
Şekil 2.5'e göre bükülmüş örnek bir boru 10 bir desteğe veya çalışma masasına 12 bir çift kelepçe 14, 16 ile bağlanır. Bu bağlanma istenilen konumda olabilir. İnceleme ve imalat gibi bir çok amaç için borunun 10 önemli parametrelerinin ölçümü arzu edilir. Bu parametreler borunun düz kısımlarının S1, S2, S3, S4 ve S5 uzunlukları, bu kısımlar arasındaki açı, borunun baştan sona uzunluğu ve boru kıvrımlarının B1, B2, B3 ve B4 her birinin yüzeyidir. Bu parametreler, geri yaylanma ve başka etkenler göz önüne alınarak yapılacak düzeltmelerden sonra, bir otomatik boru bükme makinasına komutları hesaplamak veya imal edilmiş parçaların doğruluğunun kontrolünü sağlayacak bir bilgisayarı beslemek için kullanılabilir.

Şekil 2.5'e göre, birinci kol 20 masaya 12 bir A ekseni etrafında dönecek şekilde yerleştirilmiştir. İkinci bir kol 22 birinci kol 20'ye A eksenine dik olan ikinci bir eksen B etrafında dönecek şekilde bağlanır. Şekil 2.5'e göre de bu bağlantılar 5 dönme ekseni ve 5 kol olacak şekilde sıralanırlar. İkinci, üçüncü ve beşinci kollar komşu kollara göre 360°'ye yakın bir dönüş sağlarlar. Birinci kol 20 ve dördüncü kol ise tam 360° dönme özelliğine sahiptirler.

Beşinci kola 28 sabit şekilde bağlı bir çalışma kafası 30 bulunmaktadır. Bu çalışma kafası 30 V-şekilli bir oluğa sahiptir ve borunun kısımlarına oturur. Böylece çalışma kafasıyla ölçülecek yönün arasındaki açısal ilişki saptanır.

Gösterilen borunun 10 bir dizi ölçümü için, çalışma kafası 30 V- şekilli oluşuyla borunun 5 kısmına da temas eder. Her bir düz kısımda bir temas ve bir ölçüme ihtiyaç duyulur. İlk temas, çalışma kafasının S1 kısmının sonuna dokunmasıyla oluşur. Yalnızca çalışma kafasının boruyla teması ile bile çalışma kafasının yön eksenini borunun eksenine paralel hale gelir ve yön ölçümü tamamlanmış olur. Bu işlem orta noktalarına gelecek şekilde S2, S3 ve S4 kısımlarına da uygulanır. Aynı süreç S5 'in sonu için de yapılır. S2, S3 ve S4'ün ölçümü için üzerlerinde bir nokta ve borunun kısımlarının yönünün bilinmesi yeterlidir. S1 ve S5 için ise yön dışında son noktaları belirlenir. Ayrıca, S1'in ölçümü yapılırken; bir yüzey, örneğin çalışma kafasının yüzeyi 32 S1'in son serbest yüzeyine dokunur. Yüzey 32'nin eksen çizgisi 28'e uzaklığı bilindiği için, S1 kısmının sununun koordinatları belirlenebilir. Aynı işlem diğer uç kısım S5'e de uygulanır. Yalnız bu sefer çalışma kafasının zıt yüzeyi, ilk kola 20'ye yakın olan yüzey kullanılır. Bu yüzey S5'in son yüzeyine dokunur.

Bir yönün ve / veya bir noktanın koordinatlarının pozisyonunu ölçmek için 5 açı okunur. Bu açılar kolların A, B, C, D ve E eksenleri etrafında dönmesiyle oluşan açılardır. Birinci açı transdüseri ilk kol 20'nin masa 12'ye göre dönme açısını verir. İkinci bir açı transdüseri ise kol 22'nin kol 20'ye göre dönme açısının okunmasını sağlar. Üçüncü, dördüncü ve beşinci açı transdüserleri de üçüncü, dördüncü ve beşinci kolların, sırasıyla ikinci, üçüncü ve dördüncü kollara göre dönüş açılarını verir. Açı veya açısal hareket transdüserleri transdüser elemanlarının bilinen bir dizi şekline sahiptir. Böylece bir açısal konum girişi bir elektriksel çıktıya dönüştürülür ki, bu çıktı da ölçülecek açısal yer değiştirmeyi verir. Bu elektriksel sinyallerin sırasıyla sunduğu çeşitli açılarla birlikte, çeşitli kolların bilinen uzunlukları; yön açılarını veya çalışma kafasının yönünün ekseninin doğrultu kosinüslerini ve koordinat pozisyonunu verir. Doğrultu kosinüsleri ve koordinat pozisyonları masa yüzeyine paralel bir yüzeydeki X ve Y eksenlerine sahip bir referans koordinat sisteminde tanımlanır. Bu sistemde X Y düzlemine dik bir Z eksenini bulunur ve Şekil 2.5'e göre bu eksen A dönüş eksenine denktir.



Şekil 2.5 İlk Mafsal Kollu CMM Örneği

2.4.2.7 Taşınabilir CMM'leri Üreten Firmalara Kısa Bir Bakış

2.4.2.7.1 Hexagon Metroloji

Hexagon firmasının Romer ismi altında 4 çeşit taşınabilir koordinat ölçüm cihazı mevcuttur: Absolute Arm- 6 Axis, Absolute Arm- 7 Axis SE, Absolute Arm- 7 Axis SI, Multigage.

Bunlardan biri örnek olarak aşağıda verilmektedir.

Teknik Detaylar:

Model	Ölçüm Aralığı	Proben Nokta Tekrarlanabilirliği	Proben Hacimsel Doğruluğu	Kol Ağırlıkları
7315	1.5 m / 4.9 ft.	± 0.025 mm / 0.0010 in.	± 0.037 mm / 0.0015 in.	7.1 kg / 15.6 lbs.
7320	2.0 m / 6.6 ft.	± 0.030 mm / 0.0012 in.	± 0.042 mm / 0.0017 in.	7.4 kg / 16.3 lbs.
7325	2.5 m / 8.2 ft.	± 0.038 mm / 0.0015 in.	± 0.051 mm / 0.0020 in.	7.7 kg / 17.0 lbs.
7330	3.0 m / 9.8 ft.	± 0.065 mm / 0.0026 in.	± 0.095 mm / 0.0037 in.	8.0 kg / 17.6 lbs.
7335	3.5 m / 11.5 ft.	± 0.095 mm / 0.0037 in.	± 0.130 mm / 0.0051 in.	8.3 kg / 18.3 lbs.
7340	4.0 m / 13.1 ft.	± 0.120 mm / 0.0047 in.	± 0.149 mm / 0.0059 in.	8.6 kg / 19.0 lbs.
7345	4.5 m / 14.8 ft.	± 0.150 mm / 0.0059 in.	± 0.170 mm / 0.0067 in.	8.9 kg / 19.6 lbs.

Model	Ölçüm Aralığı	Probun Nokta Tekrarlanabilirliği	Probun Hacimsel Doğruluğu	Kol Ağırlıkları
7520	2.0 m / 6.6 ft.	± 0.016 mm / 0.0006 in.	± 0.023 mm / 0.0009 in.	7.7 kg / 17.0 lbs.
7525	2.5 m / 8.2 ft.	± 0.020 mm / 0.0008 in.	± 0.029 mm / 0.0011 in.	8.0 kg / 17.6 lbs.
7530	3.0 m / 9.8 ft.	± 0.033 mm / 0.0013 in.	± 0.049 mm / 0.0019 in.	8.3 kg / 18.3 lbs.
7535	3.5 m / 11.5 ft.	± 0.043 mm / 0.0017 in.	± 0.061 mm / 0.0024 in.	8.6 kg / 19.0 lbs.
7540	4.0 m / 13.1 ft.	± 0.061 mm / 0.0024 in.	± 0.075 mm / 0.0030 in.	8.9 kg / 19.6 lbs.
7545	4.5 m / 14.8 ft.	± 0.070 mm / 0.0028 in.	± 0.082 mm / 0.0032 in.	9.2 kg / 20.3 lbs.



Şekil 2.6 Absolute Arm- 6 Axis

Özellikler [9] :

1. Eksenler etrafında Patentli Sonsuz Dönme özelliği, zor ulaşılabilir ölçüm alanlarına erişim sağlar. Bu sırada kolun dönел engellere takılması önlenmiş olur.
2. Kinematik Prob Bağlantısı Köprü (Bridge) CMM'lerde de kullanıldığı gibi problemlerin yeniden bağlanmasını sağlar. Bu sırada yeniden kalibrasyona ihtiyaç duyulmaz.
3. Başlık (Compact Head) kolay (1) tutlur ve parçaları incelemek için veya "mouse modunda" (2) software ile iletişim kurmak için kullanılır.
4. Bağlantı Çeneleri (Patentli Spin Grips), operatörün elinde iken, operatörün koluna gelen yükü azaltır ve bu sırada doğruluğu ve tekrarlanabilirliği arttırırken kullanıcı yorgunluğunu en aza indirger.
5. Mutlak enkoderler genel doğruluğu iyileştirir ve karışık sıfırlama (homing) işlemlerini elimine eder.
6. Uzay teknolojisinde kullanılan Karbon Elyaf Tüpler hafif ve rijit bir yapı ve ısı dayanım sağlamaktadır.
7. Aşağı Pozisyon Dengeleyicisi (Low Profile Zero-G Counterbalance) daha kolay bir kontrol için kolun ağırlığını dengelemektedir.
8. Dengeleyicinin (Counterbalance'ın) altındaki entegre edilmiş tutma yeri ve kaldırma noktası kolay taşıma getirir.
9. Sisteme kullanım sürecinde çeşitli gelişmiş modüller(Future Packs) eklenebilir: WiFi bağlantısı, pil gücü(4) vb.
10. Genel diş açılmış yuvalı temel değişik yapılara uyabilir ve magnetik özellikler de içerebilir.

2.4.2.7.2 Faro

Bu pazarın en önde gelen kuruluşlarıdır. Ürünleri Faro Arm, Scan Arm, Faro Gage vb. gibidir. Ürünlerinden bazılarının teknik özellikleri aşağıda verilmektedir [10].

	Çalışma Kapasitesi (M) ▶				
	<=1.8 M	<=2.4 M	<=2.7 M	<=3 M	<=3,7 M
Edge	0.024		0.029		0.064
Fusion	0.036	0.043		0.074	0.104
Edge ScanArm	0.069		0.076		0.126

▲ Doğruluk (mm)

Çizelge 2.1 Faro Teknik Özellikler

Kısaca Edge modeli açıklanırsa;

Edge piyasadaki mevcut en ileri teknolojiye sahip FaroArm modelidir. Diğer ölçüm kollarından en büyük farkı entegre bir kişisel ölçüm asistanı sunan dahili dokunmatik ekrana ve işletim sistemine sahip olmasıdır. FARO Edge taşınabilir metroloji alanında sahada tek başına ölçüm olanağı sunan bir cihaz olarak devrim yaratır. Hız gerektiren basit ölçüsel kontroller veya sistem performansı optimizasyonu için dahili diagnostik şablonları sayesinde laptop kullanımı gerekmez. FARO Edge ile üretim, kalite ve tersine mühendislik prosesleri, parçaları hızla doğrulayarak veya yüksek hassasiyet ve güvenle tarayarak iyileştirilebilmektedir [11].



Şekil 2.7 FaroArm Edge

2.4.2.7.3_Axila 8 Boyutlu

2000’de Amerika pazarına sunulan Axila Orbital ürünü, pazarda ilk 8-eksenli taşınabilir CMM’dir. Orbital, büyük hacimli muayeneler için amaçlanıp tasarlanmıştır. 20 feet’lik (6096 mm) bir parçayı 0.006 inch’lik (0,15 mm) bir standart sapma ile direk olarak atölyede ölçebilir. Yerel doğruluğu 2.5 m’lik bir hacimde 0.003 inch’in (0.07mm) altındadır. Orbital, “Arm 100” diye adlandırılan altı eksen taşınabilir CMM kolu kullanır. Ek iki eksen ölçme boyunu 20 feet’e kadar çıkartabilecek bir koldan uzanır [6].

2.4.2.7.4 Zett Mess

Zett Mess ürünleri, standart ve hassas olarak iki sınıfa ayrılırlar ve 47,201 inch’ten 141.732 inch’e kadar uzanan ölçüm çaplarına sahiptirler. 6 uzunlukta olan standart versiyon 0.0039 inch’ten (0.099 mm) 0.0137 inch’e (0.34 mm) kadar uzanan 2 sigma doğruluğuna sahiptir. 6 uzunlukta olan diğer bir versiyon, hassas versiyon ise 0.00071 inch’ten (0.018 mm) 0.0029 inch’e (0.074 mm) kadar uzanan 2 sigma doğruluğuna sahiptir. Ayrıca bu tip taşınabilir ölçüm cihazları, kolu her türlü pozisyonda donduracak bir pnömatik frenleme sistemi içerir ki bu da doğruluğa katkı sağlar [6].

2.4.2.7.5 Brown & Sharpe

Brown & Sharpe's Gage 2000A 4 feet'ten 12 feet'e kadar bir ölçüm alanına sahiptir ve bir küre, bir dokunma trigger (tetikleme) veya nokta prob aracılığıyla ölçüm verilerini tespit eder. Bu cihazların standart, gelişmiş veya ultra doğruluk gibi versiyonları olabilir ve altı ve yedi eksenli düzenlemelere sahiptirler. Zıt dengelenmiş bir mafsallı kol ve ergonomik tasarlanmış tutma ucu içerirler [6].

2.4.2.8 Tez Konusunda Yapılan Pratik Çalışmalar:

Taşınabilir ölçüm cihazları ile ilgili önce Repkon A. Ş. / Şile – İstanbul firması ziyaret edilmiş ve burada mafsal kollu CMM incelenmiş ve ölçüm uygulamaları yapılmıştır.



Şekil 2.8 Repkon'daki Tatbikat



Şekil 2.9 Mafsal Kollu CMM

Ayrıca, ölçüm sistemleri ile ilgili bilgi edinmek ve uygulamaları itibarıyla aralarında karşılaştırmalar yapabilmek amacıyla Coşkunöz A. Ş. / Bursa firmasında CMM ve Lazer izleyici (Laser Tracker) cihazlarının kullanımı denenmiştir. Arka planda, kalıp ölçümleri ile ilgili uygulamanın yapıldığı CMM cihazı görülmektedir.



Şekil 2.10 Lazer Tracker Tatbikatı



Şekil 2.11 CMM ve Lazer Tracker

Bunların dışında pazarın en önde gelen firmalarından Faro'nun fuar standlarına ve seminerlerine katılmış ve yöntemin işleyişi hakkında buradaki yetkililerle tartışılıp fikir alışverişinde bulunulmuştur.

2.4.2.9 Mafsal Kollu CMM'lerin İşleyişine Örnek

Mafsal kollu CMM öyle tasarlanır ki, ölçme probu serbestçe belirli bir hacim içinde hareket edebilsin. Bu arada kullanıcının kolu kolayca ve küçük kuvvetlerle hareket ettirebilmesi için bir denge sistemine gerek vardır. Bunun bir yolu kol bileşenlerine karşıt yük yerleştirmektir. Diğer bir yöntem de yay gücü veya gaz silindiri kullanmaktır.

Dış bir ölçüm alanına göre, içsel noktaların referans alınması için, ölçüm alanında referans noktaları alınması gerekir. Bu referans noktalarının dış koordinat sistemindeki yeri bilinmektedir. Bu tip bir CMM'in alt desteği ölçüm alanında nereye yerleştirilirse yerleştirilsin, referans noktaları bir ağ oluşturacak şekilde gerçekleştirilir ki, CMM ölçüm kolunun probu en az üç belirlenmiş referans noktasına ulaşır. CMM ölçüm kolunun en az üç referans noktası ölçmesi, alt desteğin dış koordinatlardaki yerinin yeniden hesaplanmasını sağlar. Böylece, yüzey noktalarının ölçülen herhangi bir iç konumu dış koordinat sistemine göre referans edilebilir.

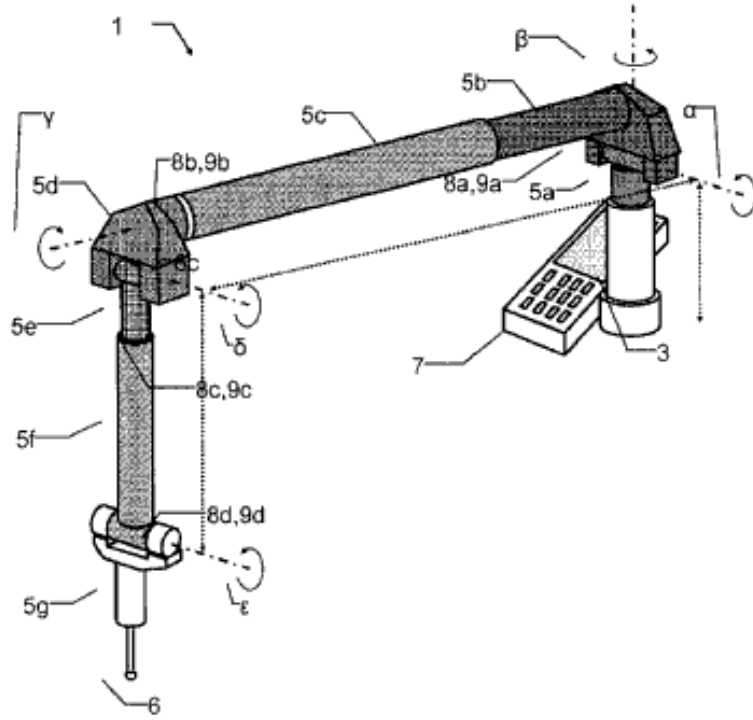
CMM kolu, dış koordinat sisteminde referans edilmiş bir dış vektöre (özellikle yer çekimi vektörüne) göre olan bir eğim ölçüsü için bir eğimölçer (inklinometre) içerir. Ölçülen eğime bağlı olarak, ilk eğimölçer bir elektronik eğim değeri sağlar. Bu eğim, ölçüm konumunun dış koordinat sisteminde referans edilmesi için kullanılır.

Kullanılan eğimölçer tipleri ivme ölçerler (accelerometre'ler), liquid capacitive tilt sensörleri, elektrolytic tilt sensörleri ve optoelektronik tilt sensörleridir. Destek yüzeyi ve alt desteğin eğimindeki küçük değişimler bile, özellikle büyük ölçme kollarında, büyük ölçüm hatalarına neden olur. Bu yüzden yüksek derecede hassas ve doğru eğimölçerlerin kullanılması öngörülür.

Yatay düzleme göre iki yönde de eğim değerlerinin ölçülebilmesi için, ilk eğimölçer iki eksenli eğimölçer olarak ölçülür.

Alışlagelmiş yöntemde alt desteğin destekleme yüzeyine dik olduğu ve destekleme yüzeyinin eğiminin değişmediği kabul edilirdi. Buna zıt olarak son zamanlardaki gelişmelerle alt desteğin dış bir yatay yüzeye göre konumu ölçülür ve iç ve dış koordinat sistemleri arasındaki kesin ve gerçek bağıntı türetilir.

Şekil 2.12 mafsal kollu CMM’i göstermektedir. 3 numaralı alt desteğe 5a - 5g kolları birbirlerine 8a – 8d bağlantıları ile bağlıdır. Böylece kol bileşenleri 5a -5g birbirlerine karşı hareketlidirler [12].



Şekil 2.12 Kol Elemanları

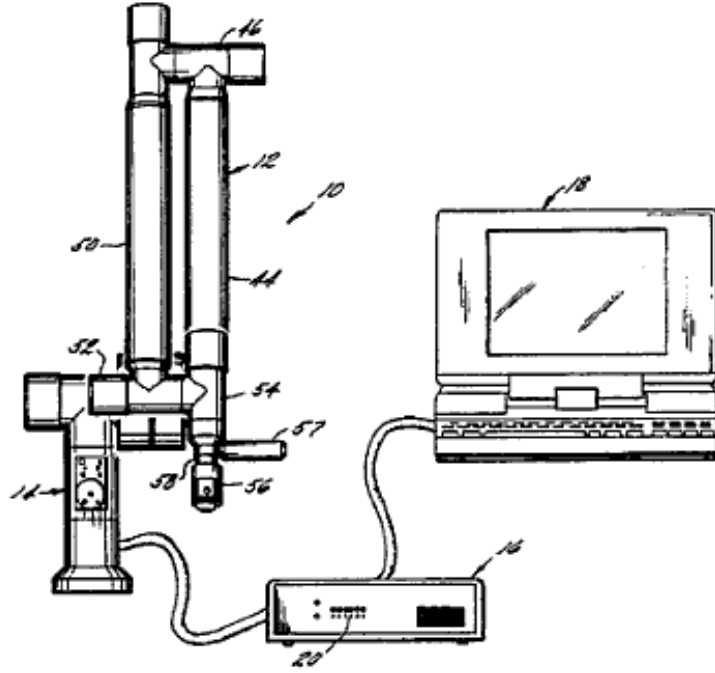
Birinci kol bileşeni 5a alt destek 3'e bağlıdır ve ona karşı hareketlidir. İkinci kol bileşeni 5b 5a ile bağlıdır ve ona karşı hareketlidir. Bu işleyiş böyle devam eder. Son kol bileşeni 5g mafsal kollu CMM'in sonunu oluşturur ve ucunda bir prob 6 vardır. Bu prob belirli bir hacim içerisinde serbestçe hareket ettirilebilir.

Ayrıca, en az bir tane algılayıcı birim 9a – 9d, her bağlantı 8a – 8d'ye yerleştirilmiştir. Bu algılayıcılar, 8a - 8d bağlantılarının birbirlerine göre bağıl konumlarını ölçer. Örneğin algılayıcı birim olarak, iki kol bileşeni arasındaki gerçek açıları ölçmek için optoelektronik açı sensörler kullanılabilir.

2.4.2.10 Lazer Tarayıcı (Laser Scanner): Cihazın Tasarımı

Şu anda taşınabilir mafsal kollu CMM'ler bir host bilgisayar ve software uygulamaları içeren bir ölçüm sistemidir. Mafsal kollu CMM'ler genel olarak, bir cisim üzerindeki noktaları ölçmek için kullanılır ve bu noktalar host bilgisayarda kayıtlı CAD (Computer Aided Design) verileriyle karşılaştırılır. Böylece cismin CAD özellikleriyle uyumluluğu belirlenir. Başka bir deyişle; CAD verisi, mafsal kollu CMM tarafından yapılmış ölçümlerin karşılaştırıldığı referans veridir. Host bilgisayar, inceleme süreci içinde operatöre yol gösterecek software uygulamaları da içerebilir. Karışık (komplike) uygulamalar içeren bir çok durumda, kullanıcı yazılımdaki kompleks seçenekleri uygulayarak, host bilgisayardaki üç boyutlu CAD verisini gözlemler.

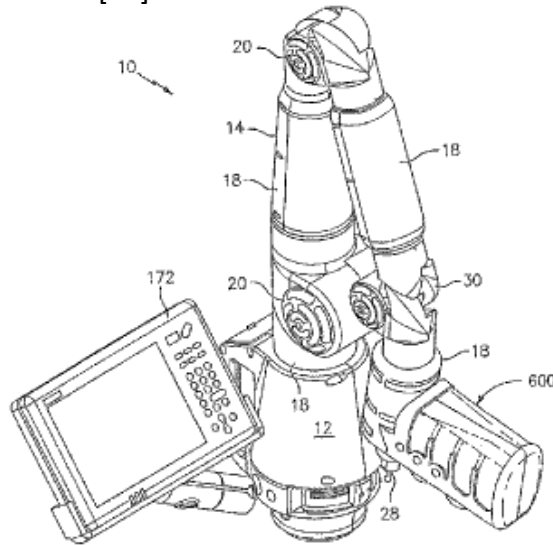
İlk tip taşınabilir CMM'lerin bir örneği U.S. Patent no 5,402,582'de verilmiştir (Şekil 2.14). Bu patent alışlagelmiş üç boyutlu ölçüm sistemi içerir. Bu sistem bir ucunda bir destek altlığı, diğer ucunda bir ölçüm probu olan elle kontrol edilebilen çoklu bağlı bir mafsal kollu sistem içerir [13].



Şekil 2.14 Mafsal Kollu CMM Sistemi

Önceki tip cihazlar, uzayda bir seferde sadece bir noktayı ölçme kabiliyeti ile sınırlıydılar. Tek nokta problemlerini yerine bir çizgi Lazer Tarayıcı ve change - coupled device CCD kullanılması ile cismin üzerindeki noktaların yeri aynı anda ölçülebilir. Böyle eski bir tip ürün örneği Perceptron of Plymouth, Mich tarafından imal edilmiş olan ScanWorksTM'tur. Fakat, böyle önceki tip cihazların özellikleri halen var olan mafsal kollu sistemlere uygulanabilir ve harici, tarayıcıdan host bilgisayara kadar uzanan yüksek bant genişliğinde veri bağlantıları gerekir. Böylece hem CCD, hem de güç sağlayıcıya olan harici bağlantılar tarafından oluşturulmuş imaj verisi yorumlanabilir. Böylece elektrik bağlantıları kollu CMM'lerin mahfazasının dışına çıkar. Ayrıca tek nokta probunun lazer tarayıcı ile değiştirilmesi sonucu yüksek doğrulukta tek nokta probunun etkinliği kaybolur veya azalır.

Güncel icada göre, bir taşınabilir CMM birbiriyle bağlantılı kolelemleri ve uçta bir ölçüm probundan oluşan bir mafsal kol sistemi içerebilir. (Şekil 2.17) Bu prob, entegre edilmiş dönebilen veya yerine yerleştirilmiş bir lazer tarayıcı'dır. Lazer, sıcaklıkla kararlı kılınmış lazerdir. Ek olarak, ölçüm probu entegre edilmiş bir touch trigger (dokunma tetkleyici) prob içerir ki, böylece alışılmış bir proba dönüştürülebilir. Ölçüm probu ayrıca gelişmiş anahtar(switch)lar ve ölçüm gösterme ışığı içerir. Bu gelişmiş switchler, yüzey yapısındaki ve / veya yükseklikteki değişimlerin operatör tarafından fark edilmesini sağlar. Bu özellik, daha kolay kullanım için terciha bağlı renkle kodlanmış gösterici ışıkla kullanılabilir [16].



Şekil 2.17 Lazer Tarayıcı CMM Sistemi

ÖLÇME BELİRSİZLİĞİ

3.1 Ölçme Belirsizliği

Ölçme sonucu ile bağlantılı olan, ölçülen mamul, bir şekilde atfedilebilen değerlerin dağılımını karakterize eden parametre.

Not 1 - Parametre mesela, bir standart sapma (veya bunun belli bir katı) veya belirli bir güven seviyesine sahip olan aralığın yarısı olabilir.

Not 2 – Ölçme belirsizliği, genellikle, çok fazla bileşeni kapsar. Bu bileşenlerden bazıları seri ölçümlerinin sonuçlarının istatistik olarak dağılımından elde edilebilir ve deneysel standart sapmalar karakterize edilebilir. Standart sapma, karakterize edilen diğer bileşenler, tecrübeye veya diğer bilgilere göre, kabul edilen olasılık dağılımlarından elde edilebilir.

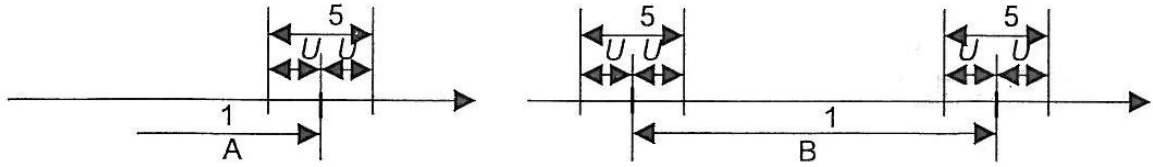
Not 3 – Anlaşıyor ki ölçüm sonucu, ölçülen büyüklüğün en iyi tahmin değeri olduğu, düzeltmeler referans standartlarla ilgili bileşenleri gibi sistematik etkilerden kaynaklananlar dahil belirsizlik bileşenlerinin dağılımına katkıda bulunmaktadır.

3.1.1 Belirsizlik aralığı

Ölçme belirsizliği dikkate alındığında, özellik sınırına / sınırlarına yakın olan uygunluğun veya uygunsuzluğun anlaşılmadığı aralık / aralıklar

Not 1 – Belirsizlik aralığı / aralıkları özellik sınırı etrafında (tek taraflı özellik) veya özellik sınırları etrafında (iki taraflı özellik) yer almıştır ve genişliği $2 \times U$ kadardır.

Not 2 – Ölçme sonucunun üst ve alt tarafındaki ölçüm belirsizliği farklı büyüklüklerde olabilir.



Şekil 3.1 Belirsizlik Aralığı

Açıklama:

A Tek taraflı özellikler

B İki taraflı özellikler

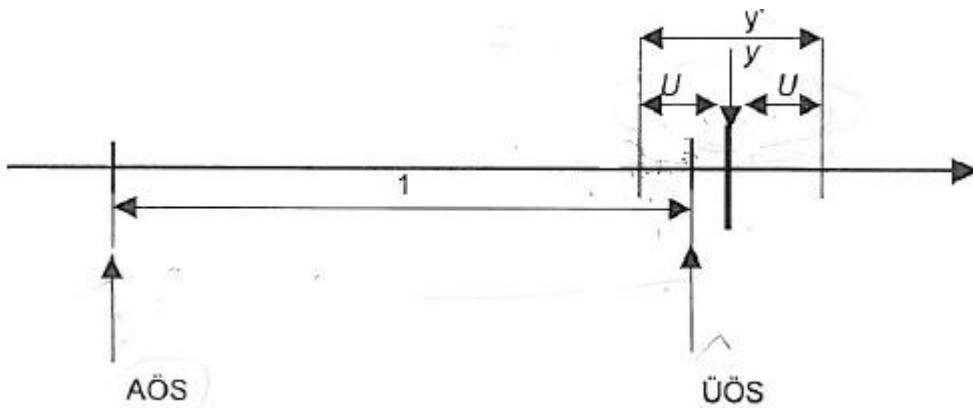
1 Özellik bölgesi

5 Belirsizlik aralığı

3.1.2 Belirsizlik Bölgesi

Ölçme sonucunun tam ifadesi, (y') AÖS veya ÜÖS (Şekil 10) özellik sınırlarından birini; iş parçası tolerans sınırlarını veya ölçme donanımı müsaade edilen en fazla hatasını, ihtiva ettiğinde; özelliklere uygunluğu veya uygunsuzluğu kanıtlanamaz.

$$y - U < \text{AÖS} < y \quad \text{veya} \quad y - U < \text{ÜÖS} < y + U$$



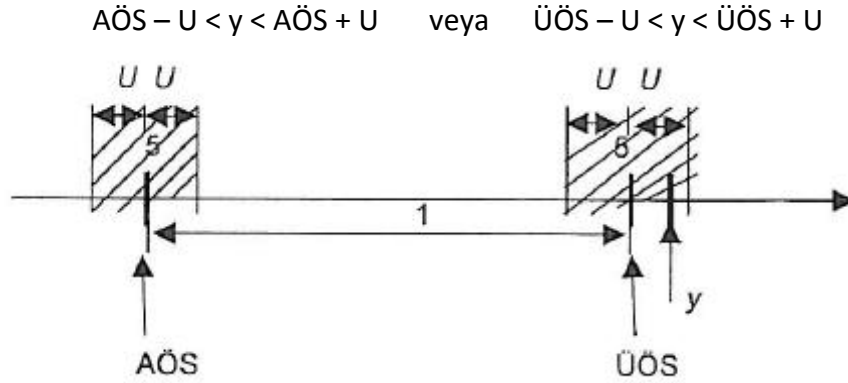
Şekil 3.2 Özelliğe uygunluğun ve uygunsuzluğun kanıtlanamaması

Açıklama

1 Özellik bölgesi

$$(y - U < \ddot{U}\ddot{O}\ddot{S} < y + U)$$

Ölçme sonucu (y), belirsizlik aralıklarından birine denk gelirse aynı durum orttaya çıkar (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Özelliğe Uygunluğun ve Uygunsuzluğun Kanıtlanamaması

Açıklama:

1 Özellik bölgesi

5 Belirsizli aralığı

$$(\ddot{U}\ddot{O}\ddot{S} - U < y < \ddot{U}\ddot{O}\ddot{S} + U)$$

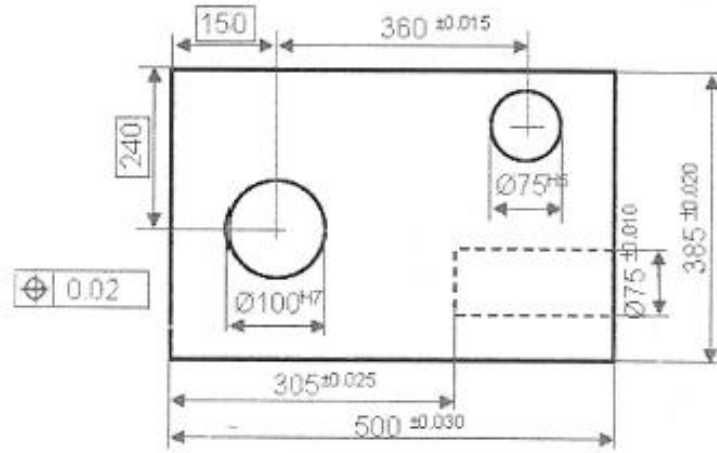
Belirsizlik aralığı gerçek genişletilmiş belirsizlikle, (U) doğrudan bağlantılıdır.

Sonuç olarak, iş parçası veya ölçme donanımı otomatik olarak kabul edilemez veya reddedilemez [17].

3.1.3 E ve P'nin Uygulanması

Hacimsel Uzunluk Ölçümü Hatası E (Şekil 3.4) bu ölçümlere uygulanır:

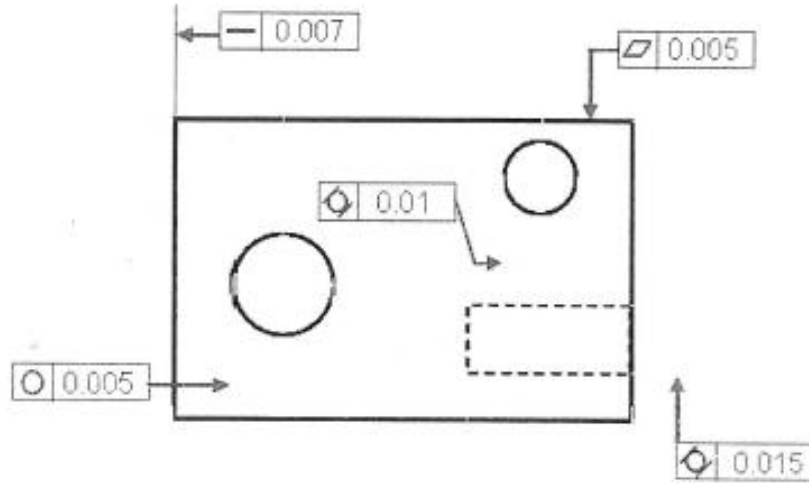
- Mesafeler
- Çaplar
- Konum Toleransı



Şekil 3.4 Hacimsel Uzunluk Ölçümü Hatası E'ye Örnek

Hacimsel Dokunma Hatası P (Şekil 3.5) bu biçim ölçülerine uygulanır:

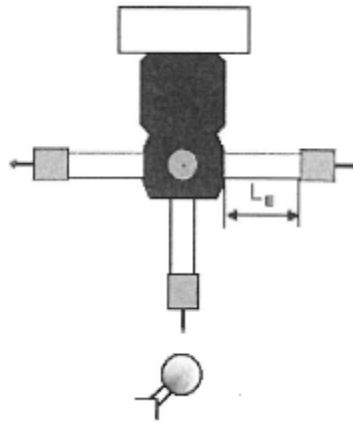
- Bağımsız Biçim Toleransları
- Çizgisellik
- Düzlemsellik
- Yuvarlaklık
- Silindiriklik



Şekil 3.5 Hacimsel Dokunma Hatası B'ye Örnek

3.1.4 E ve P'nin Uygulanmasının Açıklanması

Mafsal kollu dokunma sistemi



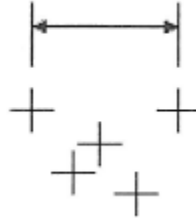
Şekil 3.6 Test İşlemi

Bu işlemde 5 dikey konumda her birinde proba 25 kere dokunmak suretiyle 125 ölçüm sonucu alınır (Şekil 3.6).

Değerlendirmeler:

Konum Hatası:

X, Y veya Z'deki 5 merkez koordinatının arasındaki en büyük fark (Şekil 3.7)



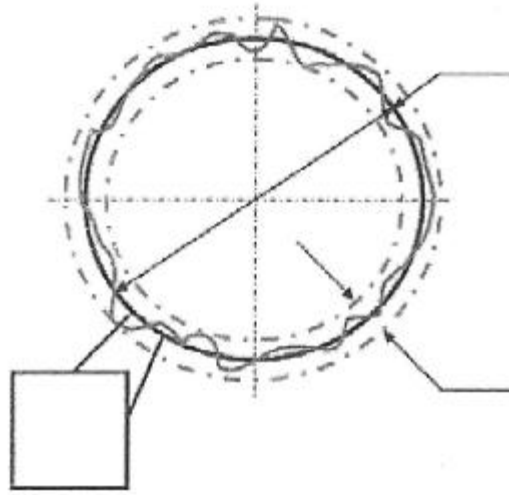
Şekil 3.7 Konumdaki En Büyük Fark

Büyükklük Hatası: (Şekil 3.8 üstteki ok)

Kalibre edilmiş çaptan sapma (125 noktanın hepsi)

Biçim Hatası: (Şekil 3.8 alttaki ok)

Hesaplanmış kürenin biçim hatası (125 noktanın hepsi) [18].



Şekil 3.8 Büyüklük ve Biçim Hataları Gösterimi

3.1.5 Yapısal Parametrelerin Ölçme Belirsizliğine Etkileri

Mafsal kollu CMM'lerin belirsizliğine sebep olacak en önemli etkenler yapısal parametrelerin hatalarıdır. Bu yüzden mafsal kollu CMM'lerin doğruluğunu saptamak için bu parametreler belirlenmelidir.

Çeşitli (değişik) yapısal elemanlara sahip olduklarından mafsal kollu CMM'lerin doğrulukları bilinen genel kartezyen CMM'lere daha düşüktür. Normal olarak, mafsal kollu CMM'lerin uzunluk ölçüm doğrulukları 0.1 mm – 0.5 mm arasındadır. ve ölçüm alanıyla yakından ilgilidir. Sonuç olarak mafsal kollu CMM'lerin kullanımı, doğruluğun çok yüksek olmasının gerekli olmadığı alanlarla sınırlıdır. Eğer mafsal kollu CMM'lerin doğruluğu geliştirilebilirse, bu cihazlar daha yaygın kullanım alanı bulacaktır [19].

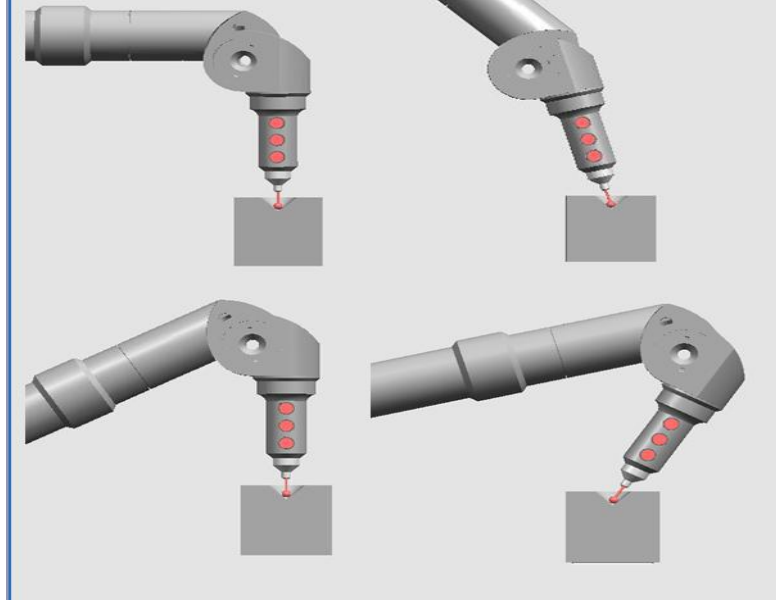
3.1.5.1 Parametrelerin Analizi

$$\theta_i = \theta_{iEnc} - \theta_{0i}$$

Bağlantı değişkeni θ_i , enkoderin okuduğu θ_{iEnc} ve bağlantı sıfır sıfır farkı θ_{0i} bileşenleriyle oluşur. θ_{0i} , enkoder fiziksel referans işaret pozisyonu ve kinematik modelde göz önüne alınabilecek bağlantının ilk pozisyonu arasındaki farktır.

3.1.5.2 Parametre Tanımlama Yöntemi

Mafsal kollu CMM'lerin çalışma uzayındaki her bir noktaya değişik yönlerden ulaşılabilir. (Şekil 3.9) Fakat, güncel yapısal parametrelerin, kinematik modeldeki parametrelere eşit olmamasından dolayı her zaman aynı koordinatları kesin olarak elde edemeyiz. Bu iki grup parametre arasındaki sapma büyüdükçe, mafsal kollu CMM'lerin tekrarlanabilirliği daha elverişsiz olacaktır. Eğer optimizasyon yöntemiyle güncel parametreler belirlenebilirse, parametre sapmasından hatalar da saf dışı bırakılabilir.



Şekil 3.9 Değişik Konumlarda Veri Alımı

Prob merkezinin yeri değiştirilmez ve N tane duruş şekli $S = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N]$ elde edilirse, mafsal kollu CMM'lerin bir duruş şekli $\phi = [\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6]^T$ biçimindedir. Her bir noktanın tekrarlanan hatası şu şekildedir:

$$E_i = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2 + (z_i - \bar{z})^2} \quad (3.1)$$

Ortalama tekrar hatası \bar{E} yardımıyla, tekrar hatasının standart sapması σ böyle hesaplanabilir:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i - \bar{E})^2} \quad (3.2)$$

Mafsal kollu CMM'lerin tek nokta tekrarlanabilirliği ise \bar{E} ve σ ile belirlenir:

$$RP = \bar{E} + 3\sigma \quad (3.3)$$

3.1.6 Deneysel Yöntemler

Matematiksel model parametrelerini belirlemek için; en son ölçüm hatasına etkiyen olası etkenler göz önüne alınmalıdır. Bu etkenler geometrik – kinematik model sebebiyle – ve geometrik olmayan başka faktörler – montaj, bağlantılardaki hasar ve hareket iletimi – olabilir. Geometrik ve geometrik olmayan hataları ayırt etmek için görevli model yaklaşımlarının bulunması robot kollarla ilgili bilimsel araştırmalarda sıkça geçen bir konu olsa da, hem robotlara, hem de mafsal kollu CMM'lere uygulanabilecek genelleştirilmiş başarılı bir bakış açısına ulaşamamıştır.

Deneysel testler için hata düzeltme teknikleri ve eklenmesinin uygulanması mafsal kollu CMM'lerle koordinat ölçümüne uygulanacak yazılımın gerçekleştirilmesi için ilk adımdır. Böylece; enkoder sürücüsüne bir kere entegre edildiğinde göz önüne alınan her bir kinematik model için, ölçülen nokta koordinatları ve probun konumlandırılmasını etkin bir yolla elde etmek için, bir temel oluşturulmuştur.

İki kürenin 3 boyutlu uzaklığı, ortalama nokta koordinatları göz önüne alınarak şöyle hesaplanabilir:

$$D_{i,jk} = \sqrt{(\bar{X}_{ij} - \bar{X}_{ik})^2 + (\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{ik})^2 + (\bar{Z}_{ij} - \bar{Z}_{ik})^2} \quad (3.5)$$

Burada $D^{i,jk}$ küre j ve mastarın küresi k'sı arasındaki i pozisyonundaki Öklid mesafesini belirtmektedir. Küre j ve küre k için noktaların ortalama koordinatları şöyle hesaplanabilir:

$$\bar{X}_{ij} = \frac{\sum_{m=1}^{n_{ij}} X(m)_{ij}}{n_{ij}} \quad (3.6)$$

Burada n_{ij} , ölçüm aletinin i pozisyonunda ve küre j için elde edilen açı kombinasyonlarının sayısını gösterir. Bu eşitlik Y ve Z koordinatları için de kullanılabilir. Bu durumda, D_{0jk} ölçüm aleti kalibrasyon tablosundan elde edilen, j ve k kürelerinin arasındaki nominal uzaklık olarak kabul edilirse, j ve k kürelerinin arasındaki i konumundaki uzaklığın hatası şu şekilde hesaplanabilir:

$$E_{i,jk} = \sqrt{(D_{i,jk} - D_{0,jk})^2} \quad (3.7)$$

$j = k$ şeklindeki sıralar elemine edilir ve $D_{i,jk} = D_{i,kj}$ olduğu göz önünde bulundurulursa; bütün ölçüm aleti konumlarında, uzaklıklardaki hata belirlenebilir. Bununla birlikte, ölçülen kürelerin her birinde saptanmış noktaların maksimum standart sapması böyle verilebilir:

$$2\sigma_{X_{ij}} = 2\sqrt{\frac{\sum_{m=1}^{n_{ij}} (X(m)_{ij} - \bar{X}_{ij})^2}{n_{ij} - 1}} \quad (3.8)$$

Burada σ_{xij} i konumunda ve j küresi için elde edilen noktaların X koordinatındaki standart sapmayı gösterir. Aynı işlem Y ve Z koordinatları için de uygulanabilir [20].

3.1.7 Test ekipmanları:

Uzunluk ölçme belirsizliği E' 'yi belirlemek için deneme cisimleri, referans uzunlukları veya uzunluk komperatörleri kullanılır.

Deneme Cisimleri

Blok veya adım mastarı: (Şekil 3.10)

- İki ayrı noktaya çift yönlü dokunuş
- Ortalama almaya gerek yok



Şekil 3.10 Blok veya Adım Mastarı Şematik Gösterim

$$E = L_a - L_r \cdot (+E_{ki})$$

$$E_{ki} \neq 0, \text{ if } \alpha < 2 \times 10^{-6} \frac{1}{K}$$

Uzunluk ölçüm belirsizliğinin hesaplanması

E: Uzunluk Ölçüm Hatası

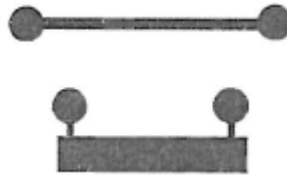
L_a : Gösterilen değer

L_r : Doğru değer

E_{ki} : Düzeltme değeri

Küre Çubuğu / Küre Kolu : (Şekil 3.11)

- Kürelere birçok dokunuş
- Böylece: ortalama alınması ve
- Sistemik hataların elemine edilmesi



Şekil 3.11 Küre Çubuğu / Küre Kolu Şematik Gösterim

$$E = SD + P_s + (\text{sgn}(SD + P_s)) \cdot P_f + E_{ki}$$

$$E_{ki} \neq 0, \text{ if } \alpha < 2 \times 10^{-6} \frac{1}{K}$$

Uzunluk ölçüm belirsizliğinin hesaplanması

SD: Küre mesafe hatası

P_s : Gösterilen çap hatası

P_f : Prob (dokunma) hatası

Demonte Edilebilir Küresel Çubuk : (Şekil 3.12)

- Kürelere çoklu dokunuş
- Böylece: ortalama alınması ve
- Sistemik hataların elemine edilmesi
- Sadece kısımlar kalire edilmektedir.



Şekil 3.12 Demonte Edilebilir Küresel Çubuk Şematik Gösterim

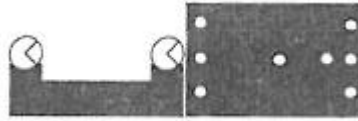
$$E = \sum SD_i + P_S + (\text{sgn}(SD + P_S)) \cdot P_F + E_{ki}$$

$$E_{ki} \neq 0, \text{ if } \alpha < 2 \times 10^{-6} \frac{1}{K}$$

Uzunluk ölçüm belirsizliğinin hesaplanması

Referans Uzunluklara Sahip Duvar / Küresel Yuvalı Çubuk: (Şekil 3.13)

- Deneme uzunluğuna tek taraflı dokunuş
- Sistemik hataların elemine edilmesi, fakat
- Ortalama almaya gerek yok



Şekil 3.13 Referans Uzunluklara Sahip Duvar Şematik Gösterim

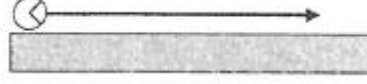
$$E = L_a - L_r + P_S \cdot (+E_{ki})$$

$$E_{ki} \neq 0, \text{ if } \alpha < 2 \times 10^{-6} \frac{1}{K}$$

Uzunluk ölçüm belirsizliğinin hesaplanması

Uzunluk Komperatörü: (Şekil 3.14)

- Deneme uzunluğuna tek taraflı dokunuş
- Sistemik hataların elemine edilmesi, fakat
- Ortalama almaya gerek yok



Şekil 3.14 Uzunluk Komperatörü Şematik Gösterim

$$E = L_a - L_r + P_S \cdot (+E_{ki})$$

$$E_{ki} \neq 0, \text{ if } \alpha < 2 \times 10^{-6} \frac{1}{K}$$

Uzunluk ölçüm belirsizliğinin hesaplanması [21]

4.1.1 Avantajları

-Doğruluk İhtiyacı:

Manuel CMM kollarında, önemli hatalar meydana gelebilir. Bunun nedeni operatörün kolu zorlaması, farklı tutuş pozisyonlarından kaynaklanan değişik momentler ve yerleştirilmiş zıt denge yüklerinin yataklarda oluşturduğu momentler olabilir. Kolun nasıl tutulduğundan bağımsız, hangi ölçümün daha doğru olduğunun bilinme sorunu olmadığı tekrarlanabilirliği daha yüksek bir manuel CMM kola ihtiyaç vardır. Ayrıca, insan hatasını ortadan kaldıracak daha doğru, otomatize edilmiş bir kalibrasyon işlemine de ihtiyaç vardır.

-Otomasyon İhtiyacı:

Optik problu manuel bir CMM kolu genellikle bir seferde saatlerce kullanılabilir. Bu sürenin uzun bölümünde, operatör, manuel CMM kolunu elverişsiz pozisyonlarda, kendisinden belirli bir mesafe uzaklıkta tutar. Böylece uzun kollarda kullanıcıya bir çok kilogram yük düşer. Bu zor bir iştir ve bir çok operatör, özellikle daha küçük insanlar için yorucudur. Operatör yorgunluğu genel bir sorundur ve hastalığa veya yaralanmaya yol açabilir. Manuel CMM kollarıyla gerçekleştirilen işin büyük kısmı, optik olarak bir kere muayeneye ihtiyaç duyan tek elemanlara yöneliktir. Sıklıkla, muayene edilen yüzeye erişilemeyebilir. Örneğin kolu yönlendirebilmek için, operatörün tırmanacağı dikilmiş geçici köprüler gerekebilir. Ayrıca scan probu taşıyan manuel CMM kollarda prob ve ölçülen cisim arasında bir hareket vardır ki, bu ölçümler her ne kadar yeterince doğru olsalar da, sistem kullanım bakımından yorucudur ve operatör hatası veya kolun zorlanması nedeniyle doğru olmayan veri çıktısı sağlayabilir.

-Kolay Erişim İhtiyacı:

Ölçülecek cisimlerin şekli ve hareketli bir madde üzerindeki probun erişebilirliği, uygulamadan uygulamaya değişir. Çok çeşitli biçimleri ölçecek şekilde yeterince esnek olan bir CMM arzu edilir. Pratikte 6 veya 7 bağlantı içeren bir mafsal kol sistemi, dikey eksenli CMM'lere göre daha esnektir. Fakat bu CMM'ler de otomatik mafsalı Robot kollara göre çok daha doğru ölçüm yapar. Ayrıca, bir üretim merkezindeki montaj hattına yerleştirilmesi bakımından, otomatik mafsalı Robot kollar daha uygundur.

Buradaki sorun hem mafsallı hem de yeterince doğru otomatik CMM makinalarının bulunmasının zor olmasıdır.

-Taşınabilirlik İhtiyacı:

Taşınabilir manuel CMM kolları, 1990'ların ortasından sonra yeterince doğru olmalarından itibaren 5000 civarında satılmıştır. Buna karşılık taşınabilir otomatik CMM kolu ihtiyacı vardır; fakat bu tasarım daha gerçekleştirilmemiştir.

-Sağlamlık İhtiyacı:

Manuel CMM kolları daha doğru ve daha az sağlamdır. Manuel CMM kollarının halen varolan tasarımları, kullanımda ve taşımada ortaya çıkacak darbeler, momentler ve kötüye kullanımlarla karşı karşıya kalacak hassas ölçüm sistemine sahiptirler. Bu sırada özellikle darbelerden olacak şekilde zarar görürler. Bu yüzden, kolu üzerine etkileyen kuvvetleri ve momentleri indirgeyecek sağlam taşınabilir bir manuel CMM kolu ve taşıma modeline ihtiyaç vardır [22].

4.1.2 İç CMM Kolu Yapısı:

4.1.2.1 Rijitlik ve Kütle:

Bir CMM kolunun kütlesini en aza indirmek mafsallı kollu CMM'lerin tasarım amaçlarındandır. Böylece daha az rijitlik ve kolları hareket ettirmek için daha küçük insan kuvvetleri yeterli olur. Böylece ölçüm cihazının daha kolay taşınabilmesi sağlanır. Bu da zaten bu cins ölçüm cihazlarının kullanım amaçlarındandır. Taşınabilir ölçüm cihazının hareketli kollarından (iç CMM kolu) birinin tipik ağırlığı 2.5 – 4 kg arasındadır. Ayrıca iç CMM kolunu destekleyecek ve robot ölçme kolunda da uygulanan bir dış iskelet (Exoskeleton) tasarlanabilir ki, bu da iç CMM kolundaki ve özellikle kol bağlantılarındaki gerilmeleri en aza indirir. Kullanımda, dış iskelete gelebilecek yükler yer çekimi ve aktarma organlarıyla iletilen yüklerdir. Dış iskelet, iç CMM kolunu her zaman aynı yerde destekler. Bu da aynı uzaysal pozisyonda tekrarlanabilir yükleri sağlar. Manuel CMM kolları operatörden kaynaklanan ek gerilmeleri karşılayacak şekilde tasarlanırlar. Ayrıca bu gerilmeler iç CMM kolundakilere göre önemli ölçüde büyüktür ve operatörün nereden ve nasıl kolu kolu kavradığına göre farklı yer ve yönde etkiler. Bu demektir ki bir iç CMM kolu, manuel bir CMM kolundaki kadar rijitliğe ihtiyaç duymaz ve manüelden daha hafiftir.

4.1.2.2 Biçim:

Dış iskelet elemanları, montaj sırasında iç CMM kolu elemanlarının üzerinden ilerleyerek geçerler. İç CMM kolu elemanlarının biçimi, olabilecek en küçük çapsal boyuta sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. En büyük çapsal boyutlardaki herhangi bir azalma, dış iskelet elemanlarının da biçim olarak daha küçük olmasını sağlar. Bu da uygulanabilecek Robot CMM kolunun bütününe daha küçük ve dolayısıyla kullanımda daha esnek olmasını sağlar.

4.1.3 Dış İskelet Yapısı:

4.1.3.1 Rijitlik ve Kütle:

Dış iskelet yapısı iç CMM koluna göre daha az rijittir. Çünkü destekleme ve tahrik için büyük bir rijitliğe gerek yoktur. Böylece dış iskelet yapısı hafiftir; bu da Robot CMM kolunun daha kolay hareket ettilmesini sağlar. Ayrıca, sağlanan diğer bir fayda da daha düşük kuvvetli tahrik sistemlerinin gerekmesidir. Taşınabilir Robot CMM kollarının kütleleri 1 m erişim için 18 kg ve 3 m için 35 kg arasında değişir. Yine de bu kütleler kesin sınır değildir.

4.1.3.2 Biçim:

Dış iskelet yapısı, iç CMM kolunun hemen üzerinde yer alacak şekilde ve olabildiğince bileşik(compact) tasarlanır. Bu da Robot CMM kolunun zor bölgelere erişmesini de sağlar: Örneğin bir arabanın iç kısımlarının ölçülmesi için. Ayrıca, bu kol arabaya monte edilmiş bir çocuk koltuğunun boyutlarının ölçülmesinde koltuk sökülmeden bile kullanılmalıdır. Yani ölçüm öncesi geniş hazırlıklara ihtiyaç duyulmaz. Dış iskelet elemanları, iç CMM kolunun elemanlarını dış etkenlerden korumak için onları yalıtacak şekilde tasarlanabilir. Bu etkenler kullanım sırasında zarar verici katılar, sıvılar veya gazlar olabilir. Dış iskelet elemanları, iç CMM kol elemanları içinden geçip oturacak diye deliklidir. Ayrıca dış iskeletin biçim Robot CMM kolunun manuel olarak da kontrol edilmesine yardımcı olur ve iç CMM kolunu çeşitli hasar verici çarpışmalardan, kazalardan korur. Bununla birlikte, estetik kaygısıyla dış iskeletin parçaları görevi olmayan, fakat şık görünümlü yüzeylere sahip olabilirler. Son olarak, dış iskeletin biçimini etkileyen en önemli faktörlerden biri de, tahrik elemanları olan motor ve dişli kutusunun büyüklüğü ve buldukları yerlerdir.

4.1.4 İç CMM Kol Malzemeleri:

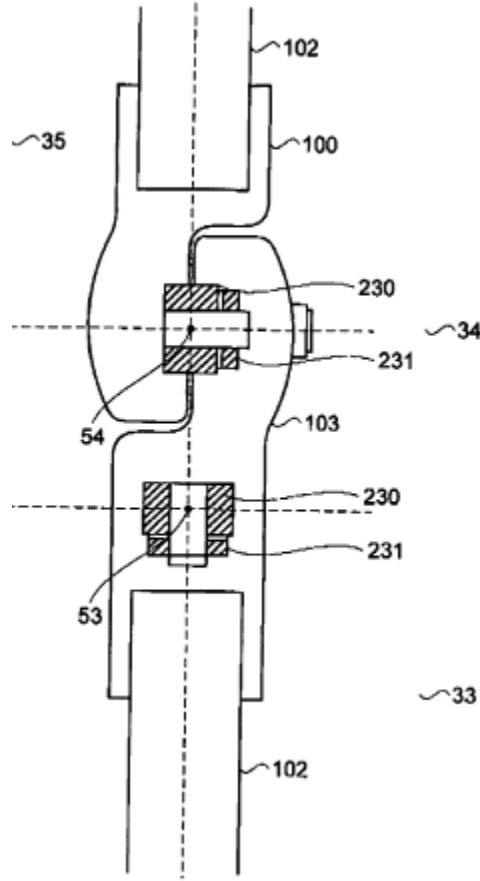
Dış mahfazalar uçak alüminyumundan imal edilir. Alüminyum anodize edilmiştir. Kol elemanları, yünsü karbon fiber – epoksi kompozit malzemedan yapılmış ince cidarlı bir borudan meydana gelir. Bu malzeme örneğin Toray T700'dür ve sifıra yakın bir ısı genleşme katsayısına sahiptir. Ayrıca yüksek rijitlik ve düşük yoğunluğa sahiptirler. Kol elemanları uçlarındaki mahfazalarla örneğin epoksi gibi bir yapışkanla birleştirilirler. Bu bağlantıya kullanıcının maharet ve kararına göre hassas bir eleman da eklenebilir.

4.1.5 Dış İskelet Malzemeleri:

Bağlantı mahfazalarının malzemesi ve elemanların birleştirme biçimleri iç CMM kolundaki gibidir. Kol elemanları karbon fiberin hassas dökümüyle imal edilir [23].

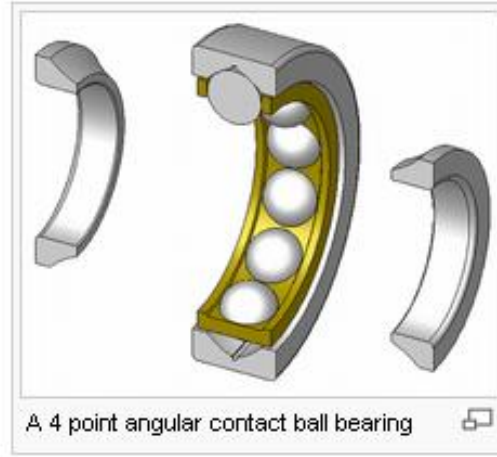
4.1.6 Joint Bearings (Bağlantı Yatakları)

CMM bağlantılarındaki yataklar yüksek doğrultudaki bir Robot CMM kolu için çok önemli bir konudur. CMM enkoderleri her bir bağlantıdaki açığı verebilirler. Fakat CMM bağlantılarındaki yataklardan kaynaklanan hataları ölçemezler. CMM bağlantılarındaki yataklar ve onların düzenlenmeleri; rijitliği maksimize, ağırlık ve bağlantı büyüklüğünü minimize ederek yatak gürültülerini de minimize etmelidirler. İç CMM kolunun CMM bağlantılarında düşük sürtünmeli yataklar (Low friction bearings) kullanılır. Bunun amacı, özellikle ağır iş çevrimlerinde iç CMM kolunun aşırı ısınmasını önlemektir. İç CMM kolundaki yataklardaki gerilme manuel bir CMM koluna göre daha düşüktür. Bunun nedeni dış iskeletin, kolun ağırlığının büyük bir kısmını karşılamasıdır. Şekil 4.2'ye göre; aksenal bir bağlantı olan 3 53 ve dikey bir bağlantı olan 4 54'te önceden yüklenmiş seramikten konik rulmanlı yatak çiftleri (örneğin Barden Corp, USA'den konik rulmanlı yataklar) 230 yüksek rijitlik ve birbirine sıkıca bağlı bir yapı sağlar.



Şekil 4.2 Bağlantı Yataklarının Gösterimi

Konik rulmanlı yataklar 230, somun 231'e önceden belirlenmiş bir tork uygulayarak önceden yüklendirilirler. Yataklar 230 mahfazalar 100 ve 103'e bir soğuk geçme ile yerleştirilmiştir. Yataklar, bağlanmadan önce -45°C 'ye getirilirler ve oda sıcaklığına gelindiğinde güçlü bir birliktelik oluşur. Benzer düzenlemeyle, her CMM bağlantısında daha önceden yüklenmiş taper roller yataklar kullanılır. Yataklama düzenlemelerinin bir çok yolu bulunmaktadır. Düşük ağırlık, düşük sürtünme ve yüksek rijitlik sağlayan başka yatak tipleri veya yatakların başka yerleştirilme ve ayarlama çeşitleri de mevcuttur. Çalışma boşluğu(runout) hatası bir açısız temaslı yatak(angular contact ball yatağı) örneğin FAG, Almanya'dan B71906 ile küçültülebilir.

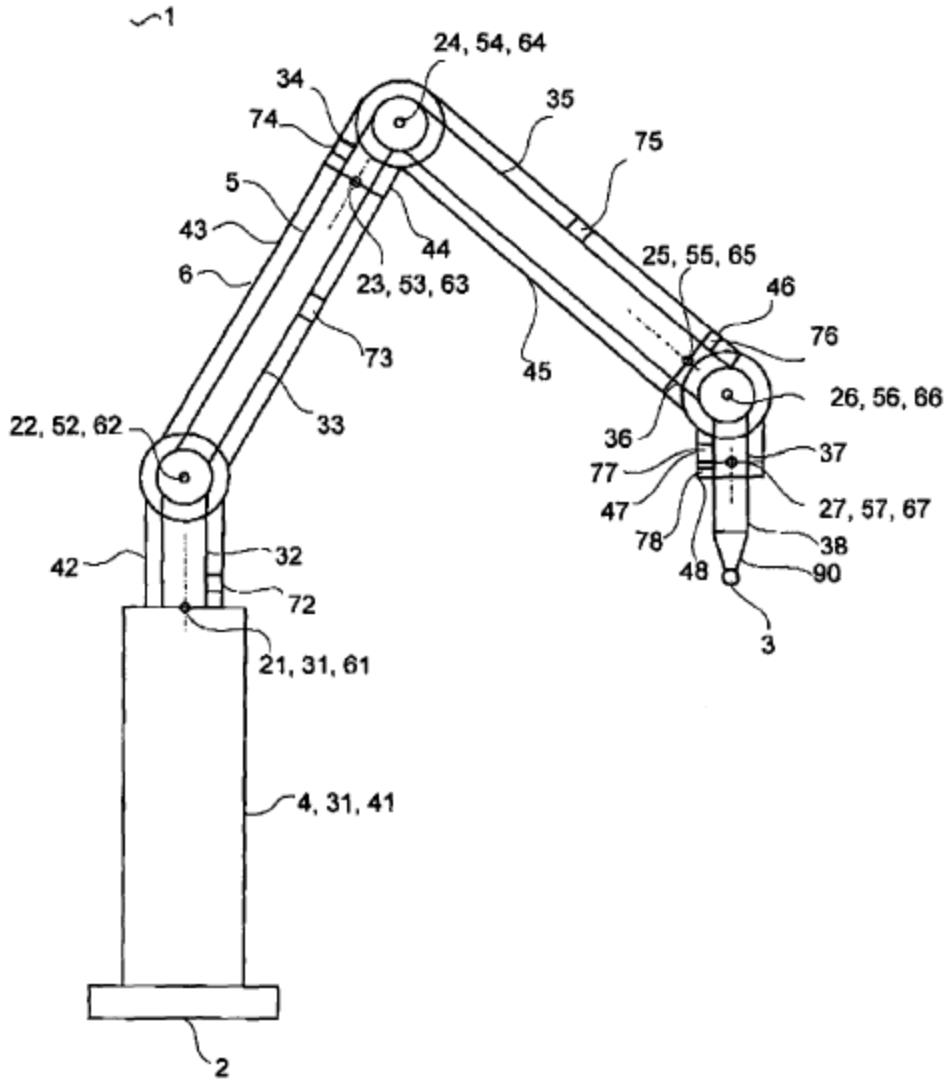


Şekil 4.3 Bağlantı Yataklarının Gösterimi

Bu yatak 15°'lik bir temas açısı ve her biri 2.5 mikron olan iç ve dış radyal çalışma boşlukları içerir. Yine FAG'dan başka bir örnek B71903'te ise iç ve dış radyal çalışma boşlukları 1.5 mikrondur. Havalı yataklar (air bearings) bilyalı yataklara (ball bearings) göre daha düşük runout'lara sahiptir ve yatak hatasının Robot CMM kolunun doğruluğu üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu daha aşağıdaki bağlantılara yerleştirilmesi çok uygundur. Farklı bağlantılarda farklı tipteki yataklar kullanılabilir. Örneğin baştaki bağlantılarda düşük çalışma boşuklu havalı yataklar ve sonraki bağlantıda ise, kolun yukarıdaki daha uzak bölümlerinde hava olması şartı bulunmadığından angular contact ball bearings (açısal temaslı yatak) kullanılabilir.

Dış iskelet bağlantılarındaki yatakların Robot CMM kolunun 1 doğruluğuna etkisi çok büyük değildir. Fakat yatakların yüksek değiştirme maliyetlerini önlemek için Robot CMM kolunun 1 tasarım ömründen daha uzun ömürlü olmaları tercih edilir. Eksenel bağlantılarda büteler (alın bilyası)(cross roller bearings) kullanılabilir; onlar birbirine sıkı bağlı bir yapıda bileşik, fakat oldukça ağırdırlar. Montajı kolaylaştırmak için, katı polimer yatakları kullanılabilir. Burada düşük sürtünmeli silindirik malzeme iç ve dış mahfaza yüzeylerinin arasına yerleştirilir. Polimer yatak yaklaşımı her ne kadar montaj kolaylığı sağlasa da, düşen yatak rijitliği ve yatak ömrü sonucunu verir.

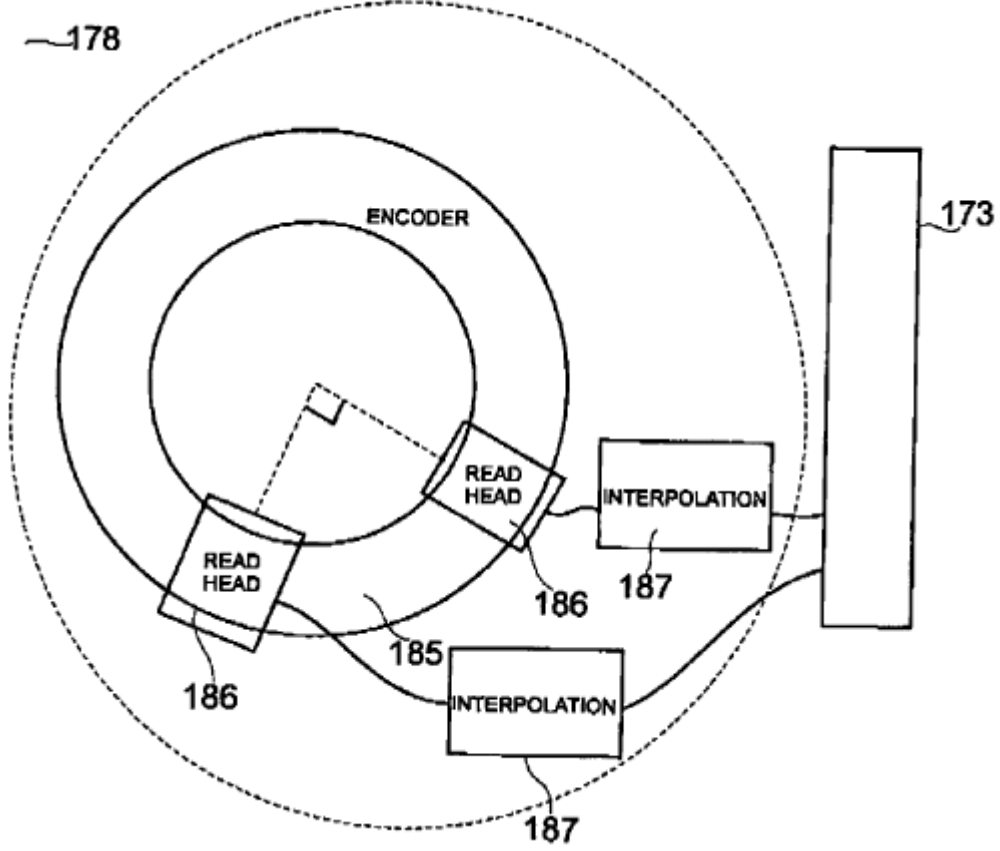
4.1.7 Internal CMM Arm Encoders (İç CMM Kolu Enkoderleri)



Şekil 4.4 Yapısal Elemanların Gösterimi

İç CMM Kolu 5, her bir CMM bağlantısında 51-57 açsal enkoderler içerir. Şekil 4.4'te bir açsal enkoderin çözünürlüğü ve doğruluğu birçok faktörle sınırlandırılmıştır. Bu faktörler enkoderin çapı, yazılabilen kenarların sayısı, kenarların çizgiselliği, okuma kafasındaki çizgisellik, interpolasyon miktarı ve enkoderdeki düzensizliklerdir. Robot CMM kolunun doğruluğunu optimize etmek için, alt destekteki açsal enkoderlerin, iç CMM kolunun en uç noktasındakilere göre daha iyi doğrulukta olmaları istenir. Çünkü altlıktaki bağlantıdaki küçük bir dönme en uçta büyük bir harekete sebep olacaktır (22). Oysa ki, en uç 3 bağlantıdaki 25, 26, 27 küçük bir dönme, en uç noktada küçük bir hareket doğurur.

Buna göre; bir bağlantıdaki dönme, doğru orantılı olarak en uç noktadan ne kadar uzak ise, uç noktadaki hareket o kadar büyük olacaktır. İç CMM kolu örneğin Renishaw or Micro-E Systems, USA tarafından üretilen enkoderleri 178 kullanır.



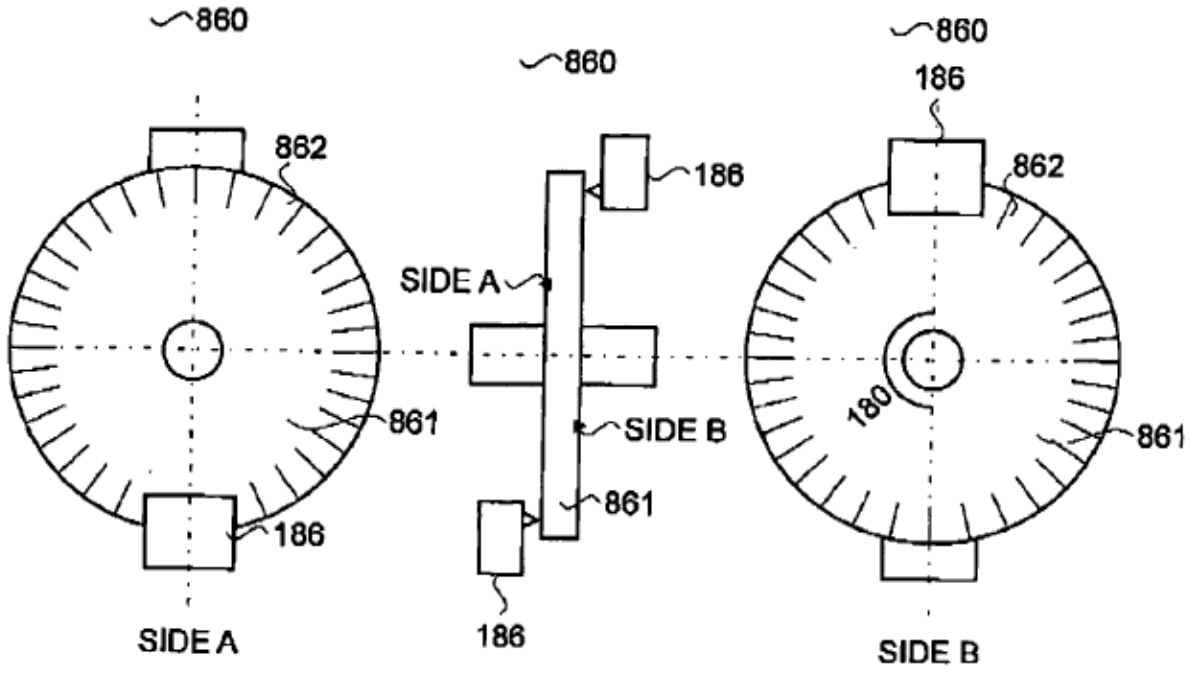
Şekil 4.5 Enkoder Örneği

İç CMM kolunun 5 alt desteğin 2 sonuna doğru bulunan CMM bağlantıları 21, 22 daha büyük çaplı enkoderlere sahiptir. Çünkü burada CMM enkoderinden 178 proba doğru uzun bir mesafe mevcuttur. İç CMM kolunun 5 dirseğinde bulunan ortadaki bağlantılar 23, 24 orta büyüklükteki çaplı enkoderlere sahiptir. Çünkü burada ise enkoderden 178 proba doğru orta büyüklükte bir mesafe söz konusudur. Aynı kıyaslamalar, probun sonuna doğru yerleştirilen enkoderler 25-27 (Şekil 4.4) için de geçerlidir. Daha küçük enkoder çapları kolun ağırlığını düşürür; ona sıkı bağlı bir yapı ve kullanım kolaylığı sağlar. Optik prob tarafından katedilmiş büyük mesafeler için, kolun sonuna doğru bulunan bağlantılardaki 23-27 enkoderlerin yüksek çözünürlükte olmaları istenir.

Yukarıdaki şekle göre bir iç CMM kolu enkoderi 178 20 mikron ölçülü pitch'e sahip Renishaw RESR açısız enkoderler 185 içerir. Bu enkoderler, her bağlantıdaki bir veya daha fazla Renishaw RGH20 okuma kafaları ile kullanılır. İki veya daha fazla okuma kafası 186 her enkodere 185 yerleştirilirken, yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi birbirleriyle aralarında 90° veya tercihen 180°'lik açı oluşturacak şekilde yerleştirilirler. Fakat okuma kafalarının oluşturduğu açılar bu ölçüler dışında, daha değişik de olabilir. Bir 52 mm çapındaki 8192 sayılı RESR 23-27'deki her bir CMM bağlantısında +/- 5.6 açı-saniye şeklindeki bir doğrulukla kullanılır. Bir 150 mm çapındaki 23,600 sayılı RESR 21 ve 22'deki her bir CMM bağlantısında +/- 1.9 açı-saniye şeklindeki bir doğrulukla kullanılır. Her bir Renishaw read head'in okuma kafasının(read head) 186 çıktısı bir Renishaw RGE interpolatöre 187 gider. Her bir Renishaw interpolatörün 187 çıktısı Joint PCB 173 Bağlantı PCB (Joint PCB)'yi besler. İki veya daha fazla read head kullanılması iki daha büyük avantaj sağlar. İlk olarak enkoderin eksantrik yerleştirilmesi okuma kafalarının yanlış dizilmesi, kenarlar yazılırken çizgisellikteki bozulma, okuma kafasının çizgiselliğindeki bozulma, düzensizlikler ve mekanik / dizilme hataları, basit bir ortalama alma yöntemiyle telafi edilebilir. İkinci olarak, işlem sırasında aynı enkoder 185 için iki veya daha fazla interpolatörden 187 gelen okumaların ortalamaları Bağlantı PCB'de 173 görev alır ki, bu da enkoderin doğruluğunda gelişim sağlar. Bir alternatif yöntem de, açısız enkoder sisteminin tek bağlantıyla Bağlantı PCB'ye 173'e bağlanmasıdır. Renishaw gibi firmaların ileride 50 mm çaplı ve 0.1 arc saniye doğrulukta açısız enkoder sistemleri gerçekleştirecekleri beklenmektedir [23]. Bugün Renishaw firmasının en son örneği 52 mm dış çaplı ve 1.4 arc saniye doğrulukta açısız enkoder sistemleri gerçekleştirilmiştir [24].

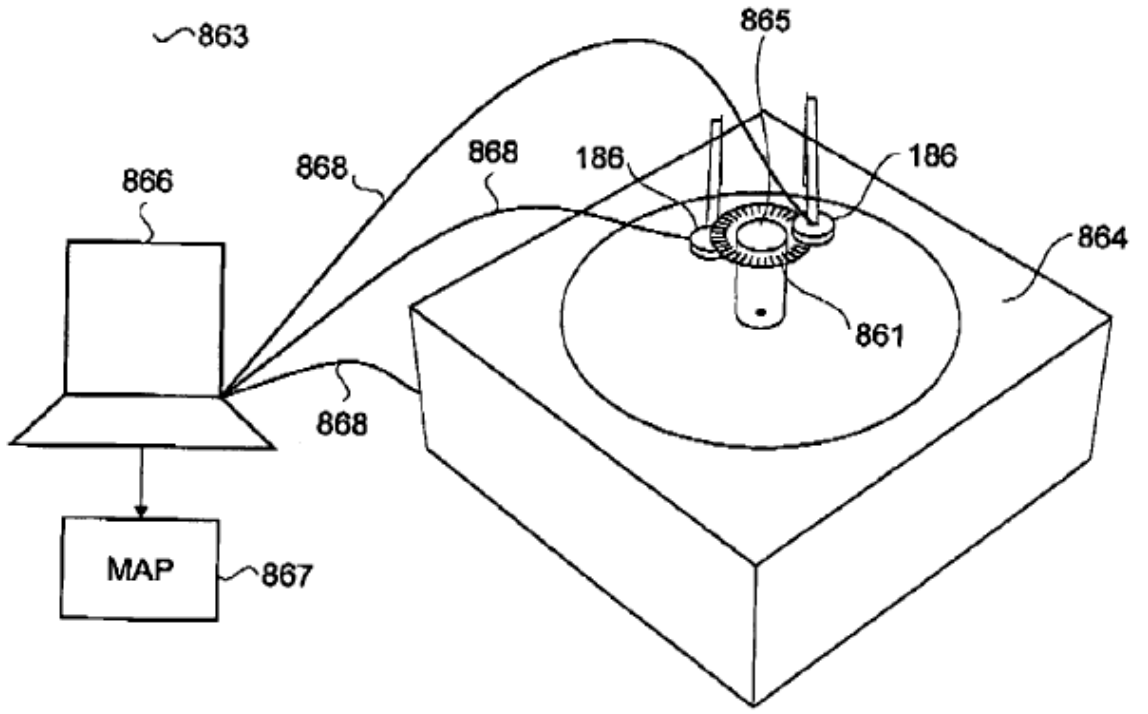
4.1.8 Çift Modelli Enkoder (Dual Pattern Enkoder)

Burada amaç iki okuma kafalı tek örnek enkoder yerine daha büyük doğruluk sağlayacak her bir model için bir okuma kafalı yeni bir çift modellenli enkoder oluşturmaktır. Şekil 4.6'ya göre bir çift modellenli enkoder 860, her iki yüzünün çevresinde A, B çizilmiş kenar desenine 862 sahip bir enkoder disk 861, A yüzündeki deseni 862 okuyacak bir okuma kafası 186 ve B yüzündeki deseni 862 okuyacak ikinci bir okuma kafası 186 içerir.



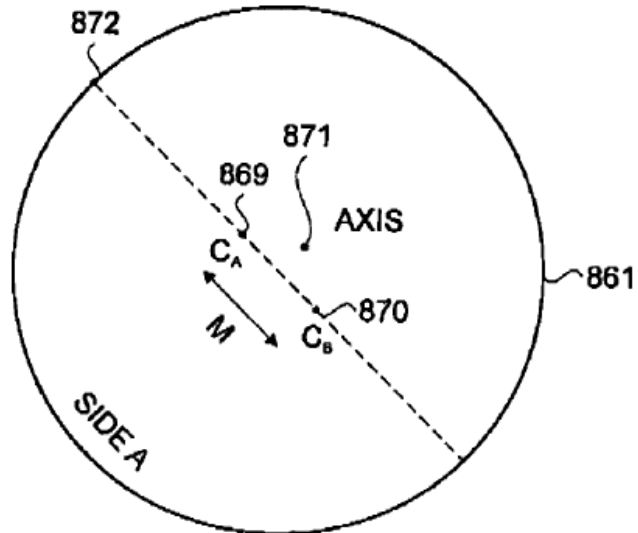
Şekil 4.6 Çift Modelli Enkoder Yapısı

Bu iki okuma kafası yaklaşık 180°'lik aralıkla yerleştirilmiştir. Şekil 4.7'ye göre bir Dual pattern enkoder haritalama cihazı 863; örneğin Aerotech Inc, US tarafından sağlanmış ABR1000 [25] bir doğru dönme katı (Accurate rotational stage) 864, doğru dönme katı 864'ün dönel parçası üzerindeki disk 861 sıkıştırarak özel şekillendirilmiş bir civata gibi dönel bir sıkıştırma mekanizması, diskin 861 iki tarafında ve birbirlerine yaklaşık 180° yapacak ik sabit Read-head 186 (burada ilk Read-head 186 A yüzündeki ilk deseni 862, ikinci bir Read-head 186 ise B yüzündeki ikinci deseni 862 okur; bu sırada desenler 862 sabit Read-head'lere 186 göre hareketli haldedirler), doğru dönme katı 864 ve read-head'lere 186 kablolarla 868 bağlı bir haritalama sistemi içerir.



Şekil 4.7 Çift Modelli Enkoder İle Haritalama

Doğru dönme katının 864'ün doğruluğu, çift modelli enkoderden 860 beklenen doğruluktan çok daha büyüktür. Haritalama sistemi 866 doğru dönme katının 864 hareketini kontrol eder; okuma kafalarından 186 gelen sinyalleri okur ve bir harita çıktısı verir. Şekil 4.8, bir diski 861 göstermektedir.



Şekil 4.8 Dönme Merkezi ve Düzensizliklerin Gösterimi

Disk üzerinde desen A'nın merkezi 869, desen B'nin merkezi 870 ve çift modelli enkoder 860'ı taşıyan bağlantının ekseninin dönme merkezi 871 bulunmaktadır. Harita 867 bir dijital dosyadır ve şu haritalama bilgilerini verir: i) İki Pattern'in birbirlerine göre düzenliliklerindeki bozulmanın büyüklüğü, ii) Düzensizliğin konumu 872, iii) her bir desen için bir hata haritası. Bu harita, Accurate rotational stage 864 ve her bir desenin 862 üzerindeki çizilmiş çizilmiş kenarlar arasındaki açısal hataları gösterir. İki desen 862'de 10 mikronluk tipik bir aksenal düzensizlikle yazılmıştır. Fakat bu düzensizlik (kayma) 10 mikrondan çok daha büyük veya çok daha küçük olabilir. Düzensizlik M'nin konumu 872 disk 861 üzerinde elle işaretlenir. A ve B yüzleri disk 861 üzerinde elle işaretlenir. Düzensizliğin konumu 872 okuma kafası 186 tarafından okunan desen 862 üzerindeki mutlaka referans işaretlerine karşı referans olarak bilinir. Harita oluşturma işlemi bu işte tecrübeli olanlar tarafından kolayca yürütülebilir. Her Pattern'deki 862 referans işaretleri hata haritasına referans vermek için oluşturulmuştur.

Bir Robot CMM kolunda yedi taneye kadar veri gösterecek çift modelli enkoder kullanılabilir. Her bir dual pattern enkoder 860 için bir harita 867 sağlanır. Kalibre edilmiş çift modelli enkoder 860, iki okuma kafalı eşdeğer bir tek modelli enkodere göre daha iyi doğrulukta açı sonuçları verir. Bunun nedenleri şöyledir: a) Etkin olarak iki bağımsız error-mapped enkoder sistemi bir tane yerine tercih edilir ve bu iki sistemin sonuçlarının ortalaması alınır ki, bu tek desenliye göre daha güvenilir sonuçlar verir; b) Diskin 861 bağlantı eksenine göre tam dikey olmayışından kaynaklanan hatalar devre dışı bırakılır. Çift modelli enkoder 860; iki okuma kafalı eşdeğer bir tek modelli enkodere kıyasla, aynı bileşen sayısına, aynı ağırlığa ve aynı kaplama hacmine sahiptir. Bir değişik çift modelli enkoder 860 örneğinde de desenler 862 Diskin 861 aynı yüzünde iç ve dış radyal desenler olarak yer alır. Bir başka örnekte ise, daha düşük maliyetli bir çift modelli enkoder 860 için; eğer desenler 862 diskin 861 imalat süreci sırasında yeterince küçük düzensizlik M ile dizilirlerse, çift modelli enkoder 860 için fazladan bir haritalama işlemine gerek yoktur. Zaten, Robot CMM bir bağlantısına yerleştirilirken oluşacak herhangi bir aksenal düzensizlikte ortalama alındığı için otomatik olarak hatalar indirgenir. Ayrıca, daha doğru bir Robot CMM 1 için; her bir bağlantıda tercihen bağlantı merkezinin her iki yüzüne yerleştirilecek şekilde iki tane Dual pattern enkoder kullanılabilir [23].

4.1.9 Prob Tipleri

Robot CMM'e monte edilecek birçok temas ölçüm prob tipti mevcuttur. Bunlar katı temas, elektriksel temas ve kuvvet temas ölçüm prob tipleridir. Bu problemler küresel, nokta, düz veya müşteriye özel şekilli uçlara sahip olabilirler. Müşteriye özel şekilde örnek V oluklu şekillendirilmiş ve bükülmüş boru ölçümü için tasarlanmış bir prob ucudur. Başka kullanıcıya özel bir örnek de metal sacın kenarının ölçümünde kullanılacak iki birbirine dik eğimli yüzeyli bir temas ölçüm probudur. Ayrıca ultrasound'dan yararlanılarak oluşturulan cidar ölçüm problemleri kullanılabilir. Bir başka prob tipi de örneğin kaplanmış tabaka kalınlığı ölçmek için kullanılacak temas ölçüm probudur.

Robot CMM koluna monte edilerek boyutsal ölçüm için tasarlanmış temassız ölçüm prob tipleri de mevcuttur. Bunlar örneğin şöyledir: Nokta tetikleme (trigger) probu, nokta mesafe ölçüm probu, çizgi problemlerinin bütün tipleri, alan problemlerinin bütün tipleri, ultrasound gibi cidar kalınlığı ölçüm problemleri. Son prob tipleri Robot CMM kolunun ucu ve borunun yüzeyi arasında konumlandırılmış hava, gaz veya sıvı tabakası içinde sinyaller göndererek çalışırlar.

Temassız optik problemler monokromatik ve beyaz ışık kullanırlar. Lazerden çıkan monokromatik ışık seçeneğinde lazerin gücü düşük olabilir. Bu da gözlerin güvenliği ve operatörün lazere karşı güvenlik gözlüğü takmaması ve robotun çalışma alanının güvenliği için önemlidir.

Ayrıca, boyutsuz miktar ölçümünde görev alan ve CMM Robot koluna monte edilen birçok temaslı ve temassız ölçüm prob tipleri de mevcuttur. Bu ölçülen özellikler sıcaklık, yüzey pürüzlülüğü, renk , titreşim, sertlik, basınç, yoğunluk ve kaynaklardaki ve bağlardaki kusurlar veya katışıklar olabilir.

Temaslı problemler genellikle 50 – 200 g arası ağırlıktadır. Optik problemler ise 100 – 2000 g arasındadır. Problemlerin birlikte uygulanmasıyla ağırlık 3 kg'ı geçebilir [23].

SONUÇ VE ÖNERİLER

- 1) Mafsal kollu ölçüm cihazları taşınması zor olan büyük boyutlu ve ağır parçaların ölçümleri için kullanım açısından adeta alternatifsiz bir enstrümandır.
- 2) Büyük boyutlu makinaların yataklama, kayıtlama, aksenel doğruluk, salınım ve boşluk ölçümü vb. muayenelerinin yapılması açısından çok elverişlidir.
- 3) CMM ölçüm cihazları için gerekli olan klimatize ortam gibi koşullar mafsal kollu olanlarda aranmamaktadır.
- 4) Hassasiyet garantisi CMM'ler kadar verilemese de, referans alma ve cihazı konuşlandırma vb. kullanım koşullarına dikkat edildiği takdirde, CMM'lerin ölçü tamlığına yaklaşmak mümkündür. Burada kullanıcı tecrübesi çok önemlidir.
- 5) Ülkemizden yapılan makine ihracatı giderek gelişim göstermekte ve teşvik edilmektedir. Bunların arasında, büyük boyutlu muhtelif tezgahlar ve makinalar da vardır. Örneğin, Uzakdoğu veya Güney Amerika gibi ülkelere birisine gönderilen bir makinanın orada sorun çıkarmasının bedeli çok ağırdır. Bu gibi hataların yurtdışına çıkış öncesi giderilmesinde, maddi ve manevi kazanımlar büyük olacaktır. Tezin konusu olan mafsal kollu ölçüm cihazları bu gibi konularda sanayicimize önemli hizmetler verebilir.

- 6) Tez alışmaları sırasında söz konusu ölüm cihazlarının hareket denklemleri ve fonksiyonları üzerinde de çalışmalar yapılmıştır. Bunun sonucunda, anılan cihazların yazılımlarının geliştirilebileceğine olan inancım artmıştır. Cihazların imalatında, yerli sanayi kuruluşlarımızdan temini henüz mümkün olmayan bazı kritik elemanların dışında, ana yapısal elemanların yapılabileceği düşünülmektedir.

Yüksek Lisans Tezinden sonraki çalışma hedefi, taşınabilir ölüm cihazlarının kontrol sistemi yazılımlarının daha etraflı olarak ele alınıp üzerinde çalışılması ve sağlanacak proje desteği çerçevesinde bir prototipin tasarlanarak imalatının gerçekleştirilmesidir.

KAYNAKLAR

- [1] Prof.Dr.Durakbaşı Numan, Kalite ve Ölçme Tekniği Yüksek Lisans Ders Notları
- [2] HP Dergisi, Taşınabilir CMM, <http://www.hpdergisi.com/2010/05/tasinabilir-cmmlere-giris/>, Ekim 2011.
- [3] K. Kamrani Ali, Emad Abouel Nasr(2006). “Rapid Prototyping Theory and Practice”, Springer Science+Business Media, Inc, 10: 375-387
- [4] Quality Mag, Kalite Dergisi, <http://www.qualitymag.com/Archives/c7ee0ee7f4c38010VgnVCM100000f932a8c0>, Kasım 2011
- [5] Kalite Sitesi, Ölçüm Cihazları, <http://www.qualitydigest.com/inside/metrology-article/advances-measurement-tools-portable-cmms.html>, Kasım 2011
- [6] Quality Mag, Kalite Dergisi, <http://www.qualitymag.com/Archives/c7ee0ee7f4c38010VgnVCM100000f932a8c0>, Ekim 2011
- [7] HEXAGON Firması, Mafsal Kollu CMM'in Tarihi, <http://us.romer.com/about-us/history-of-articulated-arms>, Ekim 2011
- [8] Google, Patent Sitesi, <http://www.google.com/patents?id=71wAAAAEBAJ&printsec=frontcover&dq=3944798&hl=en>, Mart 2011
- [9] HEXAGON Firması, Taşınabilir CMM'ler, <http://us.romer.com/products/romer-portable-cmms>, Ekim 2011
- [10] FARO Firması, Ürünler, <http://measuring-arms.faro.com/tr/ana-sayfa>, Ekim 2011
- [11] FARO Firması, Ürünler, <http://measuring-arms.faro.com/tr/arayuez/>, Ekim 2011
- [12] Google, Patent Sitesi, <http://www.google.com/patents?id=CgfXAAAAEBAJ&pg=PA1&dq=08103411&hl=en#v=onepage&q=08103411&f=false>, Mart 2011

- [13] Google, Patent Sitesi, <http://www.google.com/patents?id=2GapAAAAEBAJ&printsec=frontcover&dq=7246030&hl=en>, Mart 2011
- [14] Google, Patent Sitesi, <http://www.google.com/patents?id=oeUhAAAAEBAJ&printsec=frontcover&dq=5611147&hl=en>, Mart 2011
- [15] Google, Patent Sitesi, <http://www.google.com/patents?id=KYsYAAAAEBAJ&printsec=frontcover&dq=5978748&hl=en>, Mart 2011
- [16] Google, Patent Sitesi, <http://www.google.com/patents?id=2GapAAAAEBAJ&printsec=frontcover&dq=7246030&hl=en>, Mart 2011
- [17] TS EN ISO 14253-1,(2003). Geometrik Mamul Özellikleri, TSE, Ankara.
- [18] ISO 10360, Acceptance and Re-verification Tests For CMM, Hexagon Metrology Kataloğu
- [19] Guanbin Gao, Wen Wang, Keng Lin, Zichen(2009). "Structural Parameter Identification for Articulated Arm Coordinate Measuring Machines, ChenInstitute of Advanced Manufacturing Engineering", Zhejiang University Hangzhou, P.R.China, 128-131
- [20] Santolaria, Juan-Jose-Aguilar, Jose-Antonio Yagüe, Jorge Pastor (2007). "Kinematic parameter estimation technique for calibration and repeatability improvement of articulated arm measuring machines", 251:268
- [21] VDI-VDE Richtlinien (2011), CMM'le İlgili Direktifler Blatt 10 :11-12
- [22] Google, Patent Sitesi, <http://www.google.com/patents?id=X1irAAAAEBAJ&printsec=frontcover&dq=7395606&hl=en>, Mart 2011
- [23] Google, Patent Sitesi,<http://www.google.com/patents/US7395606?dq=7395606>, Mart 2011
- [24] RENISHAW Firması, Ürün Kataloğu, <http://www.renishaw.com/en/resr-rotary-7-angle-encoder-system--6453>), Ekim 2011
- [25] AEROTECH Firması, Ürün Kataloğu, <http://www.aerotech.com/products/pdf/ABR1000.pdf>, Ekim 2011
- [26] Koren Yoram (1985), "Robotics For Engineers" McGraww-Hill International Editions: 88-100

0-1 arası

1 numaralı uzuv, 1 nolu bağlantı noktasında 0'inci koordinat takımına göre, $[\mathbf{T}_T]_0^1$ homojen öteleme matrisine ve z eksenini etrafında θ_1 dönme açısından dolayı $[\mathbf{T}_R]_0^1$ homojen dönme matrisine sahiptir. Buna göre 1'inci koordinat takımının 0'inci koordinat takımına göre homojen yerdeğiştirme matrisi $[\mathbf{T}]_0^1$ aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$[\mathbf{T}]_0^1 = [\mathbf{T}_T]_0^1 \cdot [\mathbf{T}_R]_0^1$$

Yukarıdaki bağıntıları açık şekilde yazıp gerekli işlemler yapılırsa, 1'inci koordinat takımının 0'inci koordinat takımına göre homojen yerdeğiştirme matrisi elde edilir.

$$[\mathbf{T}]_0^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & a \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ -\cos \theta_1 & \sin \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ -\cos \theta_1 & \sin \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & a \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1-2 arası

2 numaralı uzuv, 2 nolu bağlantı noktasında 1'inci koordinat takımına göre, $[\mathbf{T}_T]_1^2$ homojen öteleme matrisine ve 2 nolu koordinat takımı 1 nolu koordinat takımından sırasıyla $\mathbf{T}_{z=90^\circ}$, $\mathbf{T}_{x=90^\circ}$ ve z ekseninde $\mathbf{T}_{z=\theta_2}$ dönmelerini yapıyor. Buna göre 2'inci koordinat takımının 1'inci koordinat takımına göre homojen dönme matrisi $[\mathbf{T}_R]_1^2$ aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$[\mathbf{T}_R]_1^2 = \mathbf{T}_{z=90^\circ} \cdot \mathbf{T}_{x=90^\circ} \cdot \mathbf{T}_{z=\theta_2}$$

Yukarıdaki bağıntıları açık şekilde yazıp gerekli işlemler yapılırsa, 2'inci koordinat takımının 1'inci koordinat takımına göre homojen dönme matrisi elde edilir.

$$[\mathbf{T}_R]_1^2 = \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 90 & -\sin 90 & 0 \\ 0 & \sin 90 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2 nolu bağlantı noktasında 1'inci koordinat takımına göre, $[\mathbf{T}_T]_1^2$ homojen öteleme matrisinin açık ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$[\mathbf{T}_T]_1^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & b \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Buna göre 2'inci koordinat takımının 1'inci koordinat takımına göre homojen yerdeğiştirme matrisi $[T]_1^2$ aşağıdaki şeklinde elde edilir.

$$[T]_1^2 = [T_T]_1^2 \cdot [T_R]_1^2$$

Yukarıdaki bağıntıları açık şekilde yazıp gerekli işlemler yapılırsa, 2'inci koordinat takımının 1'inci koordinat takımına göre homojen yerdeğiştirme matrisi elde edilir.

$$[T]_1^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & b \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 90 & -\sin 90 & 0 \\ 0 & \sin 90 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_1^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & b \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_1^2 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & b \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_1^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_1^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & b \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2-3 arası

3 numaralı uzuv, 3 nolu bağlantı noktasında 2. koordinat takımına göre, $[T_T]_2^3$

homojen öteleme matrisine ve 3 nolu koordinat takımı 2 nolu koordinat takımından sırasıyla $T_{y=90}$, $T_{z=90}$ ve z ekseninde $T_{z=\theta_3}$ dönmelerini yapıyor. Buna göre 3. koordinat

takımının 2. koordinat takımına göre homojen dönme matrisi $[T_R]_2^3$ aşağıdaki şeklinde

elde edilir.

$$[T_R]_2^3 = T_{y=90} * T_{z=90} * T_{z=\theta_3}$$

Yukarıdaki bağıntıları açık şekilde yazıp gerekli işlemler yapılırsa, 3. kordinat takımının 2. koordinat takımına göre homojen dönme matrisi elde edilir.

$$[T_R]_2^3 = \begin{bmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90 & 0 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & 0 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3 nolu bağlantı noktasında 2. koordinat takımına göre, $[T_T]_2^3$ homojen öteleme matrisinin açık ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$[T_T]_2^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & c \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Buna göre 3. koordinat takımının 2. koordinat takımına göre homojen yerdeğiştirme matrisi $[T]_2^3$ aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$[T]_2^3 = [T_T]_2^3 * [T_R]_2^3$$

$$[T]_2^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & c \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90 & 0 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & 0 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_2^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & c \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & 0 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_2^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & 0 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_2^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & c \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & 0 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_2^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & c \\ \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & 0 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3-4 arası

4 numaralı uzuv, 4 nolu bağlantı noktasında 3. koordinat takımına göre, $[T_T]_3^4$ homojen öteleme matrisine ve 4 nolu koordinat takımı 3 nolu koordinat takımından sırasıyla $T_{y=90}$, $T_{z=90}$ ve z ekseninde $T_{z=\theta_4}$ dönmelerini yapıyor. Buna göre 4. koordinat takımının 3. koordinat takımına göre homojen dönme matrisi $[T_R]_3^4$ aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$[T_R]_3^4 = T_{z=90} * T_{y=90} * T_{z=\theta_4}$$

Yukarıdaki bağlantıları açık şekilde yazıp gerekli işlemler yapılırsa, 4. koordinat takımının 3. koordinat takımına göre homojen dönme matrisi elde edilir.

$$[T_R]_3^4 = \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90 & 0 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & 0 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4 nolu bağlantı noktasında 3. koordinat takımına göre, $[T_T]_3^4$ homojen öteleme matrisinin açık ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$[T_T]_3^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Buna göre 4. koordinat takımının 3. koordinat takımına göre homojen yerdeğiştirme matrisi $[T]_3^4$ aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$[T]_3^4 = [T_T]_3^4 * [T_R]_3^4$$

$$[T]_3^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90 & 0 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & 0 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_3^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & 0 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_3^4 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & 0 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_3^4 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & 0 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_3^4 = \begin{bmatrix} \sin \theta_4 & -\cos \theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\cos \theta_4 & \sin \theta_4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4-5 arası

5 numaralı uzuv, 5 nolu bağlantı noktasında 4. koordinat takımına göre, $[T_T]_4^5$ homojen öteleme matrisine ve 5 nolu koordinat takımı 4 nolu koordinat takımından sırasıyla $T_{y=90}$, $T_{z=90}$ ve z ekseninde $T_{z=\theta_5}$ dönmelerini yapıyor. Buna göre 5. koordinat takımının 4. koordinat takımına göre homojen dönme matrisi $[T_R]_4^5$ aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$[T_R]_4^5 = T_{y=90} * T_{z=90} * T_{z=\theta_5}$$

Yukarıdaki bağlantıları açık şekilde yazıp gerekli işlemler yapılırsa, 5. koordinat takımının 4. koordinat takımına göre homojen dönme matrisi elde edilir.

$$[T_R]_4^5 = \begin{bmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90 & 0 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_5 & -\sin \theta_5 & 0 & 0 \\ \sin \theta_5 & \cos \theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

5 nolu bağlantı noktasında 4. koordinat takımına göre, $[T_T]_4^5$ homojen öteleme matrisinin açık ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$[T_T]_4^5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & e \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Buna göre 5. koordinat takımının 4. koordinat takımına göre homojen yerdeğiştirme matrisi $[T]_4^5$ aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$[T]_4^5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & e \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90 & 0 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_5 & -\sin \theta_5 & 0 & 0 \\ \sin \theta_5 & \cos \theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_4^5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & e \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_5 & -\sin \theta_5 & 0 & 0 \\ \sin \theta_5 & \cos \theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_4^5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & e \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_5 & -\sin \theta_5 & 0 & 0 \\ \sin \theta_5 & \cos \theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_4^5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & e \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_5 & -\sin \theta_5 & 0 & 0 \\ \sin \theta_5 & \cos \theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_4^5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & e \\ \cos \theta_5 & -\sin \theta_5 & 0 & 0 \\ \sin \theta_5 & \cos \theta_5 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

5-6 arası

6 numaralı uzuv, 6 nolu bağlantı noktasında 5. koordinat takımına göre, $[T_T]_5^6$ homojen öteleme matrisine ve 6 nolu koordinat takımı 5 nolu koordinat takımından sırasıyla $T_{y=90}$, $T_{z=90}$ ve z ekseninde $T_{z=\theta_6}$ dönmelerini yapıyor. Buna göre 6. koordinat takımının 5. koordinat takımına göre homojen dönme matrisi $[T_R]_5^6$ aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$[T_R]_5^6 = T_{z=90} * T_{y=90} * T_{z=\theta_6}$$

Yukarıdaki bağıntıları açık şekilde yazıp gerekli işlemler yapılırsa, 4. koordinat takımının 3. koordinat takımına göre homojen dönme matrisi elde edilir.

$$[T_R]_5^6 = \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90 & 0 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_6 & -\sin \theta_6 & 0 & 0 \\ \sin \theta_6 & \cos \theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

6 nolu bağlantı noktasında 5. koordinat takımına göre, $[T_T]_5^6$ homojen öteleme matrisinin açık ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$[T_T]_5^6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & f \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Buna göre 6. koordinat takımının 5. koordinat takımına göre homojen yerdeğiştirme matrisi $[T]_5^6$ aşağıdaki şeklinde elde edilir.

$$[T]_5^6 = [T_T]_5^6 * [T_R]_5^6$$

$$[T]_5^6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & f \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90 & 0 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_6 & -\sin \theta_6 & 0 & 0 \\ \sin \theta_6 & \cos \theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_5^6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & f \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_6 & -\sin \theta_6 & 0 & 0 \\ \sin \theta_6 & \cos \theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_5^6 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & f \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_6 & -\sin \theta_6 & 0 & 0 \\ \sin \theta_6 & \cos \theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_5^6 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_6 & -\sin \theta_6 & 0 & 0 \\ \sin \theta_6 & \cos \theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_5^6 = \begin{bmatrix} \sin \theta_6 & -\cos \theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\cos \theta_6 & \sin \theta_6 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

6-7 arası

7 numaralı uzuv, 7 nolu bağlantı noktasında 6. koordinat takımına göre, $[T_T]_6^7$ homojen öteleme matrisine ve 7 nolu koordinat takımı 6 nolu koordinat takımından sırasıyla $T_{y=90}$, $T_{z=90}$ ve z ekseninde $T_{z=\theta_7}$ dönmelerini yapıyor. Buna göre 7. koordinat takımının 6. koordinat takımına göre homojen dönme matrisi $[T_R]_6^7$ aşağıdaki şeklinde elde edilir.

$$[T_R]_6^7 = T_{y=90} * T_{z=90} * T_{z=\theta_7}$$

Yukarıdaki bağıntıları açık şekilde yazıp gerekli işlemler yapılırsa, 7. kordinat takımının 6. koordinat takımına göre homojen dönme matrisi elde edilir.

$$[T_R]_6^7 = \begin{bmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90 & 0 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_7 & -\sin \theta_7 & 0 & 0 \\ \sin \theta_7 & \cos \theta_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

7 nolu bağlantı noktasında 6. koordinat takımına göre, $[T_T]_6^7$ homojen öteleme matrisinin açık ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$[T_T]_6^7 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & g \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Buna göre 5. koordinat takımının 4. koordinat takımına göre homojen yerdeğiştirme matrisi $[T]_6^7$ aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$[T]_6^7 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & g \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & 0 & \sin 90 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin 90 & 0 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_7 & -\sin \theta_7 & 0 & 0 \\ \sin \theta_7 & \cos \theta_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_6^7 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & g \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_7 & -\sin \theta_7 & 0 & 0 \\ \sin \theta_7 & \cos \theta_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_6^7 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & g \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_7 & -\sin \theta_7 & 0 & 0 \\ \sin \theta_7 & \cos \theta_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_6^7 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & g \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_7 & -\sin \theta_7 & 0 & 0 \\ \sin \theta_7 & \cos \theta_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T]_6^7 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & g \\ \cos \theta_7 & -\sin \theta_7 & 0 & 0 \\ \sin \theta_7 & \cos \theta_7 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Her merkez bağlantı noktasında elde edilen matrisler birbirleri ile çarpılır ve $[T]_0^7$

matrisi elde edilir. Son matris P^7 matrisi ile çarpılır ve probun konum koordinatlarını veren P^0 matrisi elde edilir; matrisin yukarıdan aşağıya elemanları olacak şekilde x, y ve z şeklinde koordinatlar belirlenir.

$$[T]_0^7 = [T]_0^1 * [T]_1^2 * [T]_2^3 * [T]_3^4 * [T]_4^5 * [T]_5^6 * [T]_6^7$$

$$P^7 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ h \\ 1 \end{bmatrix} \quad P^0 = [T]_0^7 * P^7 \quad P^0 = \begin{bmatrix} P_{x_0} \\ P_{y_0} \\ P_{z_0} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Matrislerin çarpımları Matlab'te gerçekleştirilmiştir. Programlar şöyledir:

```
function [P0]=donus(a,b,c,d,e,f,g,h,aci)
T01=[1 0 0 0;0 1 0 0;0 0 1 a;0 0 0 1]...
    * [sin(aci(1)) cos(aci(1)) 0 0;-cos(aci(1)) sin(aci(1)) 0 0;0 0 1
0;0 0 0 1];
T12=[1 0 0 0;0 1 0 0;0 0 1 b;0 0 0 1]...
    * [cos(pi/2) -sin(pi/2) 0 0;sin(pi/2) cos(pi/2) 0 0;0 0 1 0;0 0 0
1]...
    * [1 0 0 0;0 cos(pi/2) -sin(pi/2) 0;0 sin(pi/2) cos(pi/2) 0;0 0 0
1]...
    * [cos(aci(2)) -sin(aci(2)) 0 0;sin(aci(2)) cos(aci(2)) 0 0;0 0 1
0;0 0 0 1];
T23=[1 0 0 c;0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1]...
    * [cos(pi/2) 0 sin(pi/2) 0;0 1 0 0;-sin(pi/2) 0 cos(pi/2) 0;0 0 0
1]...
    * [cos(pi/2) -sin(pi/2) 0 0;sin(pi/2) cos(pi/2) 0 0;0 0 1 0;0 0 0
1]...
```

```

    * [cos(aci(3)) -sin(aci(3)) 0 0; sin(aci(3)) cos(aci(3)) 0 0; 0 0 1
0; 0 0 0 1];

```

```

T34=[1 0 0 0; 0 1 0 0; 0 0 1 d; 0 0 0 1]...

```

```

    * [cos(pi/2) -sin(pi/2) 0 0; sin(pi/2) cos(pi/2) 0 0; 0 0 1 0; 0 0 0
1]...

```

```

    * [cos(pi/2) 0 sin(pi/2) 0; 0 1 0 0; -sin(pi/2) 0 cos(pi/2) 0; 0 0 0
1]...

```

```

    * [cos(aci(4)) -sin(aci(4)) 0 0; sin(aci(4)) cos(aci(4)) 0 0; 0 0 1
0; 0 0 0 1];

```

```

T45=[1 0 0 e; 0 1 0 0; 0 0 1 0; 0 0 0 1]...

```

```

    * [cos(pi/2) 0 sin(pi/2) 0; 0 1 0 0; -sin(pi/2) 0 cos(pi/2) 0; 0 0 0
1]...

```

```

    * [cos(pi/2) -sin(pi/2) 0 0; sin(pi/2) cos(pi/2) 0 0; 0 0 1 0; 0 0 0
1]...

```

```

    * [cos(aci(5)) -sin(aci(5)) 0 0; sin(aci(5)) cos(aci(5)) 0 0; 0 0 1
0; 0 0 0 1];

```

```

T56=[1 0 0 0; 0 1 0 0; 0 0 1 f; 0 0 0 1]...

```

```

    * [cos(pi/2) -sin(pi/2) 0 0; sin(pi/2) cos(pi/2) 0 0; 0 0 1 0; 0 0 0
1]...

```

```

    * [cos(pi/2) 0 sin(pi/2) 0; 0 1 0 0; -sin(pi/2) 0 cos(pi/2) 0; 0 0 0
1]...

```

```

    * [cos(aci(6)) -sin(aci(6)) 0 0; sin(aci(6)) cos(aci(6)) 0 0; 0 0 1
0; 0 0 0 1];

```

```

T67=[1 0 0 g; 0 1 0 0; 0 0 1 0; 0 0 0 1]...

```

```

    * [cos(pi/2) 0 sin(pi/2) 0; 0 1 0 0; -sin(pi/2) 0 cos(pi/2) 0; 0 0 0
1]...

```

```

    * [cos(pi/2) -sin(pi/2) 0 0; sin(pi/2) cos(pi/2) 0 0; 0 0 1 0; 0 0 0
1]...

```

```

    * [cos(aci(7)) -sin(aci(7)) 0 0; sin(aci(7)) cos(aci(7)) 0 0; 0 0 1
0; 0 0 0 1];

```

```

T07=T01*T12*T23*T34*T45*T56*T67;

```

```

P0=T07*[0;0;h;1];

```

```

function varargout = arayuz(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @arayuz_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @arayuz_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);

```

```

if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function arayuz_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);
I=imread('resim.jpg');
axis(handles.axes1);
axis off;
imshow(I);
x1=get(handles.slider1, 'Value');
aci=x1*2*pi;aci=aci*180/pi;
set(handles.edit9, 'string', num2str(aci));

x1=get(handles.slider2, 'Value');
aci=x1*2*pi;aci=aci*180/pi;
set(handles.edit10, 'string', num2str(aci));

x1=get(handles.slider3, 'Value');
aci=x1*2*pi;aci=aci*180/pi;
set(handles.edit11, 'string', num2str(aci));

x1=get(handles.slider4, 'Value');
aci=x1*2*pi;aci=aci*180/pi;
set(handles.edit12, 'string', num2str(aci));

x1=get(handles.slider5, 'Value');
aci=x1*2*pi;aci=aci*180/pi;
set(handles.edit13, 'string', num2str(aci));

x1=get(handles.slider6, 'Value');
aci=x1*2*pi;aci=aci*180/pi;
set(handles.edit14, 'string', num2str(aci));

x1=get(handles.slider7, 'Value');
aci=x1*2*pi;aci=aci*180/pi;
set(handles.edit15, 'string', num2str(aci));
hesapla(handles);

function varargout = arayuz_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function slider1_Callback(hObject, eventdata, handles)
x1=get(handles.slider1, 'Value');
aci=x1*2*pi;

```

```

aci=aci*180/pi;
set(handles.edit9, 'string', num2str(aci));
hesapla(handles);
function slider2_Callback(hObject, eventdata, handles)
x1=get(handles.slider2, 'Value');
aci=x1*2*pi;
aci=aci*180/pi;
set(handles.edit10, 'string', num2str(aci));
hesapla(handles);
function slider3_Callback(hObject, eventdata, handles)
x1=get(handles.slider3, 'Value');
aci=x1*2*pi;
aci=aci*180/pi;
set(handles.edit11, 'string', num2str(aci));
hesapla(handles);
function slider4_Callback(hObject, eventdata, handles)
x1=get(handles.slider4, 'Value');
aci=x1*2*pi;
aci=aci*180/pi;
set(handles.edit12, 'string', num2str(aci));
hesapla(handles);
function slider5_Callback(hObject, eventdata, handles)
x1=get(handles.slider5, 'Value');
aci=x1*2*pi;
aci=aci*180/pi;
set(handles.edit13, 'string', num2str(aci));
hesapla(handles);
function slider6_Callback(hObject, eventdata, handles)
x1=get(handles.slider6, 'Value');
aci=x1*2*pi;
aci=aci*180/pi;
set(handles.edit14, 'string', num2str(aci));
hesapla(handles);
function slider7_Callback(hObject, eventdata, handles)
x1=get(handles.slider7, 'Value');
aci=x1*2*pi;
aci=aci*180/pi;
set(handles.edit15, 'string', num2str(aci));
hesapla(handles);

function slider1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', [.9 .9 .9]);
end

function slider2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', [.9 .9 .9]);
end

```

```

function slider3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function slider3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

function slider4_Callback(hObject, eventdata, handles)
function slider4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

function slider5_Callback(hObject, eventdata, handles)

function slider5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

function slider6_Callback(hObject, eventdata, handles)
function slider6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

function slider7_Callback(hObject, eventdata, handles)
function slider7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
hesapla(handles);

function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```
function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
hesapla(handles);
```

```
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
hesapla(handles);
```

```
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
hesapla(handles);
```

```
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
hesapla(handles);
```

```
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
hesapla(handles);
```

```
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```

end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
hesapla(handles);

function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
hesapla(handles);

function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit16_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit16_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit17_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit17_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit18_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit18_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
aci=str2num(get(handles.edit9,'string'));
x=aci/360;
set(handles.slider1,'value',x);

```

```

hesapla(handles);

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
aci=str2num(get(handles.edit10, 'string'));
x=aci/360;
set(handles.slider2, 'value', x);
hesapla(handles);

function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)
aci=str2num(get(handles.edit11, 'string'));
x=aci/360;
set(handles.slider3, 'value', x);
hesapla(handles);

function edit12_Callback(hObject, eventdata, handles)
aci=str2num(get(handles.edit12, 'string'));
x=aci/360;
set(handles.slider4, 'value', x);
hesapla(handles);

function edit13_Callback(hObject, eventdata, handles)
aci=str2num(get(handles.edit13, 'string'));
x=aci/360;
set(handles.slider5, 'value', x);
hesapla(handles);

function edit14_Callback(hObject, eventdata, handles)
aci=str2num(get(handles.edit14, 'string'));
x=aci/360;
set(handles.slider6, 'value', x);
hesapla(handles);

function edit15_Callback(hObject, eventdata, handles)
aci=str2num(get(handles.edit15, 'string'));
x=aci/360;
set(handles.slider7, 'value', x);
hesapla(handles);

function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

```

```

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit12_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

function edit12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit13_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

function edit13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit14_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit14_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit15_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

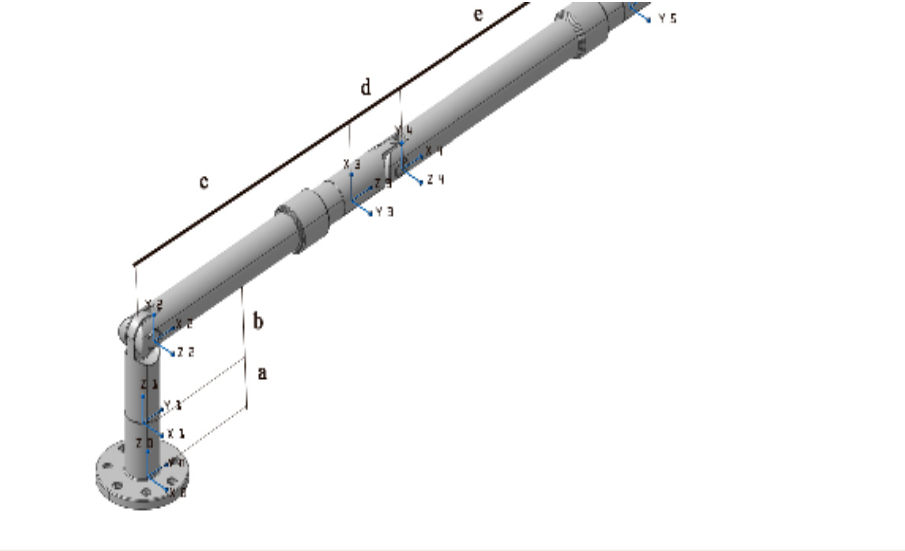
function edit15_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

end

```
function hesapla(handles)
a=str2num(get(handles.edit1,'string'));
b=str2num(get(handles.edit2,'string'));
c=str2num(get(handles.edit3,'string'));
d=str2num(get(handles.edit4,'string'));
e=str2num(get(handles.edit5,'string'));
f=str2num(get(handles.edit6,'string'));
g=str2num(get(handles.edit7,'string'));
h=str2num(get(handles.edit8,'string'));
x1=get(handles.slider1,'Value');
aci(1)=x1*2*pi;
x1=get(handles.slider2,'Value');
aci(2)=x1*2*pi;
x1=get(handles.slider3,'Value');
aci(3)=x1*2*pi;
x1=get(handles.slider4,'Value');
aci(4)=x1*2*pi;
x1=get(handles.slider5,'Value');
aci(5)=x1*2*pi;
x1=get(handles.slider6,'Value');
aci(6)=x1*2*pi;
x1=get(handles.slider7,'Value');
aci(7)=x1*2*pi;
[P0]=donus(a,b,c,d,e,f,g,h,aci);
X=P0(1);
Y=P0(2);
Z=P0(3);
set(handles.edit16,'string',num2str(X));
set(handles.edit17,'string',num2str(Y));
set(handles.edit18,'string',num2str(Z));
```

Bu denklemlere göre Matlab'de bir arayüz oluşturulmuş ve girilen açı değerleriyle probun konum koordinatları çıktısı elde edilmiştir.



The diagram shows a probe with segments labeled a through e. It includes five coordinate systems: X1-Z1 at the base, X2-Z2 at the first joint, X3-Z3 at the second joint, X4-Z4 at the third joint, and X5-Z5 at the tip. The segments are labeled a, b, c, d, and e.

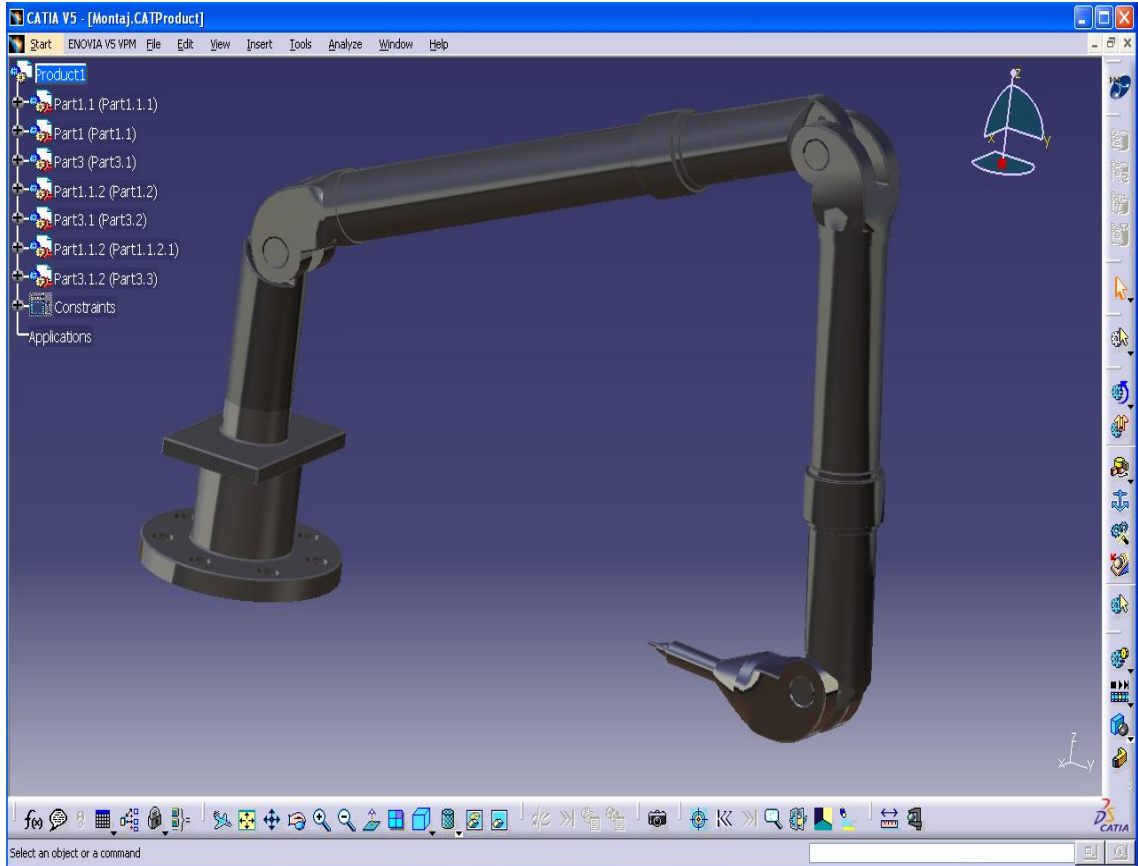
Kol Uzunluklari	
a	5
b	7
c	23
d	7
e	27
f	7
g	10
h	10

Panel	
aci1	30
aci2	50
aci3	120
aci4	60
aci5	150
aci6	10
aci7	50

Panel		
X	2.9823	Y
		14.6106
Z	36.9292	

ÇİZİM VE ANALİZ VERİSİ

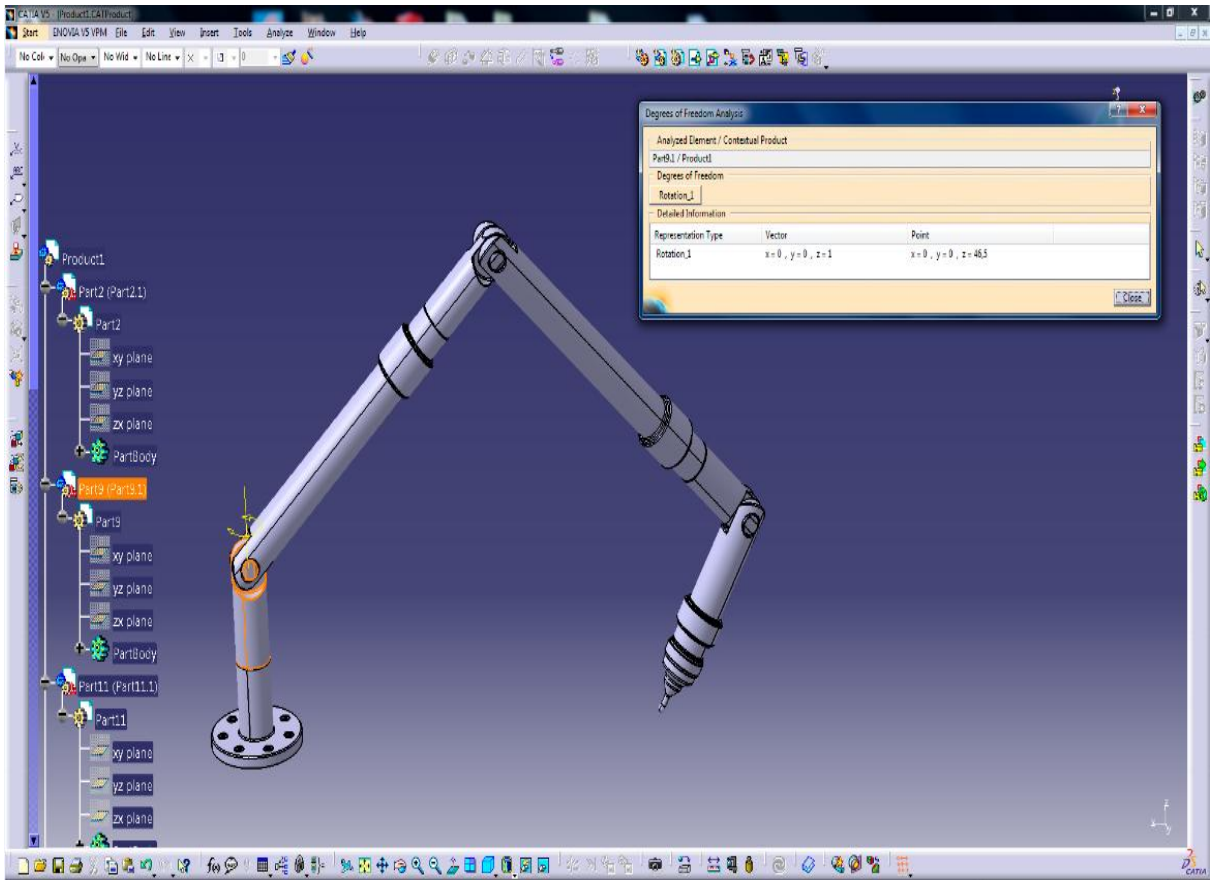
Mafsal kollu CMM'lerin tasarımında başka kinematik modeller de söz konusudur. Şekillerde görüldüğü gibi, 2. bir modelde kol bağlantılarında aksenal kaçıklıklar mevcuttur. Bu 2. model ele alınırsa hareket denklemleri ilk kinematik modele göre değişecektir. Bunun gibi bir çok kinematik model tasarımı yapılabilir.

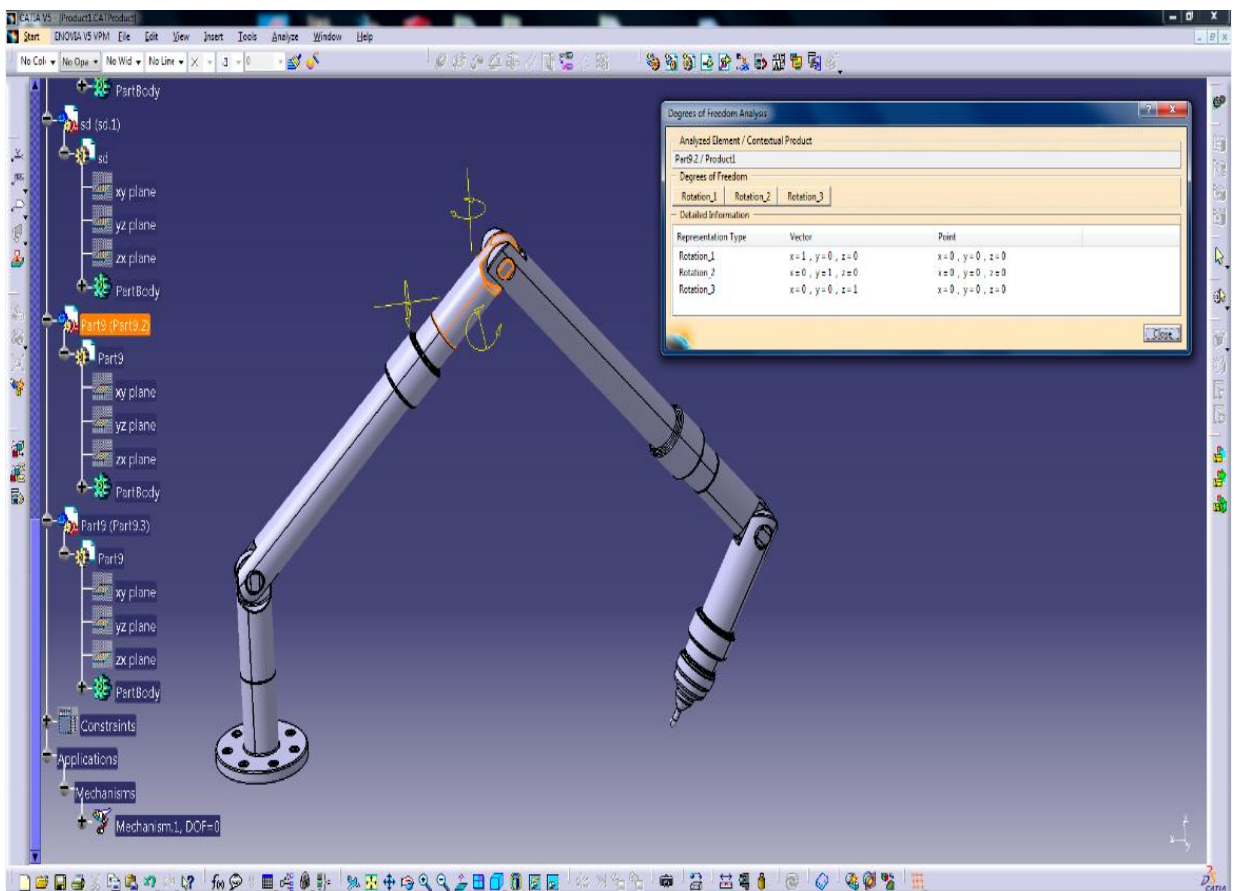
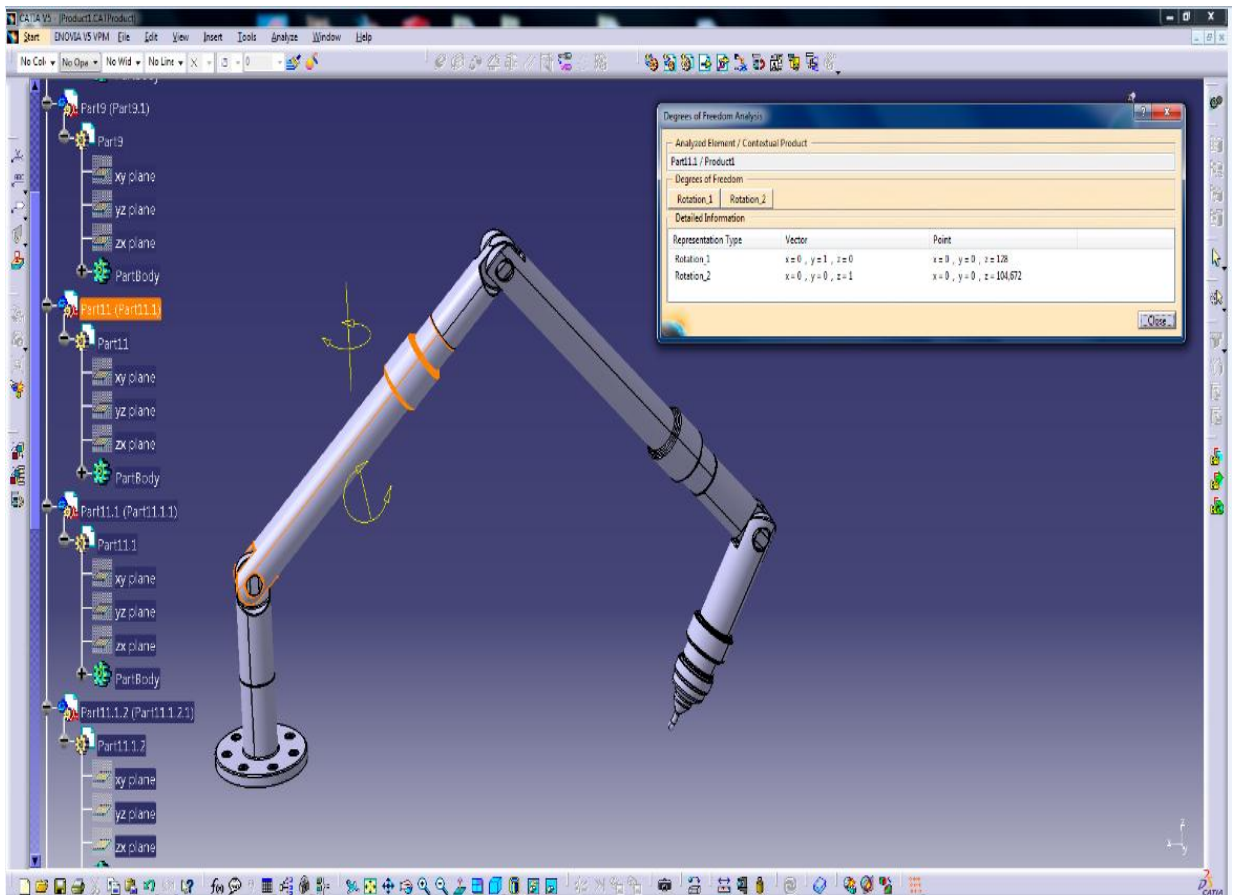


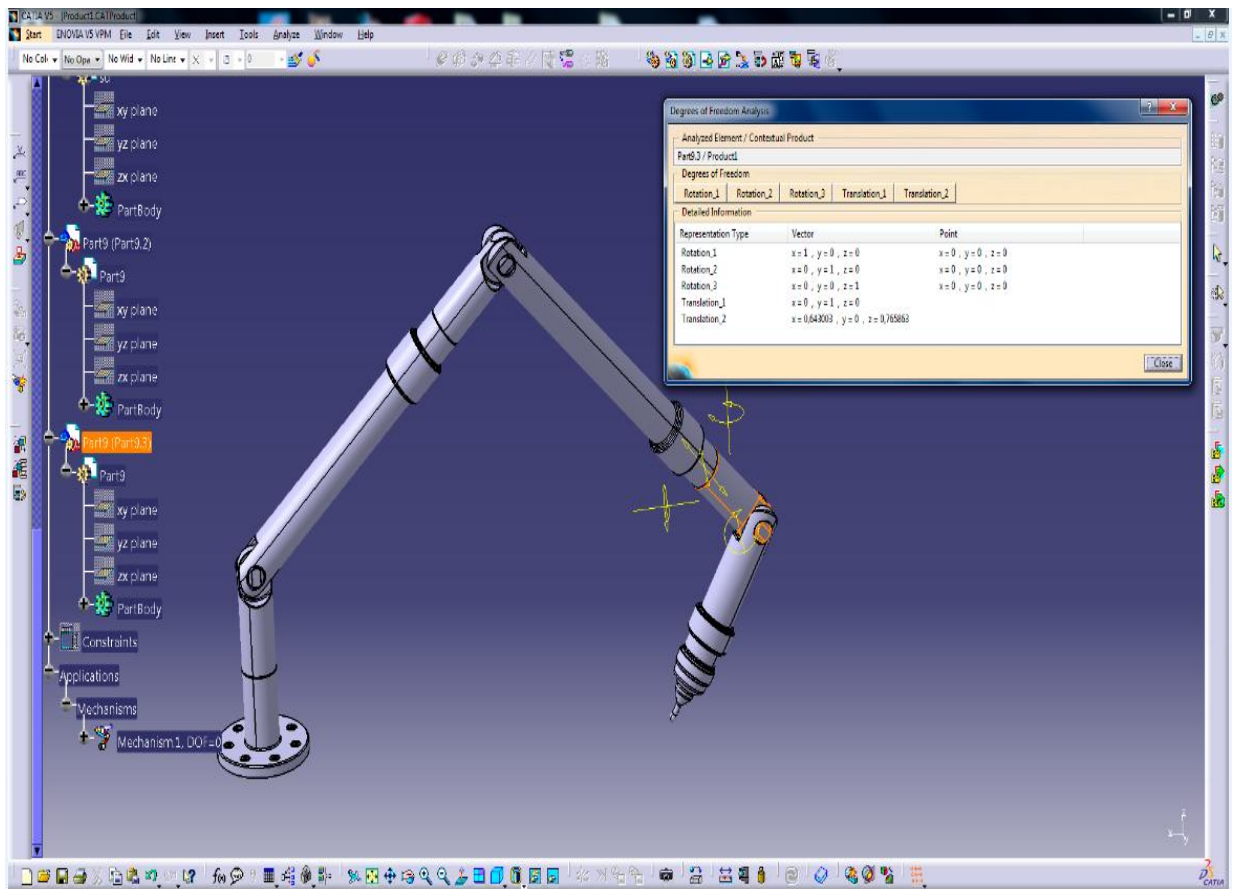
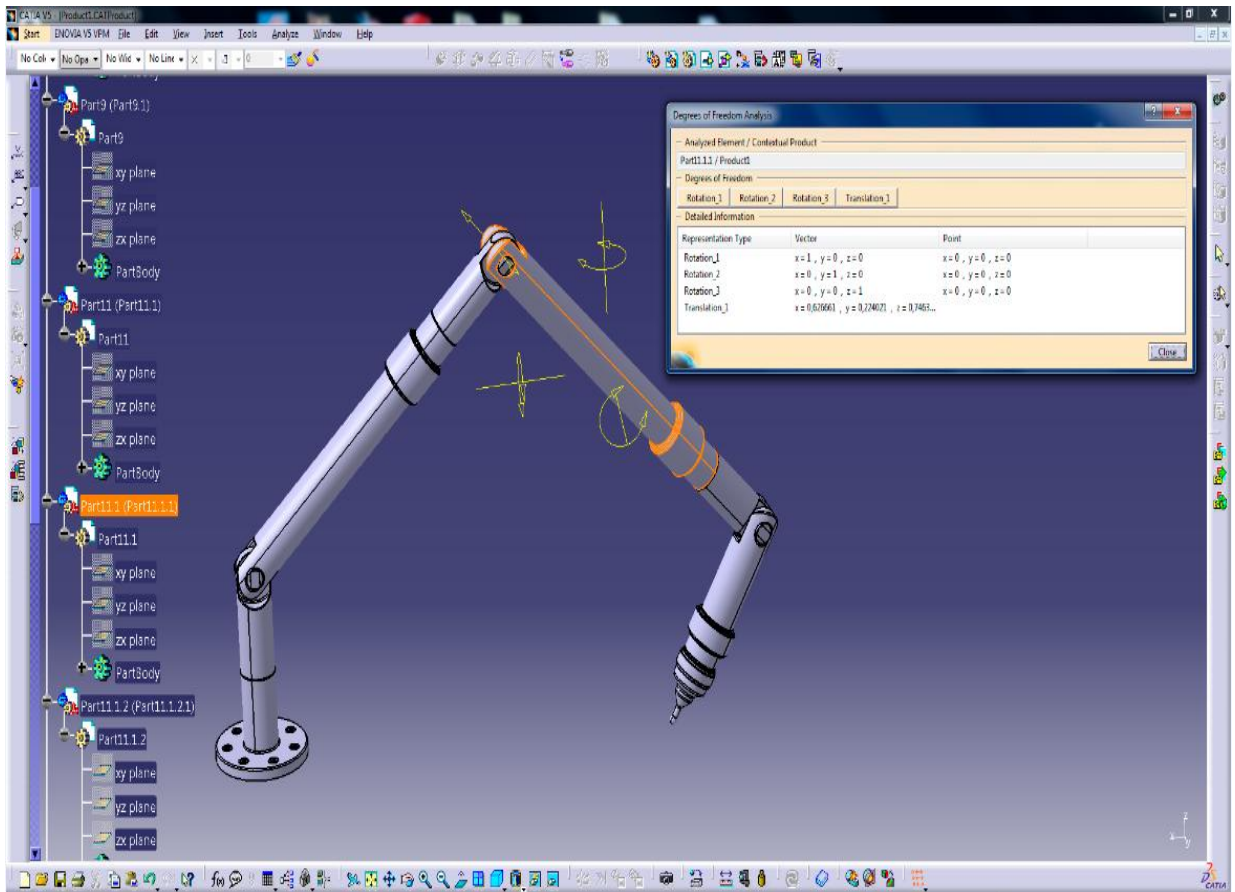


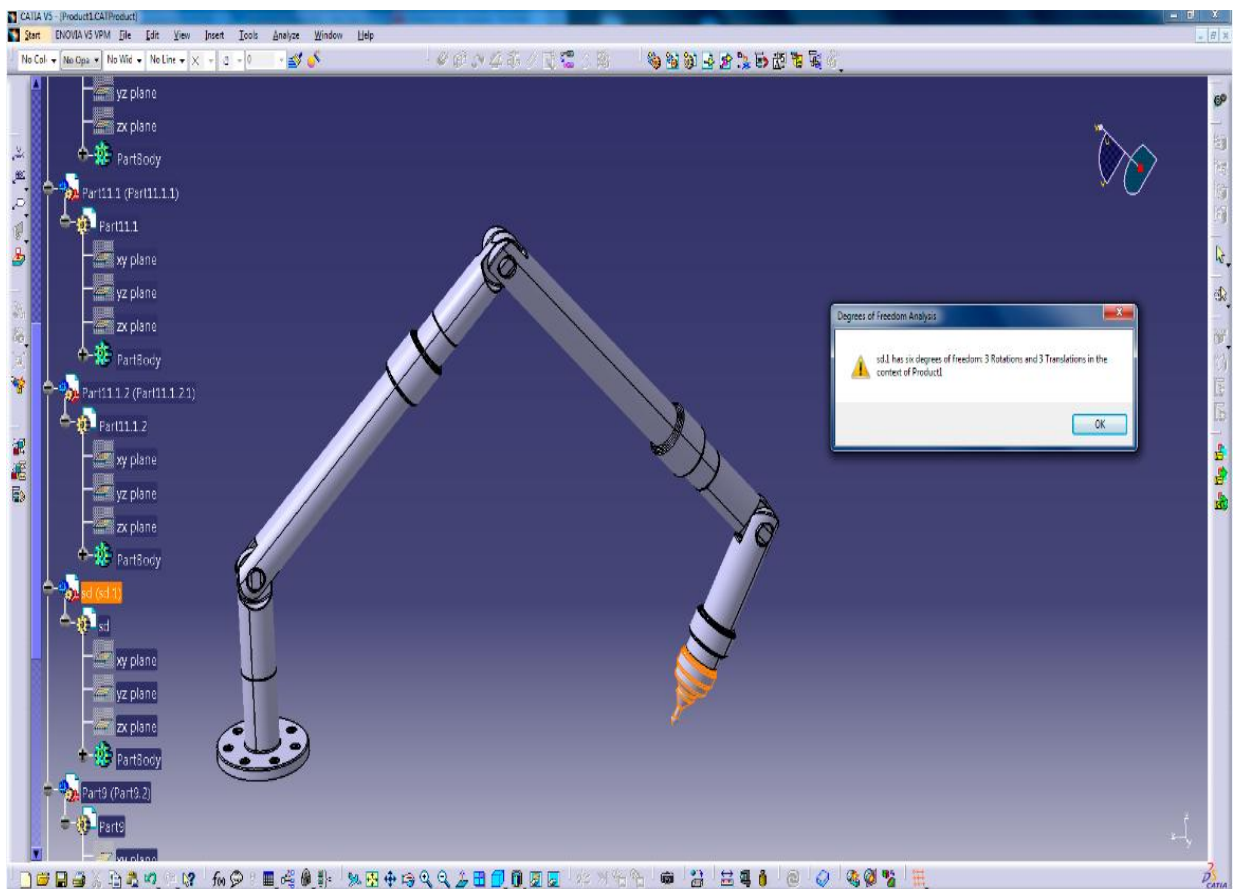
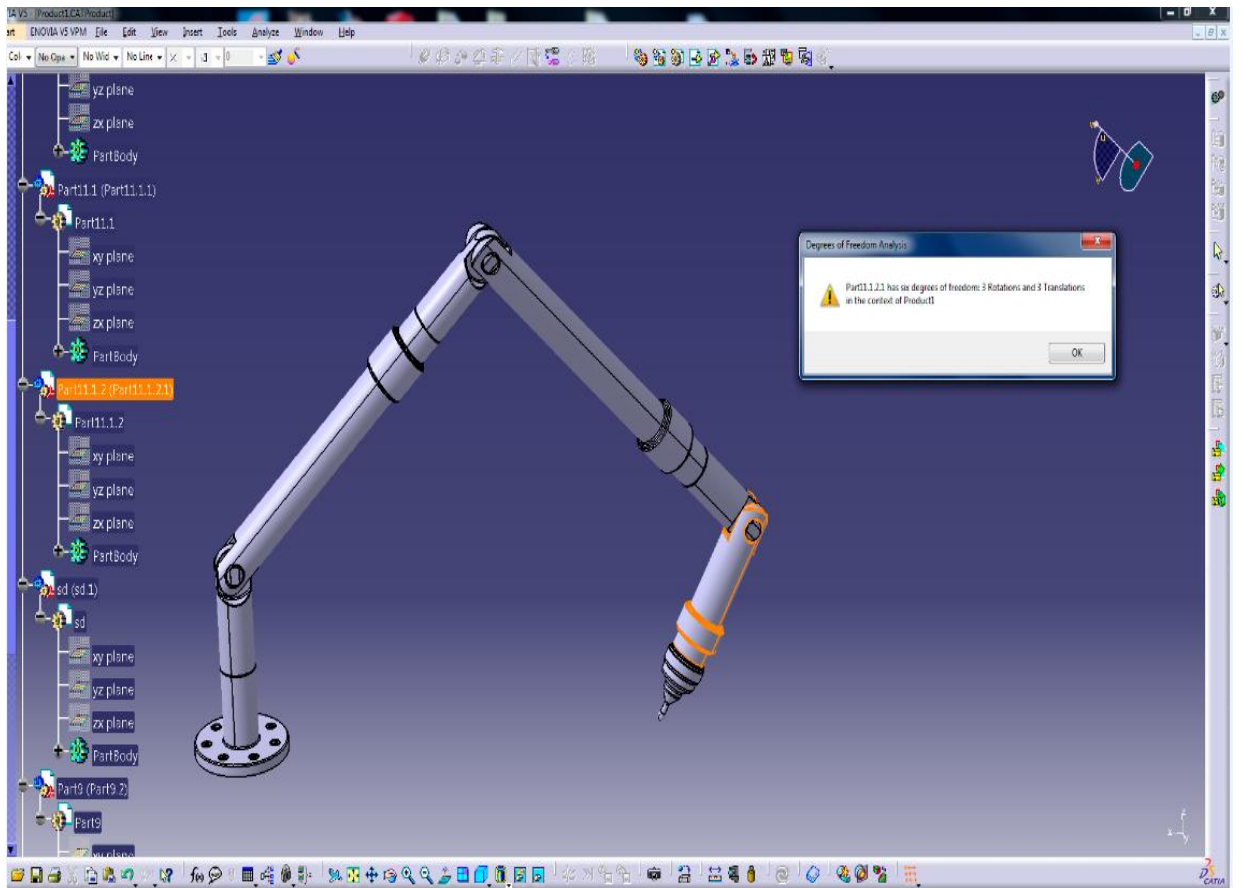
Her bir Parçanın Serbestlik Derecelerinin Bulunması:

Bu işlem Catia'da parça seçildikten sonra Analyze kısmında Degree of Freedom seçeneğiyle gerçekleştirilmiştir.



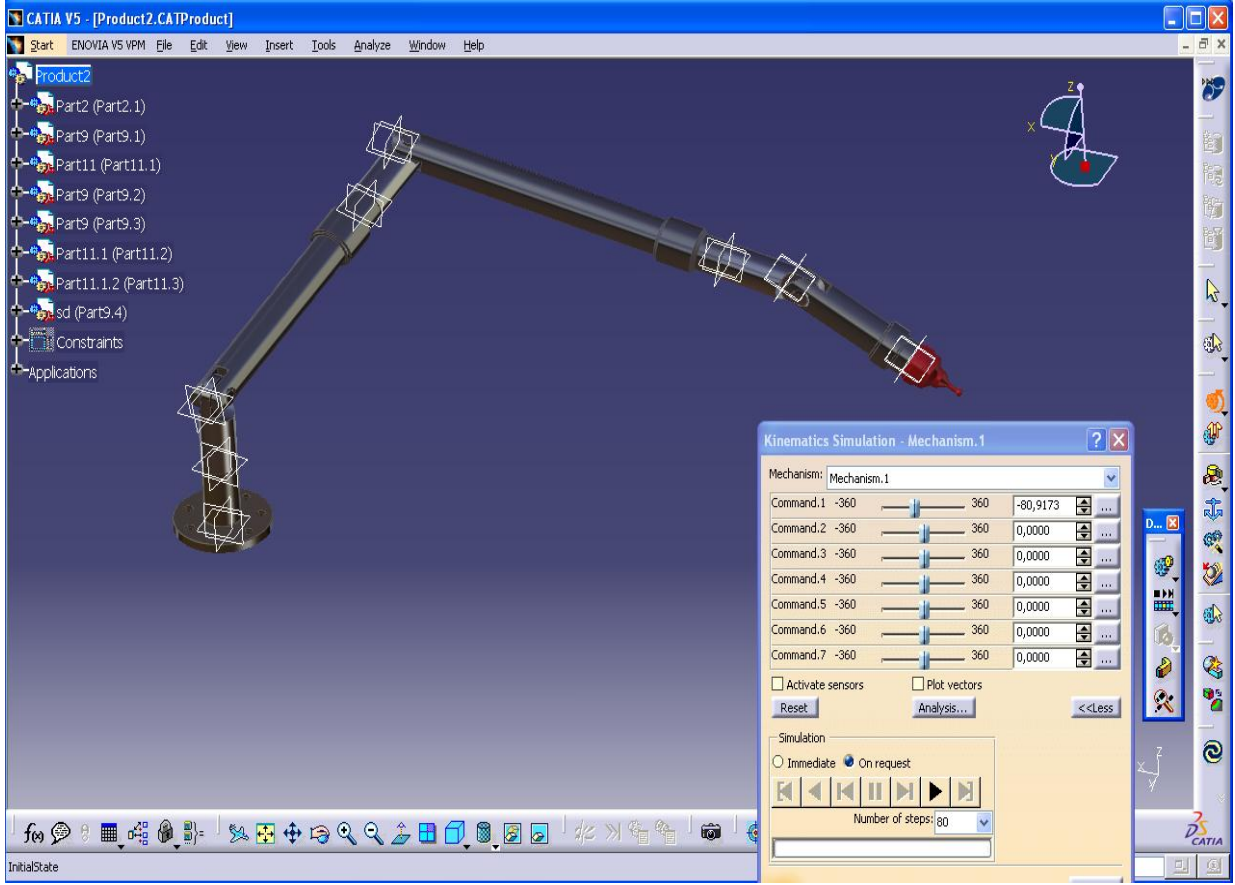




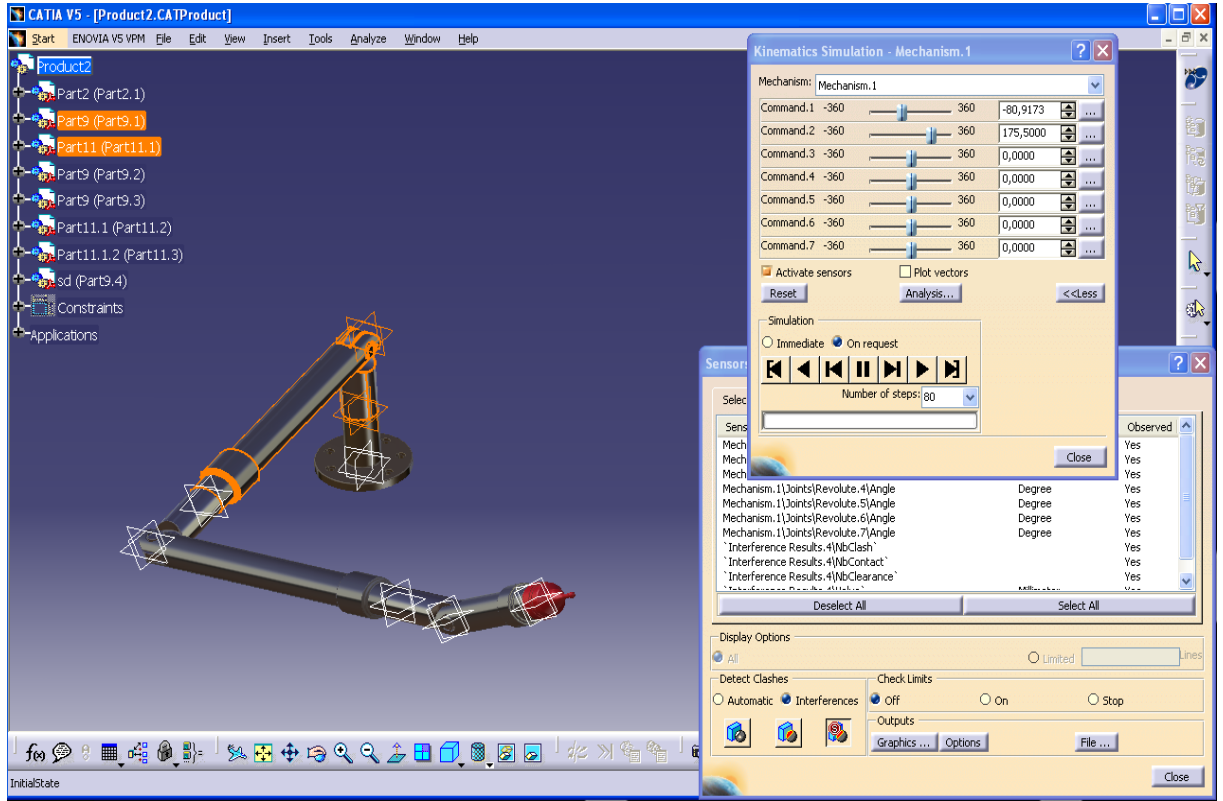


Her bir Bağlantıdaki Çarpma Analizlerinin Gerçekleştirilmesi

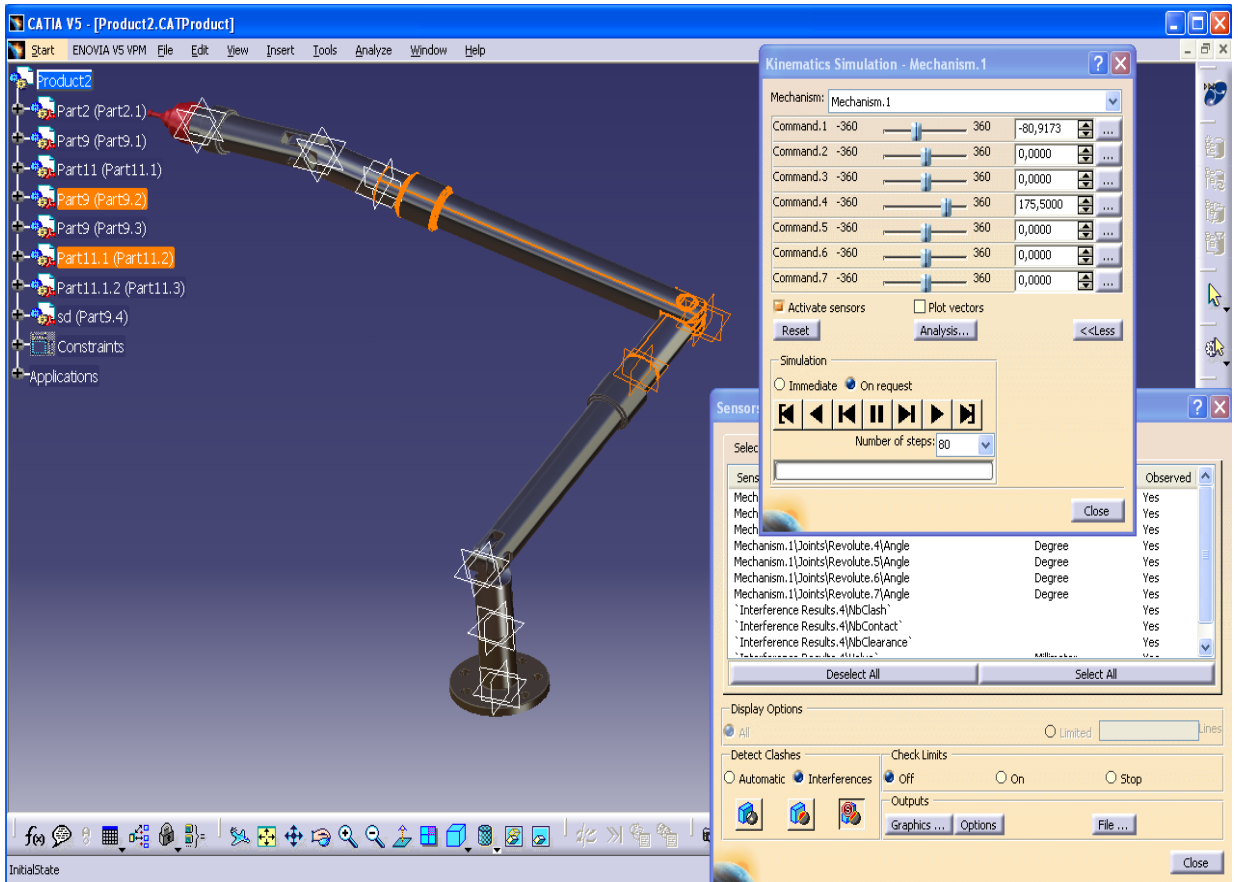
Kolun örnek alınan ölçülerine göre Catia'da analizler yapılmıştır.



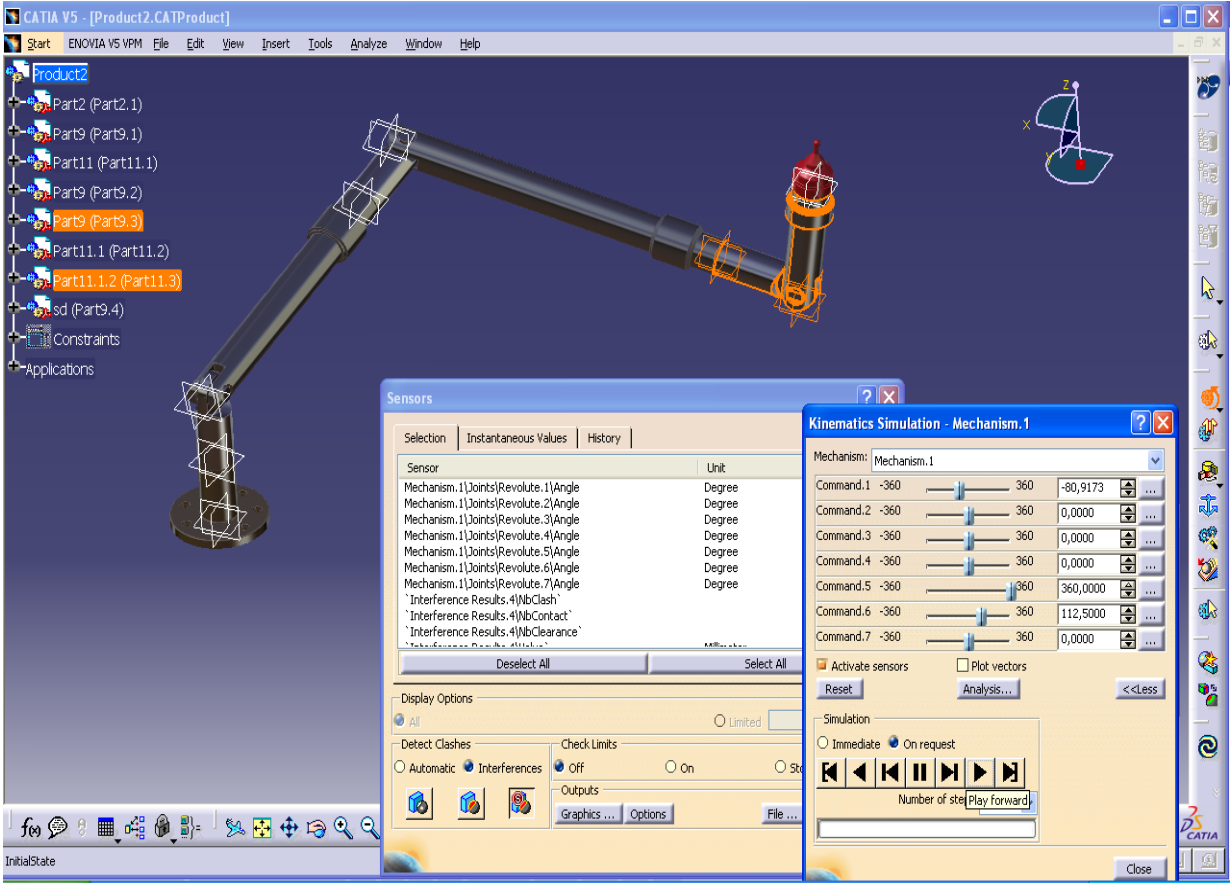
Bağlantılardaki çarpma analiziyle(crash analysis) hangi noktada çarpma olacağı belirlenir. Bunu için Digital Mockup bölümünden DMU Kinematics seçeneğine girilmiştir. Başlangıç modülü ve açıları yukarıda gösterilmiştir.



Görülen bağlantıda ilk çarpma 175,5 derecede gerçekleşmiştir.



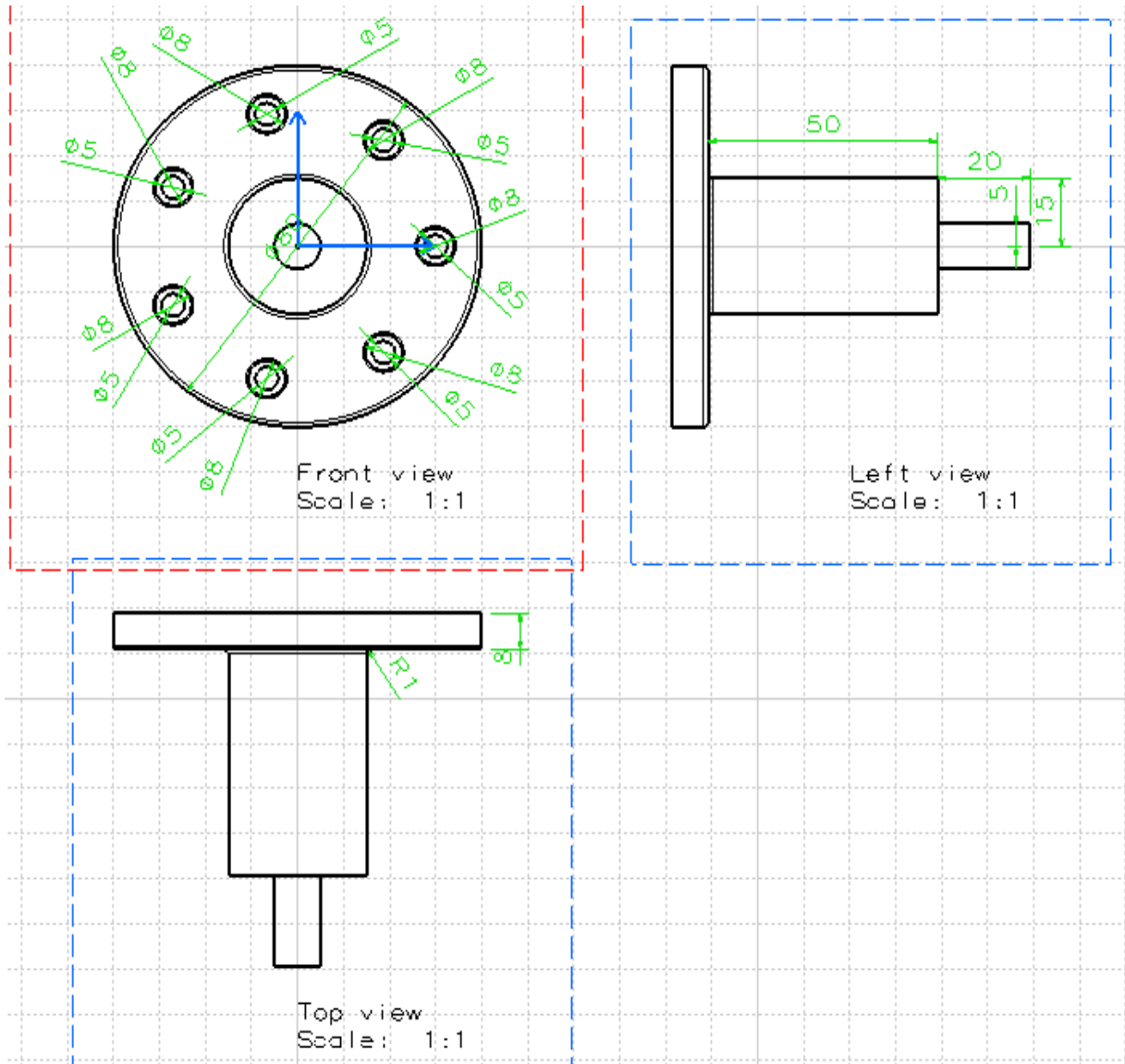
Görülen bağlantıda ilk çarpma 175,5 derecede gerçekleşmiştir.



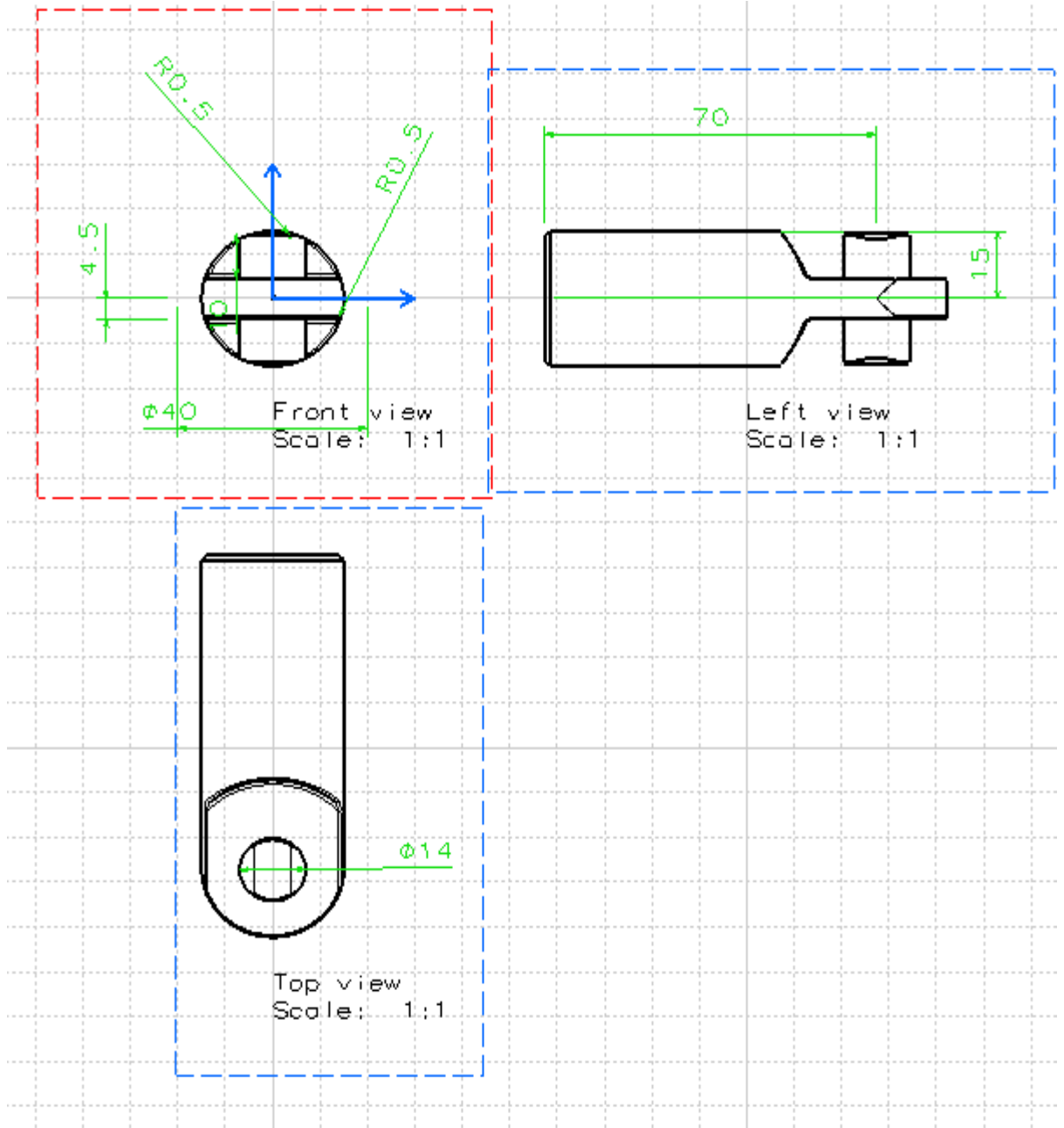
Görülen bağlantıda ilk çarpma 112,5 derecede gerçekleşmiştir.

PARÇALARIN TEKNİK RESMİ

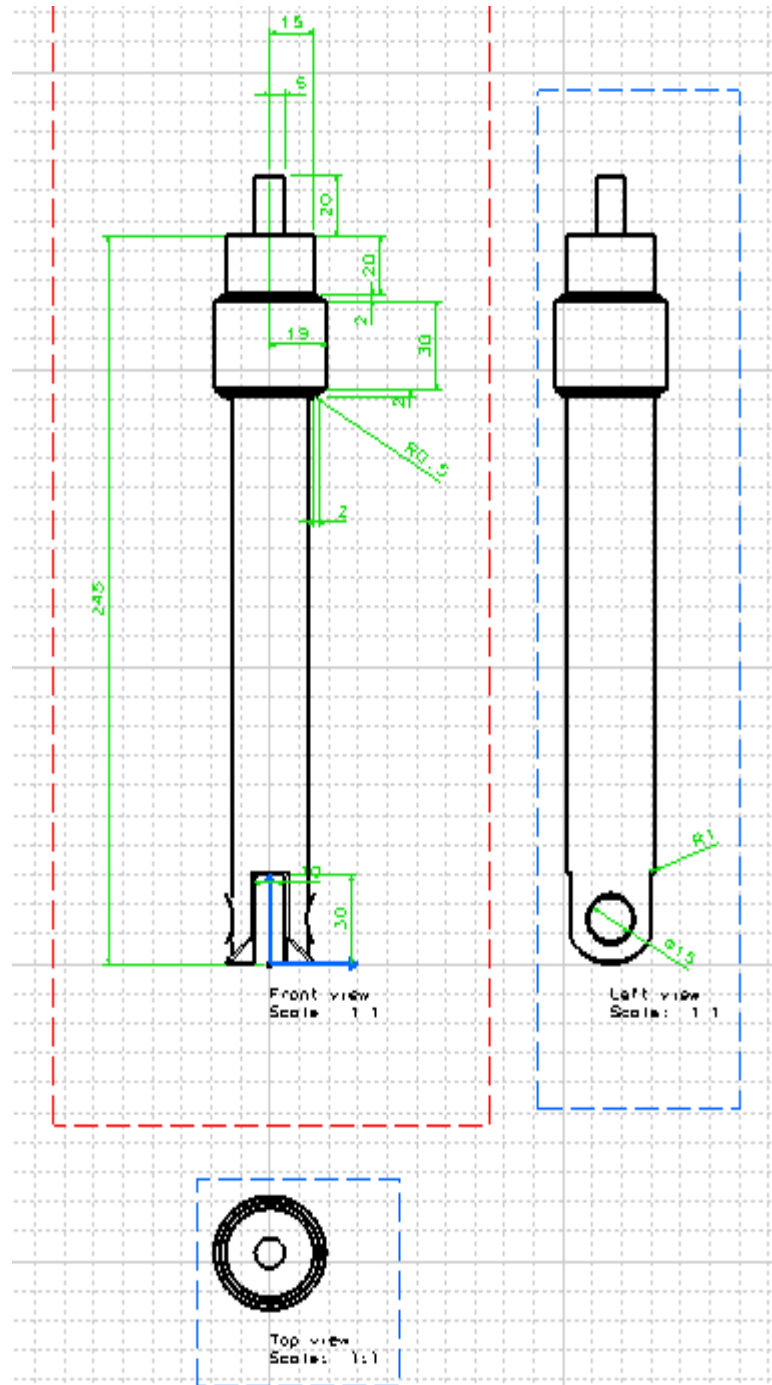
Part2-Base



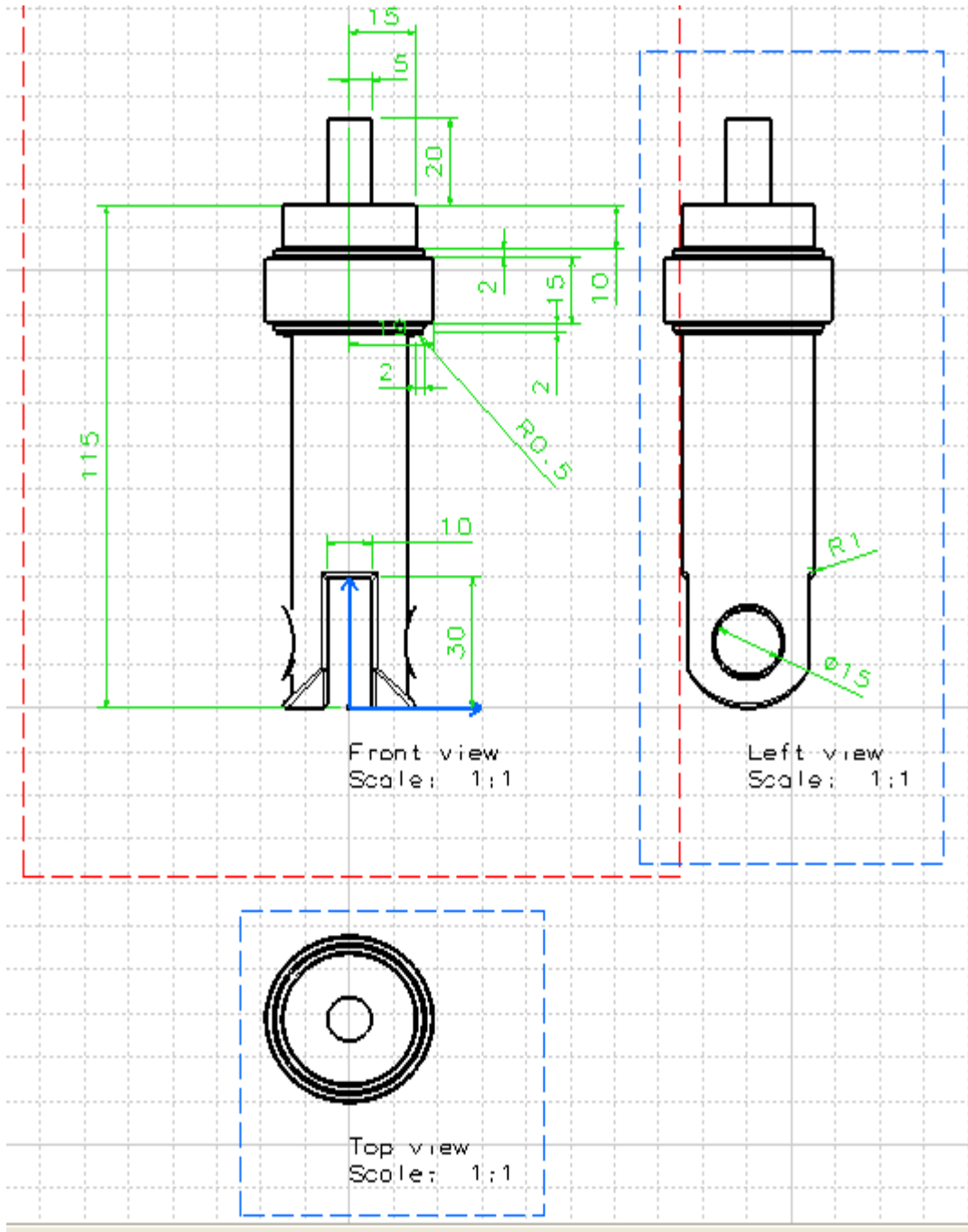
Part 9-A1

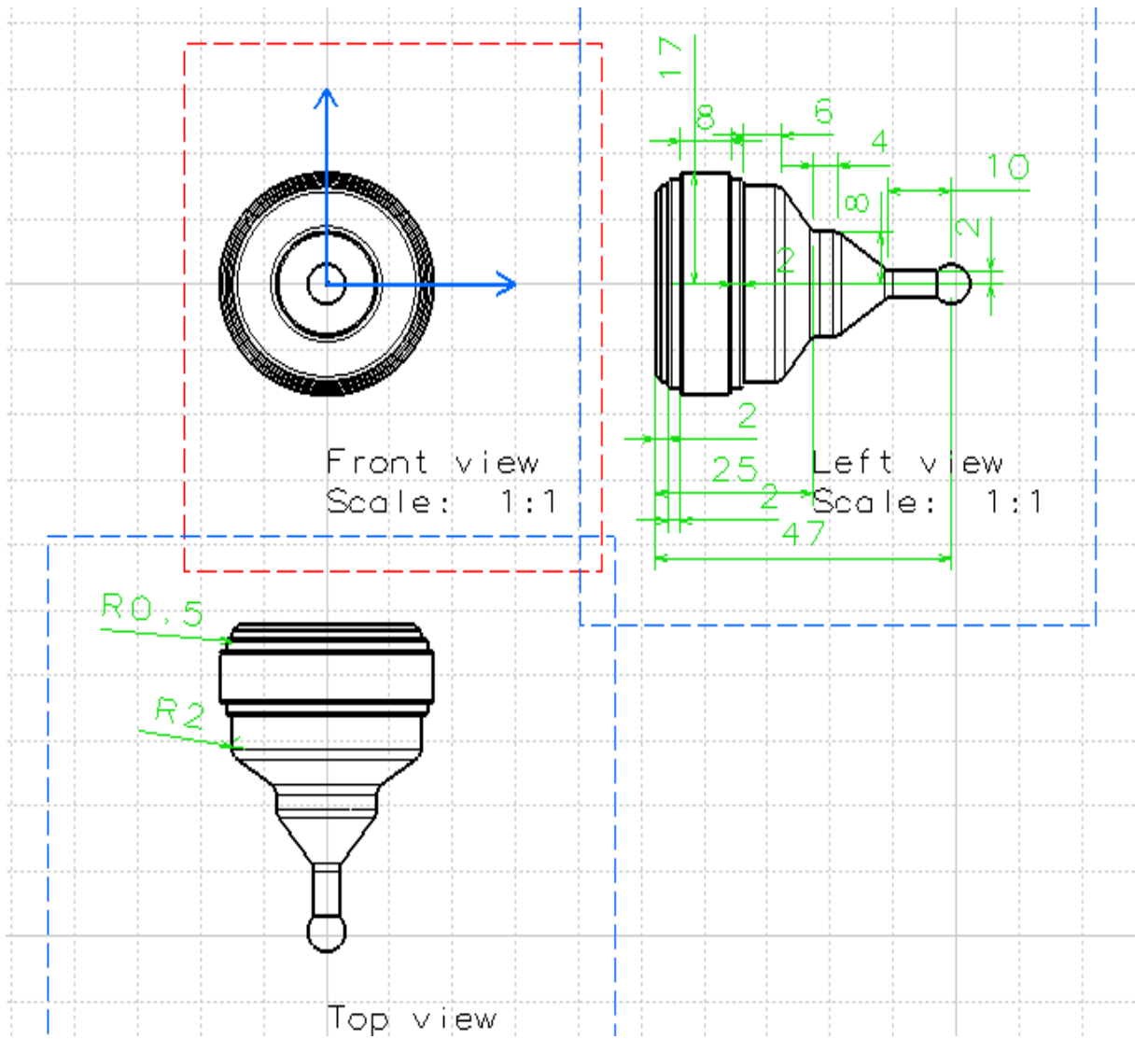


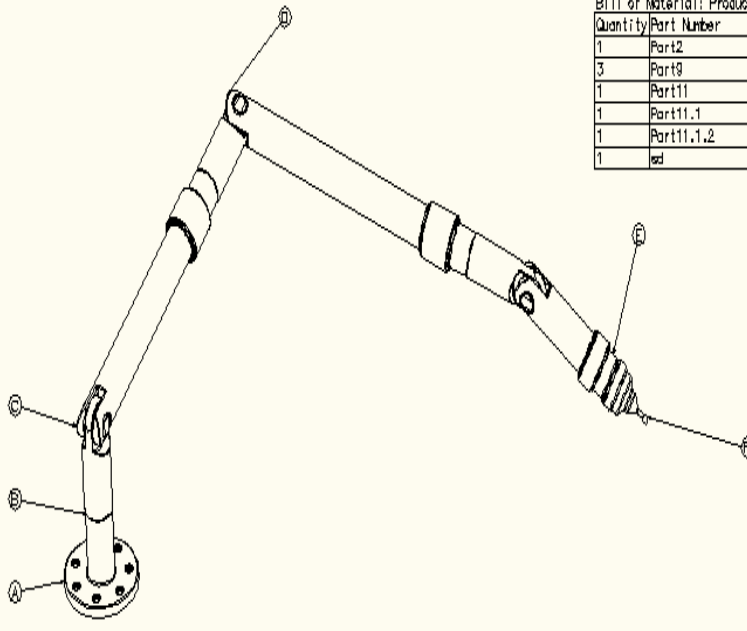
Part11-A2



Part 11.1.2-A4







Isometric view
Scale: 1:2

Bill of Material: Product2

Quantity	Part Number	Type	Nomenclature	Revision
1	Part2	Part		
3	Part9	Part		
1	Part11	Part		
1	Part11.1	Part		
1	Part11.1.2	Part		
1	ed	Part		

Recapitulation of: Product2

Different parts: 6

Total parts: 8

Quantity	Part Number
1	Part2
3	Part9
1	Part11
1	Part11.1
1	Part11.1.2
1	ed

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Cem YURCİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.10.1982 / İstanbul
Yabancı Dili : Almanca ve İngilizce
E-posta : yurci_cem@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Üniv.	-
Lisans	Makine Müh.	İstanbul Teknik Üniv.	2005
Lise	Fen/Matematik	İstanbul Lisesi	2001