

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

**PROTEZ KOL MEKANİK TASARIMI**

**Tezi Hazırlayan  
Seyit KALINKARA**

**Tezi Yöneten  
Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILMAZ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2009  
KAYSERİ**

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

**PROTEZ KOL MEKANİK TASARIMI**

**Tezi Hazırlayan  
Seyit KALINKARA**

**Tezi Yöneten  
Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILMAZ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2009  
KAYSERİ**

Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILMAZ danışmanlığında Seyit KALINKARA tarafından hazırlanan “Protez Kol Mekanik Tasarımı” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

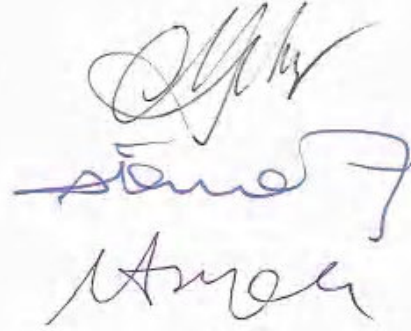
28.06.2009  
(Tez Savunma Sınav Tarihi Yazılacak)

**JÜRİ:**

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILMAZ

Üye : Prof. Dr. İbrahim UZMAY

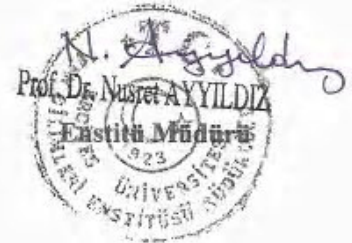
Üye : Prof. Dr. Musa Hakan ASYALI



**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 03/07/2009 tarih ve 2009/21-12 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

03.07.2009



## **TEŞEKKÜR**

“Protez Kol Mekanik Tasarımı” konulu tez çalışmasında yardımlarını esirgemeyen hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILMAZ’a teşekkür ederim.

**PROTEZ KOL MEKANİK TASARIMI**

**Seyit KALINKARA**  
**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2009**  
**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILMAZ**

**ÖZET**

İkinci Dünya Savaşı'ndan bu yana hastalık, savaş ve kazalarda kol ve bacaklarını yitiren kişiler, uzun yıllar tasarımı neredeyse hiç değişmeyen protezlerle idare etmek zorunda kalmışlardır. Bu protezler kişinin sadece görsel yönden eksikliğini gidermekte ancak herhangi bir insan kolu hareketini yerine getirememektedir. Fakat son yıllarda bu yönde yapılan çalışmalar görüntüsü ve işleviyle insan koluna benzer protezler ortaya çıkarmıştır. Yapılan çalışmayla yeni bir protez kol tasarımı ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın birinci bölümünde protez kollar ve bu konudaki gelişmeler hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

İkinci bölümünde robot kolların genel yapısı ve kullanılan elemanların tipleri ve kullanılış şekilleri hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde yapılan yeni protez kol tasarımının yapısı, kullanılan motor ve redüktör tipleri, kinematik parametreleri hakkında ayrıntılı hesaplar ve bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde ise yapılan tasarım çeşitli yönlerden irdelenerek eksikleri ve avantajları değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Protez kol tasarımı, robot kol, robot mafsalları

## **MECHANICAL DESIGN OF PROSTHETIC ARM**

**Seyit KALINKARA**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**M.Sc. Thesis, June 2009**

**Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa YILMAZ**

### **ABSTRACT**

Since world war II., people who lost their arms and legs by illness, wars and accidents had to suffice with artificial arm and leg design that did not change over a long period of time .These artificial organs have being used only for disguising visual absence but not for any kind of living human arm movements.But in recent years studies in this subject made possible to produce artificial arms and legs similar to human arms and legs for both visual functional.A new artificial arm designing is produced by these studies.

In the first chapter of this study there are informations about artificial arms and developments in this subject.

In the second chapter, general structure of robot arms, types and using plans of used elements are described.

In the third chapter, structure of newly made artificial arm designing, types of used motors and reducters, detailed calculations and informations about kinemathical parameters are described.

In the fourth chapter, the designing that is made is examined from various directions.And its advantages and deficients are measured.

**Keywords:** designing of artificial arm, robot arm, robot joints.

**İÇİNDEKİLER**

KABUL VE ONAY .....	i
TEŞEKKÜR. ....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TABLolar LİSTESİ .....	vii
ŞELİLLER LİSTESİ .....	viii
1.BÖLÜM	
GİRİŞ. ....	1
1.1. Konunun Önemi. ....	1
1.2. Günümüzde protez teknolojisi. ....	1
1.3. Günümüz protezlerinde karşılaşılan zorluklar. ....	4
1.4. Protez Kolların Çeşitleri ve Kontrolü	
1.5. Çalışmanın Amacı. ....	6
2.BÖLÜM	
BİYONİK KOLLARIN GENEL YAPISI. ....	7
2.1. İnsan kolunun genel yapısı. ....	7
2.2. Robot Kollarda Kullanılan Elemanlar. ....	13
2.2.1. Tahrik Motoru. ....	13
2.2.1.1. Servo Motor Tanımı. ....	13
2.2.1.2. Servo Motor Çeşitleri .....	13
2.2.1.2.1. DA Servo Motor. ....	14

2.2.1.2.2. DA Motorun Yapısı. . . . .	15
2.2.1.2.2.1. Stator. . . . .	16
2.2.1.2.2.2. Rotor. . . . .	17
2.2.1.2.2.3. Yatak Gövde. . . . .	17
2.2.1.2.2.4. Sargılar . . . . .	17
2.2.1.2.3. Servo Motorun Çalışması. . . . .	18
2.2.1.2.4. DA Servo Motor Çeşitleri. . . . .	19
2.2.1.2.2. AA Servo Motorlar. . . . .	20
2.2.1.2.3. İki-faz Servo Motor. . . . .	21
2.2.1.2.4. Üç Fazlı Servo Motorlar. . . . .	22
2.2.1.3. Servo Motor Sürücülerinin Teknik Özellikleri. . . . .	23
2.2.1.3.1. Servo Sürücüler. . . . .	23
2.2.1.3.1.1. DA Servo Sürücüler. . . . .	23
2.2.1.3.1.2. AA Servo Sürücüler. . . . .	24
2.2.1.4. Geri Besleme Elemanı. . . . .	25
2.2.2. Redüktörler. . . . .	25
2.2.2.1. Planet Dişli Sistemleri. . . . .	25
2.2.2.1.1. Planet Dişli Sistemlerini Meydana Getiren Elemanlar. . . . .	29
2.2.2.2. Harmonik Dişlili Redüktörler. . . . .	31
2.2.3. Enkoderler. . . . .	34
2.2.3.1. Enkoder Tipleri . . . . .	34

2.2.3.2. Algılama Teknolojisi. . . . .	35
2.2.3.2.1. Optik Algılama. . . . .	35
2.2.3.2.2 Manyetik Algılama. . . . .	37
2.2.3.2.2.1. Manyetik Pick-Up. . . . .	37
2.2.3.2.2.2. Hall-Effect veya Manyetoresistif. . . . .	38
2.2.3.3. Enkoderlerin Montajı. . . . .	39
2.2.3.4. Enkoderlerin Mekanik Kurulumu. . . . .	42
2.2.4. Frenler . . . . .	43
2.2.4.1. Motor Frenleme Yöntemleri. . . . .	43
2.2.4.1.1. Balatalı Frenleme . . . . .	43
2.2.4.1.2. Dinamik Frenleme . . . . .	44
2.2.4.1.3. Ani Durdurma. . . . .	45
2.2.4.2. Elektromagnetik Frenler. . . . .	45
2.2.5.Yataklar. . . . .	47
2.2.5.1. Rulmanlar. . . . .	47
2.2.5.2. Özellikler ve Uygulamalar. . . . .	49
2.2.5.3. Kayar Yataklar . . . . .	50
2.2.5.4.Yatak Malzemesinden Beklenen Özellikler. . . . .	54
2.2.5.6.Yatak Malzemeleri. . . . .	54

### 3.BÖLÜM

HAFİF AĞIRLIKLIL BİYONİK KOL TASARIMI. ....	60
3.1.Yapılan Tasarımın Genel Yapısı ve İstenen Özellikler .....	60
3.2. Mafsalların Yapısı. ....	60
3.4. Protez Kolun Kinematik Parametreleri .....	74
3.4.1. Düz Kinematik. ....	74
3.4.1.1. Denavit-Hartenberg(DH) Dönüşümleri. ....	75
3.4.1.2. Protez Kol d-h Parametreleri. ....	77
3.4.2. Ters Kinematik. ....	79
3.5. Protez Kol Animasyonu. ....	81

### 4. BÖLÜM

SONUÇLAR. ....	84
4.1. Giriş .....	84
4.2. İrdeme. ....	84
KAYNAKLAR. ....	86
ÖZGEÇMİŞ. ....	87

**TABLolar LİSTESİ**

Tablo 3.1.	Biyonik kol tasarımında kullanılan motor çeşitleri . . . . .	61
Tablo 3.2.	Biyonik kol tasarımında kullanılan redüktörlerin özellikleri. . . . .	61
Tablo 3.1.	İstenen pozisyona göre elde edilen mafsalsal açıları. . . . .	81

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Çeşitli serbestlik dereceleri . . . . .	8
Şekil 2.2. Bilekteki temel 2 hareket . . . . .	8
Şekil 2.3. Kol kemik yapısı. . . . .	9
Şekil 2.4. Kolun dönme hareketine imkan veren kemik yapısı. . . . .	10
Şekil 2.5. Endüstriyel bir robot. . . . .	10
Şekil 2.6. İki boyutlu bir kolun nerelere ulaşabileceğini gösteren diyagram . . . . .	11
Şekil 2.7. İnsan vücudunun üst kısmı için koordinat sistem atanması. . . . .	12
Şekil 2.8. DA Motor. . . . .	15
Şekil 2.9. Fırçasız servo motorun yapısı ve çalışma sistemi . . . . .	16
Şekil 2.10. Stator sac şekilleri, a)Toplu sarım için, b)Dağılımlı sarım için. . . . .	17
Şekil 2.11.Stator sarım şekilleri a) Toplu sargılı 3-kutuplu ve 3- oyuklu stator kesiti, b) Dağılımlı sargılı 24 oyuklu, 4-kutuplu, 3-fazlı stator kesiti.....	18
Şekil 2.12. a) DA Servo motor alan ve endüvi sargısı, b)Kararlı hız – VA grafiği, c) Moment-hız Grafiği. . . . .	19
Şekil 2.13. DA Servo motor çalışma prensip şeması. . . . .	20
Şekil 2.14. Çeşitli tip AA servo motorlar. . . . .	21
Şekil 2.15. a)İki-Faz AA Servo motor, b)İki faz AA servo motorun moment-hız grafiği. . . . .	22
Şekil 2.16. Vektör kontrollü 3fazlı asenkron motorun servo motor olarak kullanımı . .	23
Şekil 2.17. DA Servo motor sürücü çalışma prensip şeması. . . . .	24
Şekil 2.18. AA servo motorların çalışma prensip şeması . . . . .	24
Şekil 2.19. Planet sistem. . . . .	26
Şekil 2.20. Planet dişlili sistemlerde sabit planet hareketli taşıyıcı durumu. . . . .	26
Şekil 2.21. Planet dişlili sistemlerde sabit güneş dişli hareketli taşıyıcı durumu. . . . .	27

Şekil 2.22. Planet dişlili sistemlerde sabit taşıyıcı hareketli planet ve güneş dişli durumu. ....	27
Şekil 2.23. Planet dişli ve elemanları. ....	28
Şekil 2.24. Güneş dişlili 1.100 tahvil oranlı redüktör kutusu. ....	30
Şekil 2.25. Harmonik dişliyi oluşturan elemanlar. ....	32
Şekil 2.26. Robot mafsalında harmonik dişlinin kullanılış tarzı. ....	32
Şekil 2.27. Scara robotunda harmonik dişlinin ünit yapı olarak kullanımı. ....	33
Şekil 2.28. Harmonik dişli kutusu yataklama şekilleri. ....	33
Şekil 2.29. Harmonik dişli montaj sırası. ....	34
Şekil 2.30. A, B, Z ve A, B, Z çıkışlı artırımı disk. ....	35
Şekil 2.31. 12Bit çıkışlı mutlak disk. ....	36
Şekil 2.32. Artımsal (Incremental) bir Enkoder. ....	36
Şekil 2.33. Manyetik pick up algılama. ....	37
Şekil 2.34. Lineer manyetik enkoder. ....	38
Şekil 2.35. Lineer ve rotary tip enkoder. ....	39
Şekil 2.36. Yuvarlak(Syncro) flanşlı şaft enkoderlerin montajı. ....	40
Şekil 2.37. Kare flanşlı şaft enkoderlerin montajı. ....	40
Şekil 2.38. Yuvarlak flanşlı(Geçmeli tip) şaft enkoderlerin montajı. ....	41
Şekil 2.39. Oyuk şaftlı enkoderlerin montajı. ....	41
Şekil 2.40. Oyuk kenarlı, Oyuk şaftlı enkoderlerin montajı. ....	41
Şekil 2.41. Milli tip ve oyuk şaftlı tip enkoderler. ....	42
Şekil 2.42. Elektromagnetik frenin genel yapısı ve elemanları. ....	46
Şekil 2.43. Elektromagnetik frenlerde armatür çeşitleri. ....	47
Şekil 2.44. Konik makaralı rulman. ....	48
Şekil 2.45. İğneli rulmanlar. ....	49
Şekil 2.46. Kaymalı yatak. ....	51
Şekil 2.47. Kaymalı yatakta oluşan basınç dağılımı. ....	52

Şekil 2.48. Beyaz metal yatak. . . . .	54
Şekil 2.49. Bronz Yatak. . . . .	55
Şekil 2.50. Grafit delikli bronz yatak. . . . .	56
Şekil 2.51. Rotary ve lineer hareketler için permaglidge yatak malzemesinin kullanımı .57	
Şekil 2.52. Eksenel kaymalı yatak a)Tekli flanş, b)Çoklu flanş. . . . .	58
Şekil 2.53. Genel olarak yatak türlerinin taşıyabileceği yük türleri. . . . .	59
Şekil 3.1. Bilek mafsalsal yapısı. . . . .	63
Şekil 3.2. Alt kol mafsalsal yapısı. . . . .	64
Şekil 3.3. Dirsek mafsalsal yapısı. . . . .	65
Şekil 3.4. Üst kol mafsalsal yapısı. . . . .	66
Şekil 3.5. Alt omuz mafsalsal yapısı. . . . .	67
Şekil 3.6. Üst omuz mafsalsal yapısı. . . . .	68
Şekil 3.7. Tasarladığım protez kolun ölçüleri. . . . .	69
Şekil 3.8. Dirsek mafsalsalının üç boyutlu görüntüsü. . . . .	70
Şekil 3.9. Üst kol mafsalsalının üç boyutlu görüntüsü. . . . .	70
Şekil 3.10. Alt kol mafsalsalının üç boyutlu görüntüsü. . . . .	71
Şekil 3.11. Bilek mafsalsalının üç boyutlu görüntüsü. . . . .	71
Şekil 3.12. Üst omuz mafsalsalının üç boyutlu görüntüsü. . . . .	72
Şekil 3.13. Alt omuz mafsalsalının üç boyutlu görüntüsü. . . . .	72
Şekil 3.14. Tasarlanan protez kolun insan üzerindeki görünümü. . . . .	73
Şekil 3.15. $n+1$ uzva sahip kinematik zincir oluşturan manipülatör. . . . .	74
Şekil 3.16. Denavit-Hartenberg çerçeve ataması. . . . .	76
Şekil 3.17. Eksen takımlarının atanması. . . . .	78
Şekil 3.18. Universal mechanism programında protez kolun çizimi ve mafsalları. . . . .	82
Şekil 3.19. Protez kol kullanarak su içme işleminin animasyonu. . . . .	83
Şekil 4.1. İlk yapılan protez kol tasarımı. . . . .	85

## 1. BÖLÜM

### GİRİŞ

#### 1.1. Konunun Önemi

İş kazaları, trafik kazaları, askeri personelin terörle mücadele gibi sebeplerden kişileri yitirmiş olduğu kol ve el kaybı kişiyi bunalıma sürükler. Ayrıca kişinin gündelik hayatta normal insanlara nazaran çekecekleri zorluk ta aşikârdır. Böyle bir kişinin gündelik hayatını sürdürmek için normal uzvun yapabileceği hareketleri minimum düzeyde yapabilen bir proteze ihtiyacı olacaktır. Bunun yanı sıra kolun kullanımıyla birlikte kişiye psikolojik destek sağlanacaktır. Türkiye de böyle bir kolun üretilmediğinden dolayı talepler yurt dışından karşılanmaktadır. Yurt dışından gelen kolların maliyetleri yüksek olduğundan şu anda kullanımı yaygın değildir. Amaç uzuvlarını yitiren kişileri topluma yararlı birey haline getirmektir. Böyle bir çalışmanın hayata geçirilmesiyle ülkeye sağlanacak maddi manevi fayda şüphesiz büyüktür. Bu çalışmalar yurt içi ve dışında bilim alanında ülkemizin geldiği seviyenin göstergesidir. Bu çalışma gelecek nesillere bilim alanında teşvik edici olacaktır. Ayrıca ülkemizde henüz bir insansı robot üretilmediğinden dolayı ilerde yapılacak çalışmalara önderlik edeceği de şüphesizdir. Yapmış olduğum tasarımdaki robot kol daha da geliştirilerek diğer sektörlerde (bomba imha, askeri sanayi, mayın tarama vb.) de kullanılabilir olacaktır.

#### 1.2. Günümüzde Protez Teknolojisi

İkinci Dünya Savaşı'ndan bu yana hastalık, savaş ve kazalarda kol ve bacaklarını yitiren kişiler, uzun yıllar tasarımı neredeyse hiç değişmeyen protezlerle idare etmek zorunda kalmışlardır. Bu protezler kişinin sadece görsel yönden eksikliğini gidermekte ancak herhangi bir insan kolu hareketini yerine getirememekteydi.

Son yıllardaki teknolojik gelişmelere paralel olarak protez teknolojisinde de gelişmeler meydana gelmiştir. Gerek görüntüsü gerekse işlevi ile gerçeğine çok benzer hale

getirilmiş yapay kol ve bacaklar, laboratuardan çıkıp, kullanıcıların hizmetine girmeye başlamıştır. Şimdiye kadar insan eli üzerine yapılan çalışmalar neticesinde yapısı ağırlığı ve işlevi itibariyle insan eline çok benzeyen mekanik eller yapılmıştır[1,2]. Bugün hastalık veya kaza sonucu bacağına yitirmiş bir insan akıllı bir yapay bacağına sahip olabiliyor üretilen yeni protez bacaklar içerdikleri “akıllı” yazılım sayesinde kullanıcının yürüme hızını öğreniyor ve farklı zeminlere göre uyum sağlıyor. Protez ayak tasarımı ciddi uzmanlık isteyen bir daldır.

Massachusetts Institute of Technology’deki Biyomekatronik Grubu başkanı Hugh Herr, “Bacaklarını yitirmiş olanlar daha yavaş yürür ve daha fazla metabolik enerji harcar. Kaldı ki düz bir zeminde bile dengeleri çok sağlam değildir” diyor. Bu soruna çözüm getirmek için Herr’in ekibi “iWalk PowerFootOne” adını verdiği protez bir ayak tasarladı. Bu protez ayak, elektrik motoru ve tendona benzer yaylardan yararlanarak kullanıcının öne doğru ivme kazanmasını sağlıyor veya yavaşlatıyor. Bunlar ayak bileğinin konumunu ölçen iki mikro işlemci ve altı sensör tarafından kontrol ediliyor.

Çok hızlı bir gelişme gösteren protez teknolojileri yalnızca daha güçlü ve daha esnek organların yolunu açmakla kalmıyor; aynı zamanda dokunmaya duyarlı bir derinin ve beyin tarafından kontrol edilebilen uzuvların üretimine de yeşil ışık yakıyor. Kol veya bacağına yitirmiş bir hastayı, eskisinden daha hızlı ve güçlü hale getirmek artık zor değil. Kas, kemik ve sinir sistemi ile bütünleşen deneysel protezlerin yaşama geçirilmesiyle, kol ve bacak kaybının yarattığı olumsuzlukları tarihe karışması bekleniyor.

Bütün bu gelişmelere rağmen Kol protezleri ne yazık ki bacak protezlerine oranla daha yavaş bir gelişme kaydediyor. Bunun nedenlerinden biri kol ve el kaybının bacak kaybı kadar yaygın olmaması. Ayrıca kollar daha küçüktür ve hareket alanı bacaklardan daha geniştir. Bu nedenle gerçek bir kolu taklit edecek yapay bir protezin içine gerekli olan donanımı sığdırmak çok zordur. Ayrıca kollardaki serbestlik dereceleri arttıkça boyutu ve ağırlığı artmaktadır. Kullanılan malzemenin seçiminde robot kollarının tasarımında önemli bir parametredir.

Geliştirilen son protez kollar artık biyonik kol olarak isimlendirilecektir, kişinin kalan uzuvlarındaki kaslardan alınan sinyaller sayesinde kontrol edilmektedir bunun için kişinin kalan uzvundaki kasların üzerine yüzey elektrotları yerleştirilmiştir. Bunlardan

biri touch bionik isimli firmanın ürettiği “ilimb” isimli biyonik koldur. Ameliyatsız monte ediliyor ve her türlü hareketi yapmanıza olanak veriyor[3]. Parmakları birbirinden bağımsız olarak oynatabilen kol, tenis topunu da rahatça kavrayabiliyor. Şimdiye kadar yapılan protezlerde sadece başparmak ve diğer iki parmak işlev görüyordu. Bu protezde ise bütün parmaklar birbirinden bağımsız olarak çalışıyor. Protez kol herhangi bir ameliyata gerek kalmadan vücuda monte edilebiliyor. Beyinden alınan komutlar kolun kopan noktasına kadar geliyor. Bu komutlar elektronik bir alet yardımıyla proteze aktarılıyor. Protez de komutlara göre hareket ediyor.

Günümüzdeki en başarılı biyonik kollardan bir tanesi de dean kamen tarafından yapılan “Luke arm” isimli biyonik koldur. Amerikan İleri Savunma Araştırma Projeleri Dairesi (DARPA) tarafından finanse edilmiş. Irak ve Afganistan’da meydana gelen patlamalarda kol ve bacaklarını yitirmiş savaş gazilerinin sayılarının artması DARPA’nın bu alana öncelik vermesinin en önemli nedeni. DARPA son yıllarda düşünce kontrollü biyonik kol tasarımına yaklaşık 50 milyon dolarlık bir bütçe ayırmış durumda. Luke Arm, kullanıcının el sıkmasına, kilidin içinde anahtarı döndürmesine ve kahve çekirdeği gibi küçük nesnelere tutabilecek kadar hassas hareketleri yapabilmesine olanak tanıyor. Myoelektrik sensörler veya ayakkabının içine giyilen ayak kontrollü joystick ile kontrol ediliyor. Dokunsal geribesleme, kullanıcının derisine tutturulmuş, salınım yapan küçük bir motordan geliyor. Bu motor kavrama gücü yükseldikçe daha yüksek bir frekansta titreşim yapıyor.

Bu cihazlar ne kadar gelişmiş olursa olsun, daha aşılması gereken çok sayıda engel mevcut. Örneğin kullanıcının kemiklerine ve sinir sistemine doğrudan bağlanan bir protez, vücudun ayrılmaz bir parçası olarak doğal bir uzantı haline gelebilmeli. Gerçekçi, yapay bir deri, protezin vücudun doğal uzantısı haline getirilmesinde çok önemli bir rol oynuyor. Şu anda görüntü açısından çok iyi bir deri kaplama malzemesi geliştirilmiş durumda. Derinin üzerindeki gözenekler ve kıllar doğal görünümü tamamlıyor. Fakat bu deri henüz dokunsal geri besleme özelliğine sahip değil.

### 1.3. Günümüz Protezlerinde Karşılaşılan Zorluklar

Protez kolların insana adaptasyonunda gelişen teknolojiye rağmen zorluklar devam etmektedir. En büyük zorluklardan biride protezin kontrolüdür. Kişinin protezi kontrolü için çeşitli nedenlerle kopan uzuvdan kalan kısımdaki artık kasların üzerine yapıştırılarn yüzey elektrotları ya da basınç sensörleri ile kişinin yapmak istediği hareket anlaşılmaktadır. Bu teknikte kişi bir hareketi yapmak için sanki kolu varmış gibi düşünmesi istenerek kişinin herhangi bir hareketi yapması istenmektedir. Böylece kalan uzuvdaki kalan kaslar harekete geçecek ve bu sayede kişinin yapmak istediği hareket anlaşılmış olacaktır. Diğer önemli bir problemde protezin vücuda bağlanmasıdır. Vücuttaki kalan uzuva bağlanan protezler kalan uzuvun zamanla daha incelmeye sebep olmaktadır. Yapay uzuvun gerçeğine benzer hale gelmesini sağlamanın bir yolu da onu vücuda tam kalıcı veya yarı-kalıcı olarak bağlamaktır. Şu anda en iyi tasarımlar bile vücuda sabitlenemiyor, yalnızca “giyilebiliyor”. Bu da bazı sorunlar doğuruyor. Örneğin protezin yuvası terden veya sürtünmeden hasar görebiliyor. Ayrıca hafif bir gevşeme kontrol ve güç kaybına yol açabiliyor. Araştırmacılar, bağları sıkarak sağlamlaştırmak yerine, yapay kol veya bacağı iskelete doğrudan bağlamanın daha doğru olduğunu düşünüyor. İsveç, Gothenburg'daki Sahlgrenska Teaching Üniversitesi Hastanesi'nden **Rickard Branemark**'ın başkanlığında bir ortopedist grubu, diş implantlarında kullanılan tekniğe benzer bir sistem üzerinde çalışıyor. Bilim ekibi hastanın kol ve bacağına arta kalan kemiklere titanyum uzantılar implant ederek deriden 2 cm. dışarıya uzanan destekler bırakıyorlar. Protez uzuv bu desteğe bağlanıyor. Herhangi bir bağlantı yuvasına gerek bırakmayan bu sistem, yapay kol ve bacağın kolayca takılıp çıkartılmasını kolaylaştırırken, ana eklemin hareketlerine de engel olmuyor. Bu sistem şu anda deneme safhasında. Kullananlar hareketlilik ve rahatlık açısından bunların daha iyi olduğu kanısındalar. Ayrıca bu protezleri daha uzun kullanma şansı da var. Ancak deriden dışarı taşan desteğin çevresinde enfeksiyon oluşma riski sorun yaratabiliyor. Bundan başka, zaten zayıf olan arta kalan kemikler, üzerlerine binen ilave yük ile daha da kırılğan hale geliyor. University College London'dan **Gordon Blunn** liderliğindeki bir İngiliz ekibi enfeksiyon sorununu titanyum implantlara gözenek açarak çözümlediklerini bildiriyor. Deri, kas ve kemik dokusu, gözeneklerden desteğin içine ve çevresine doğru gelişerek vücut ile daha sıkı bağlar oluşturuyor. Yapay bacak ve kolu vücudun gerçek bir uzantısı haline getirdikten

sonra sıra, protezi doğrudan sinir sistemine bağlamaya geliyor . Bu da beyin sinyallerini yakalamak, gerçek zamanda şifresini çözmek ve proteze yönlendirmek anlamına geliyor. Ayrıca protezden çıkan duyuşal girdinin merkezi sinir sistemine geri gönderilmesi gerekiyor.

#### **1.4. Protez Kolların Çeşitleri ve Kontrolü**

Hastanın günlük hayatında protez kolu rahatlıkla kullanabilmesi bir kontrol sistemi oluşturulmalıdır.

1- Konvansiyonel protezler: Vücut gücüyle çalışan protezlerdir.

2- Eksternal güçlü-myoelektrik protezler: Protezin soketi içine yerleştirilmiş elektrotlar tarafından kontrol edilir. Elektrotlar cilde temas eder. Güdük içinde kalan kaslarda oluşturulan istemli kası sonucu oluşan kas aksiyon potansiyellerini saptar. Saptanan elektriksel sinyal amplifiye edilir, yöneltir. Elektrik motorunu çalıştırarak istenen fonksiyonu oluşturur. Motor, elektrod, pil içerdiğinden normal protezlerden daha ağırdır. Ağır olması nedeniyle hasta tarafından kabul edilmeyebilir.

3- Pasif-kozmetik amaçlı protezler: Bunlar kişinin kaybettiğı uzvun görünümünü tamamlamak için kullanılır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan çeşidi görsel yani pasif protezlerdir. Pasif protezler herhangi bir serbestlik derecesine sahip olmamalarına rağmen hafif ve gerçek uzva benzediğı için yaygın olarak kullanılır. Konvansiyonel protezler pasif yani görsel protezlerden farklı olarak tek veya iki serbestlik dereceli protezlerdir. Bu protezlerin uçlarına genelde “hook” ismi verilen bir el takılır ve bu el kablolar vasıtasıyla kişinin omzunu hareket ettirmesi ile çalışır. Diğer bir protez çeşidi ise myoelektrik sensörleriyle çalışan protezlerdir. Bu protez kişinin kalan uzvuna sensörler bağlanır ve bu sensörler kopma olayından sonra kalan kaslarda ki hareketleri algılayarak kontrol sistemine sinyaller gönderir. Kontrol sistemi bu sinyalleri işler ve kişinin yapmak istediğı hareketleri motorlar sayesinde yapmayı sağlar. Yüzey elektrotları ile verimli bir şekilde çalışan kollar yapılmıştır[4]. Yapılan bir başka çalışmayla birlikte yüzey elektrotları yerini kalan kaslara yerleştirilen başka bir tabirle enjekte edilen 1.5 mm çapındaki myoelektrik sensörlere bırakmıştır[5]. Bu sistemde en büyük sorun sensörlerin güç ihtiyacıdır. Fakat bu sorun kalan sensörlerin içine bobin yerleştirilmesiyle çözülmüştür.

Dışarıdan bobine yollanan elektriksel sinyallerle sensörün elektrik ihtiyacı karşılanmış olur. Bu yolla kontrol edilebilen eller geliştirilme sürecindedir.

### **1.5. Çalışmanın Amacı**

Ülkemizde günümüze kadar protez kol konusunda herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Geliştirilecek protez kol bu açıdan bir ilk olmakla beraber kontrol tekniği olarak ses kullanımını da bir ilk olacaktır. Her bir mafsalsın farklı tasarımıda yapılması ile tasarımın hayata geçirilmesinin akabinde kullanılan mafsals yapılarından en verimliyi tespit edilecek ve bundan sonraki tasarımlarda o mafsals baz alınarak daha verimli kollar tasarlanacaktır. Yapılacak iki farklı tasarımdan en iyisi seçilip prototipi üretilecektir. Ayrıca protezin simülasyonlarının yapılmasıyla birlikte insan üzerindeki görünümü de belirlenecektir.

Yapılan tasarım aynı zamanda bir insansı robot kolu şeklinde de düşünülebilir. Kolun insana adaptasyonuyla birlikte protez kol olmaktadır. Böyle bir çalışmanın hayata geçirilmesiyle birlikte bu konuda ki çalışmalarında artması beklenmektedir. Ayrıca yapılan kolun ülkemizde gelecekte yapılması beklenen insansı robot çalışmalarına ve bilim dünyasına da ilham vermesi de amaçlanmıştır

## 2. BÖLÜM

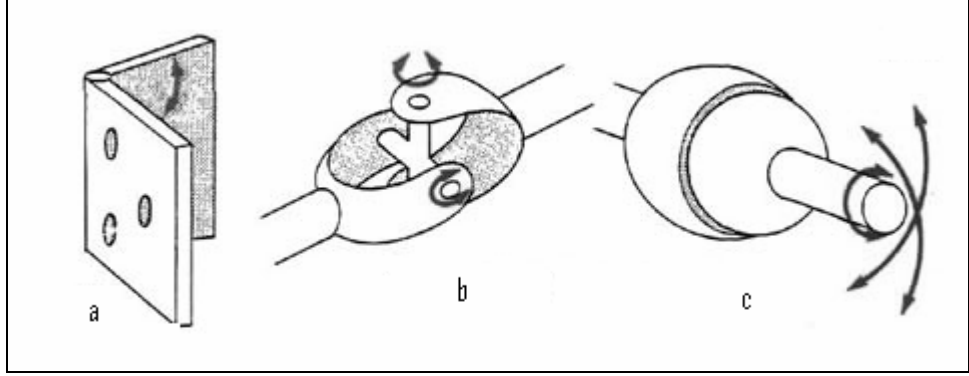
### BİYONİK KOLLARIN GENEL YAPISI

#### 2.1. İnsan Kolunun Genel Yapısı

Biyonik kol yapımında en önemli tasarım parametrelerinden birisi serbestlik derecesinin belirlenmesidir. Serbestlik derecesi arttıkça doğru orantılı olarak tahrik motoru sayısı ve ağırlık artmaktadır. İnsan kolunun ağırlığı 3.5 kg olmakla beraber protez kolunda buna yakın bir değerde olması gerekmektedir. Serbestlik derecesi ve insan vücudunun bilgisayar destekli modellenmesi daha önceden birçok çalışmanın konusu olmuştur.

Tasarıma başlamadan önce serbestlik derecesinin belirlenmesi gerekmektedir. Yapacağımız biyonik kolun serbestlik derecesi iki ayrı tasarımda farklılık göstermekle beraber 7 olacaktır.

Mühendislikte hareketli parçaları birbirine bağlayabilmek için çeşitli tasarımlar yapılmıştır. Bunlardan en basiti menteşelerdir (Şekil 2.1.a). Menteşe sadece tek yönde açılıp kapanmaya izin verir. Bu tip sistemlere serbestlik derecesi 1 olan sistemler denir. Yani tek bir parametre ile bu sistemin konumu tam olarak tarif edilebilir. Menteşenin iki kanadı arasındaki açı, hareketi tam olarak tarif eder. Dirseğimiz menteşe sistemine güzel bir misaldir. 2 serbestlik derecesine sahip diğer bir bağlantı şekli ise kardan kavramasıdır (Şekil 2.1.b). Motor şaftı ile tekerlekler arasındaki bağlantı bu şekilde sağlanır. Şaft dönmediği durumda tekerleklerin süspansiyonla hareketinin şafta zarar vermemesi için menteşe gibi bir sistem yeterli olabilirdi. Ama şaft dönme vaziyetinde iken, her dönme durumu için tekerleklerin yılanma hareketinden etkilenmemesi için kardan kavramasında olduğu gibi iki serbestlik derecesine ihtiyaç vardır. Bileğimiz böyle iki serbestlik derecesine sahip bir bağlantıdır. Şekil 2.2a'da elimizin sağa ve sola hareketi, şekil 2.2b'de ise elimizin öne arkaya hareketi görülmektedir.



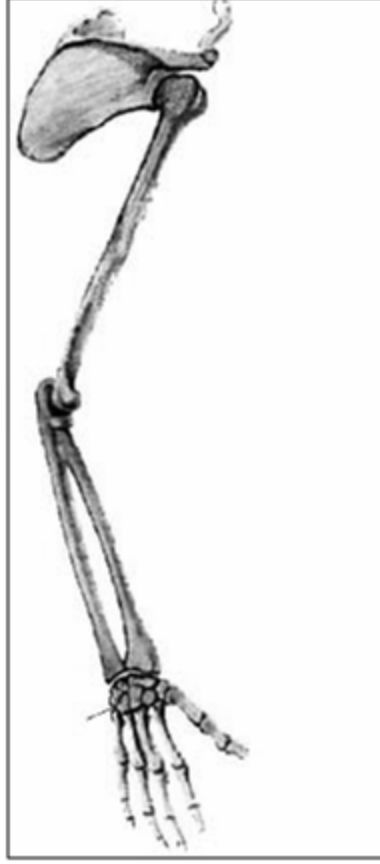
Şekil 2.1 Çeşitli serbestlik dereceleri a)Menteşe, b)Kardan kavraması , c)Küresel mafsals

Küresel mafsalda ise üç serbestlik derecesi vardır (Şekil 2.1 c). Bu tip bağlantıda bir yuva içerisine oturtulmuş bilye ve bu bilyeye bağlı bir çubuk vardır. Çubuk her yöne doğru eğilebilme ve kendi etrafında dönebilme kapasitesine sahiptir. Mühendislik tasarımlarında bilyenin yarısından fazlası yuvanın içerisinde olup ve bu sayede çubuğun çıkıp kurtulması engellenir. Aynı sistem üst kol kemiğimiz olan 'humerus'un kürek kemiğine bağlantısında da yaratılmıştır (Şekil 2.3). Yalnız bunun mühendislik tasarımlarından bir farkı vardır; bilyenin yarısından daha azı oyuğa oturtulmuştur. İlk bakışta dezavantaj gibi gelen bu özellik tam tersine birçok avantajlara sahiptir. Bu sayede kolun hareket serbestliği artmaktadır. Şiddetli bir darbede kol yerinden çıkabilmekte, bağlantı noktasında kırılmalar önlenmektedir ki, bu tip yerlerdeki kırılmalar en zor tedavi edilebilen kısımlardır. Kolun yuvada kalmasını sağlayan kaslardır. Bir kol çıkması durumunda bu kaslar zedelenmemekte ve bunların yardımı ile kol eski yerine kolayca oturtulabilmektedir.



Şekil 2.2.Bilekteki temel 2 hareket

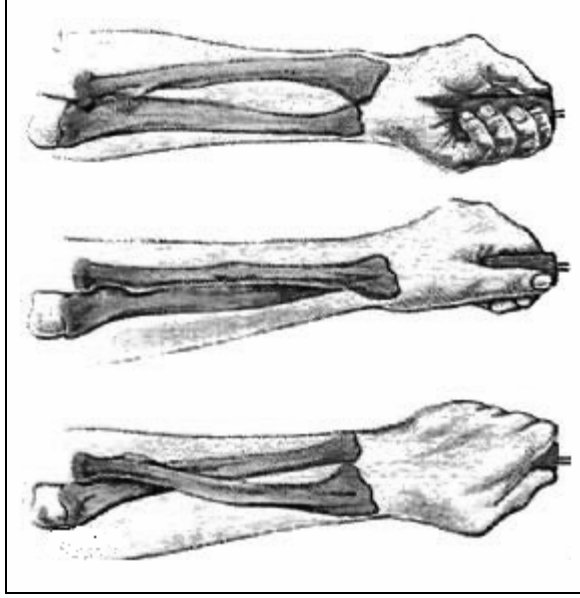
Elimiz ile pazı kemiği arasındaki bağlantıyı sağlayan kemikler bir tane olmayıp bunlar ön kol kemiği ve dirsek kemiğidir (Radius ve Ulna, Şekil 2.3). Bu tip tasarım dirsekten itibaren elimizi döndürmemizi sağlamaktadır (Şekil 2.4). Eğer pazı kemiği ile elimizi tek bir kemik birleştirmiş olsa idi tornavida gibi aletleri kullanmak mümkün olmayacaktı. Bileğimizde ise sekiz küçük kemik olup bunların fonksiyonları hâlâ tam olarak anlaşılabilmiş değildir.



Şekil 2.3.Kol kemik yapısı.

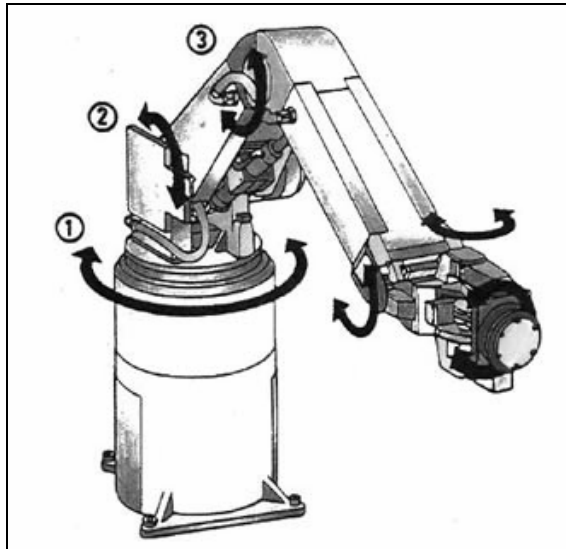
Kol mekanizmamızda toplam kaç serbestlik derecesi olduğuna bir bakalım. Omuz bağlantımızda 3, dirsekte 1, diresek bilek arasında 1 ve bilekte 2 olmak üzere toplam 7 serbestlik derecesi vardır[6]. Bu kaba hesaba omuz ve parmak kemiklerinin hareketleri dahil edilmemiştir. Şimdi ise endüstride çok kullanılan robotlara ait bir örneği alalım. Şekil 2.5'de görülen robotun ana gövde bağlantısında 2, dirsekte 1 ve uçtaki hareketli kısımda 3 serbestlik derecesi olmak üzere toplam 6 serbestlik derecesi vardır. Uzayda herhangi bir kayıt altında olmadan hareket eden bir cismin 6 serbestlik derecesi vardır. Bunlardan üçü, üç boyutlu uzayın x, y ve z koordinatları ile, diğer üçü ise bu

koordinatlar etrafındaki dönme ile temsil edilir. Robot mekanizmasında görüldüğü gibi acaba 6 serbestlik derecesi elimiz için yetmez miydi?



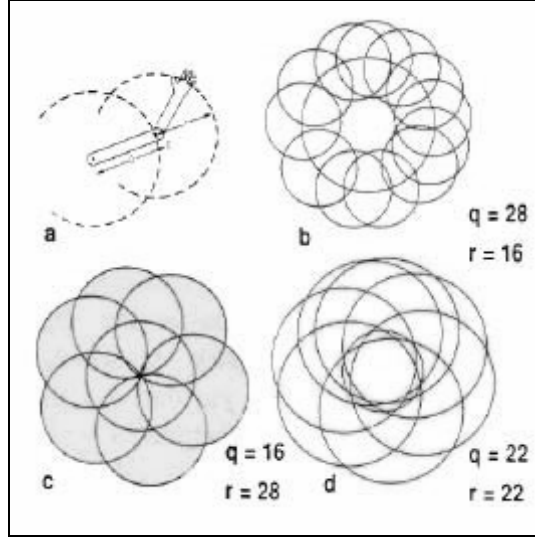
Şekil 2.4.Kolun dönme hareketine imkan veren kemik yapısı

Bunun 1 fazla olmasının tasarıma getirdiği avantaj nedir? Robotun uçtaki parçasının erişme mesafesi içerisindeki bir noktaya ulaşması ancak tek bir şekilde olur. Eğer bu ulaşma yolu üzerinde bir engel varsa robot bu noktaya ulaşamaz. Halbuki elimiz 7 serbestlik derecesinden dolayı erişme mesafesindeki bir noktaya birçok değişik yoldan gidebilmekte, bu sayede engellerin etrafından dolaşabilmektedir



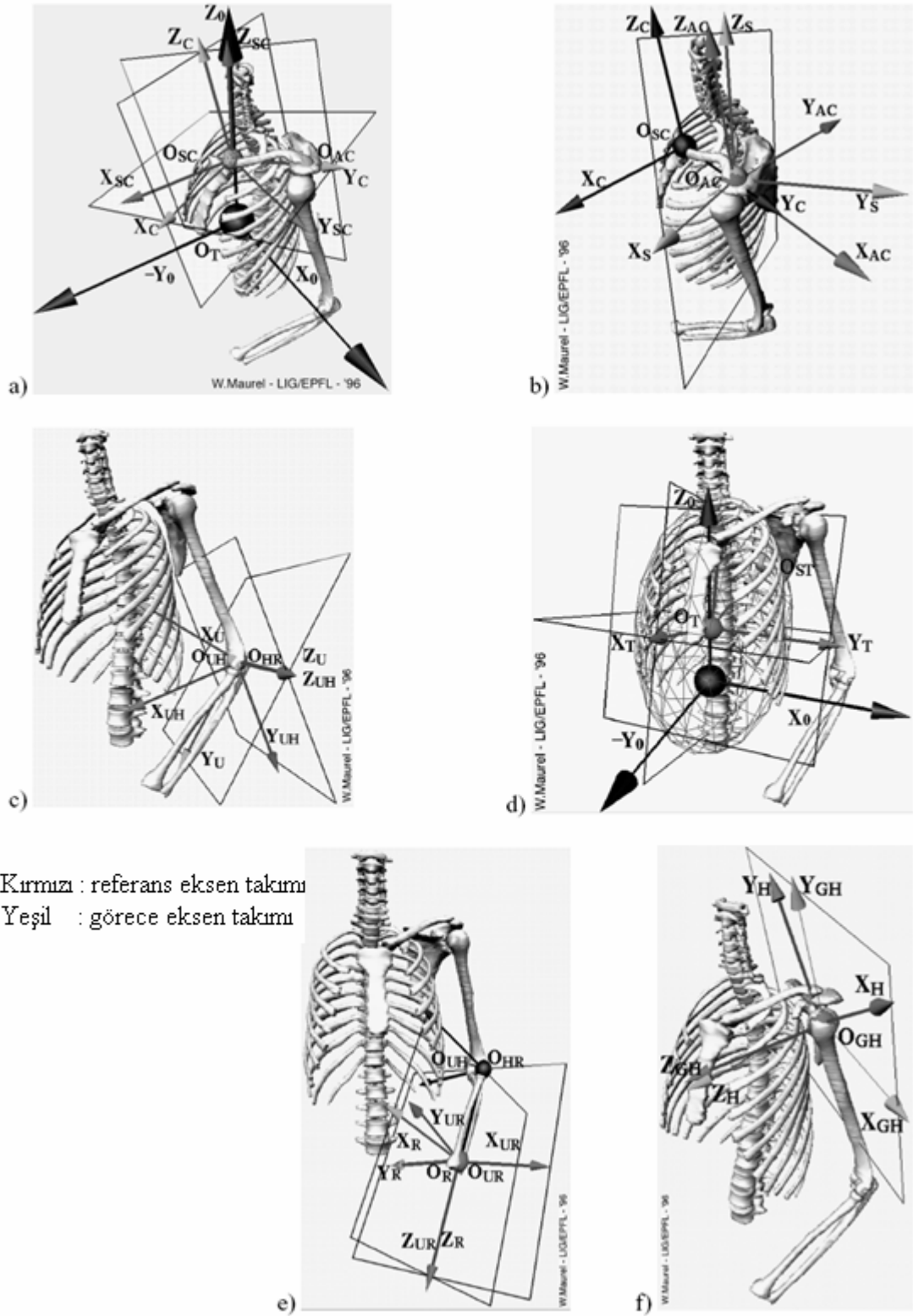
Şekil 2.5. Endüstriyel bir robot.

Şimdi dirseğin niye tam kolumuzun ortasında olduğu sorusunu cevaplayalım. Kolay anlaşılabilmesi için iki boyutta düşünelim. Şekil 2.6 a'da birbirine bağlanmış  $q$  ve  $r$  uzunluğunda iki çubuk, kol mekanizmasını temsil etsin.  $q$ ,  $r$ 'den büyük olduğunda ortada hiç ulaşılamayan bir bölge kalmaktadır (Şekil 2.6 b). Aynı durum  $q$ ,  $r$ 'den küçük olduğunda da geçerlidir (Şekil 2.6 d). Halbuki  $q$ ,  $r$ 'ye eşit olduğunda her noktaya ulaşılabilir (Şekil 2.6 c).



Şekil 2.6. İki boyutlu bir kolun nerelere ulaşabileceğini gösteren diyagram.

Bir yerine iki dirseğimiz olsaydı serbestlik derecesi gereksiz yere 8'e çıkacak, dolayısıyla kolun mukavemeti azalacaktı.



Şekil 2.7. insan vücudunun üst kısmı için koordinat sistem atanması[7].

## 2.2. Robot Kollarda Kullanılan Hareket Elemanları

Biyonik robot kol mafsalları tasarımında en önemli dizayn parametresi ağırlıktır. Buna uygun olarak kullanılacak elemanlar seçilir. Kullanılacak elemanların ağırlığından dolayı da mafsallarda moment oluşmaktadır. Ayrıca tasarımdaki malzeme seçimi de önemli bir faktördür. Bizim tasarımımızda hafifliğin sağlanması için 1060 alüminyum alaşımı tercih edilmiştir.

Genel olarak robot kolun mafsalları yapısı şu ana elemanlardan oluşur.

### 2.2.1. Tahrik Motoru

Robotlarda uzuvları tahriklemek için çeşitli tahrik motorları kullanılır. Bunlardaki ana tahrik motorları genelde hidrolik, pnömatik sistemler ve elektrik motorlarıdır.

Bizim yaptığımız çalışmada elektrik motorları tercih edilmiştir. Robot kollarda kullanılan motorlar üç çeşittir:

#### 2.2.1.1. Servo Motor Tanımı

Servo motor, bir mekanizmada son kontrol elemanı olarak görev yapan motordur. Genellikle güç sağlayan motorlar belirli bir hızda dönmeye göre tasarlanırken servo motorlar çok geniş bir hız komutunu yerine getirecek şekilde tasarlanır. Servo motorlar kullanıcının komutlarını yerine getiren motorlardır. Komutlar, pozisyon ve hız komutları veya hız ve pozisyonunun birleşimi olabilir. Bir servo motor şu karakteristiklere sahip olmalıdır:

- a. Geniş bir hız sınırı içinde kararlı olarak çalışabilmelidir.
- b. Devir sayısı, hızlı ve düzgün şekilde değiştirilebilmelidir. Yani küçük boyuttan büyük moment elde edilebilmelidir.

#### 2.2.1.2. Servo Motor Çeşitleri

DA Servo motor

AA Servo motor

Servo motor AA ya da DA olarak bulunur. İlk zamanlarda servo motor genelde DA Motorlardır. Çünkü uzun yıllar yüksek akımlar için tek kontrol yöntemi olarak tristörler

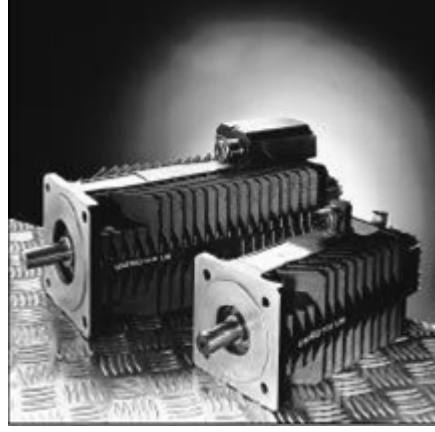
kullanılmaktaydı. Transistörler yüksek akımları kontrol etme yeteneği kazandıkça ve yüksek akımları yüksek frekanslarda anahtarlandıkça servo motorlar daha sık kullanılmaya başlandı.

İlk servo motor özellikle güçlendiriciler için tasarlanmıştı. Step motor kullanılmayan kapalı devre (çıkışın kontrol edildiği) sistemlere servo sistem adıyla anılmaktadır. Bu yüzden hız kontrolcüye bağlanmış basit bir AA endüksiyon motorunun da servo motor olarak adlandırmak mümkündür.

Servo motor olarak tasarlanmış bir motorda yapılması gereken değişiklikler; ısıtma yapmadan bir hız aralığında çalışma kabiliyeti, sıfır hızda çalışırken yükü belirli bir pozisyonda tutmaya yeterli torku sağlama yeteneği ve uzun süreler için aşırı ısınmadan çok düşük hızlarda çalışma kabiliyetidir. Eski tip motorlarda doğrudan motor şaftına bağlanmış bir motor fanı bulunur. Motor düşük hızda çalışırken fan, motoru soğutmak için yeterli havayı hareket ettiremez. Daha yeni motorlarda ayrı bir fan monte edilmiştir. Bu fan, ideal soğutucu havayı sağlar ve sabit bir gerilim kaynağıyla güçlendirilir. Böylelikle servo motorun hızından bağımsız olarak her zaman maksimum devirde döner.

#### **2.2.1.2.1. DA Servo Motor**

Bu motorlar konvansiyonel DA motorlar gibi üretilirler; ancak boyutları minyatürdür ve kutupsal hareketsizlik momentini minimize etmek için endüvide uzunluk/yarıçap oranı yüksektir. Alternatif olarak alan sistemi sabit mıknatıslarla (genellikle ferrit) kurulabilir, bu durumda motor sabit mıknatıslı motor olarak bilinir ve sadece endüvi (armatör) kontrol edilebilir Komütatör iki taraflı baskı devre olabilir ve böyle motorlar DA motor olarak bilinir. Kutupsal eylemsizlik momentini düşük tutmak için düşük endüvi kütlesi düşük uzunluk/yarıçap oranını dengeler.

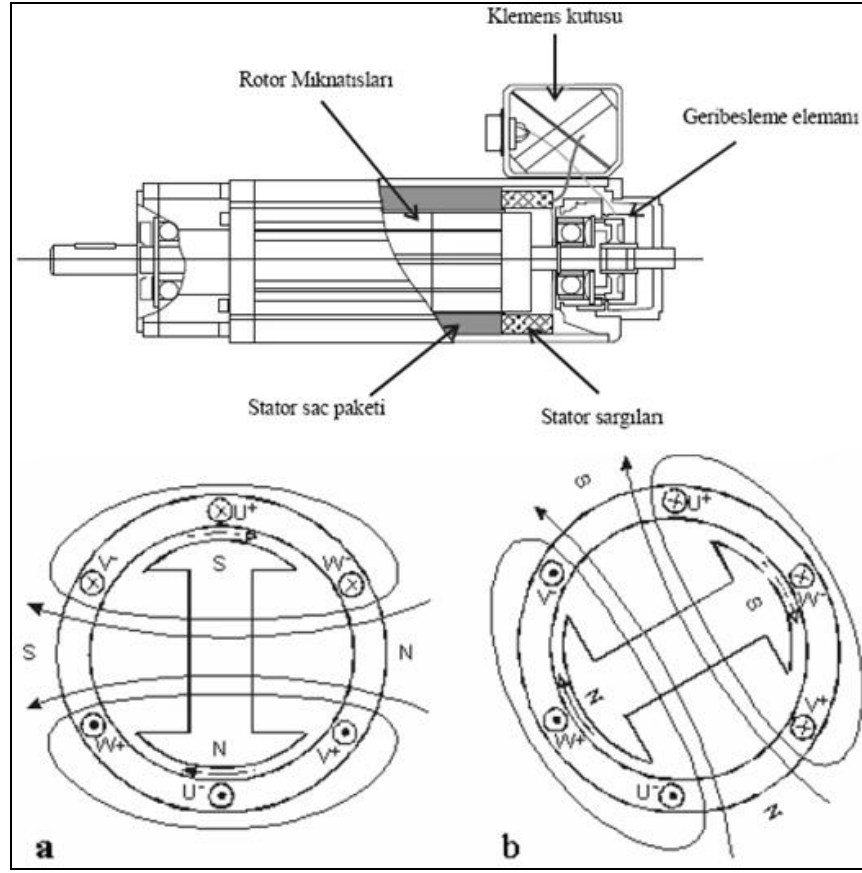


Şekil 2.8. DA Motor

#### 2.2.1.2.2. DA Motorun Yapısı

Klasik tip DA motorlarda komütasyon (DA makinelerinde endüvi sargılarında akımın yönünü değiştirme işlemi) için kullanılan komütatör ve fırçalardan kaynaklanan mekaniksel elektriksel problemleri ve sınırlamaları yenmek için fırçasız motorlar tasarlanmıştır. Sonuçta klasik DA motorun performansını sağlaması hedeflenmiştir.

Fırçasız motorlar; stator, rotor, sürme devresi (invertör) ve rotor konum algılayıcısından oluşur. Motor tek olarak ele alındığında, sürücü ve konum algılayıcı motor üzerinde olmayabilir. Fakat fırçasız motorun sürücüsüz ve konum algılayıcısız (geri besleme elemanı) olarak bir DA güç kaynağından çalışması mümkün değildir. Rotorda sabit mıknatıslar bulunan, modern elektronik sürücüler ile kontrol edilen senkron motorlardır. DA servo motorlardaki gibi komütatör ve fırça elemanları olmadığından güvenilir, kararlı ve küçük boyutlarda imal edilir. Üç faz sargılarında uygulanan sinüs şeklindeki akım ile hava aralığında bir döner alan oluşturur.



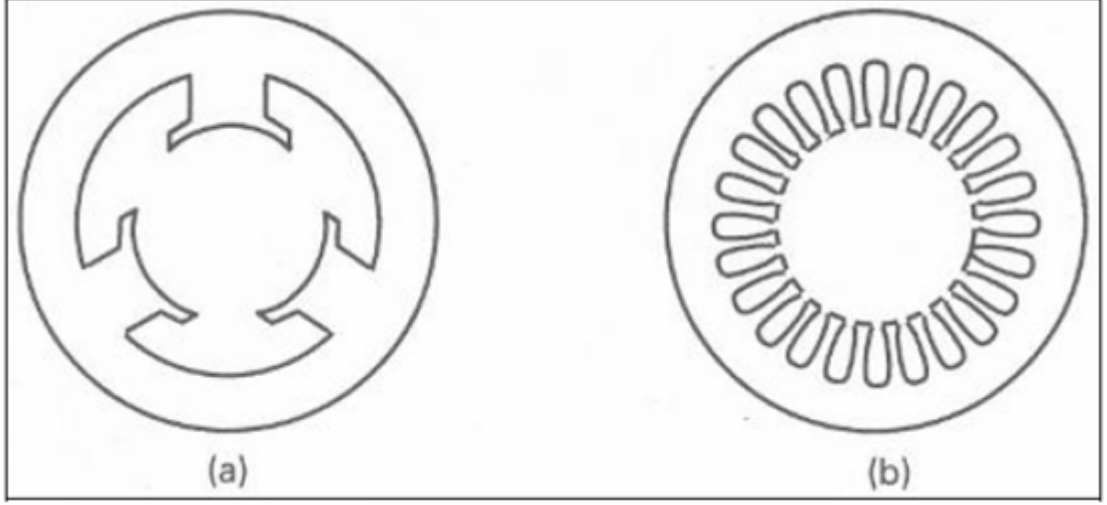
Şekil 2.9. Fırçasız servo motorun yapısı ve çalışma sistemi.

#### 2.2.1.2.2.1. Stator

Stator, makinenin duran kısmıdır. Stator saclar ve sargılardan oluşur. Saclar, asenkron veya senkron motorlarda olduğu gibi birer yüzeyi silisli olup üzerlerine kalıplarla stator oyukları açılır. Biçimlendirilen stator sacları sıkıştırılarak perçinlenir veya somunla sabitlenir.

Saclara toplu sarıma veya dağılımlı sarıma göre şekiller verilmiştir. Sacların kalınlığı kaynak gerilimin frekansı, maliyet ve nüve kayıplarının dikkate alınmasına bağlıdır.

Kalıcı mıknatıslı makinenin büyük çoğunluğunda, özellikle güç uygulamalarında kullanılan makinelerde, bir veya çok fazlı sargıları AA makinelerine benzer. Aşağıdaki Şekil2.10 toplu ve dağılımlı sarım için stator sac şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Stator sac şekilleri, a)Toplu sarım için, b)Dağılımlı sarım için

#### 2.2.1.2.2.2. Rotor

Motorun uyarım akısı rotora yerleştirilen kalıcı mıknatıslar tarafından sağlanmaktadır. Kalıcı mıknatıs malzemelerin yüksek kalıcı manyetik ve yüksek giderici kuvvet özelliklerine sahip olması gerekir. Rotor sinterlenmiş veya bağlanmış ferrit, nadir bulunan malzemeler, nidyum-demir-boron veya alnico (Alüminyum-Nikel-Kobalt) tipi manyetik malzemelerden yapılır.

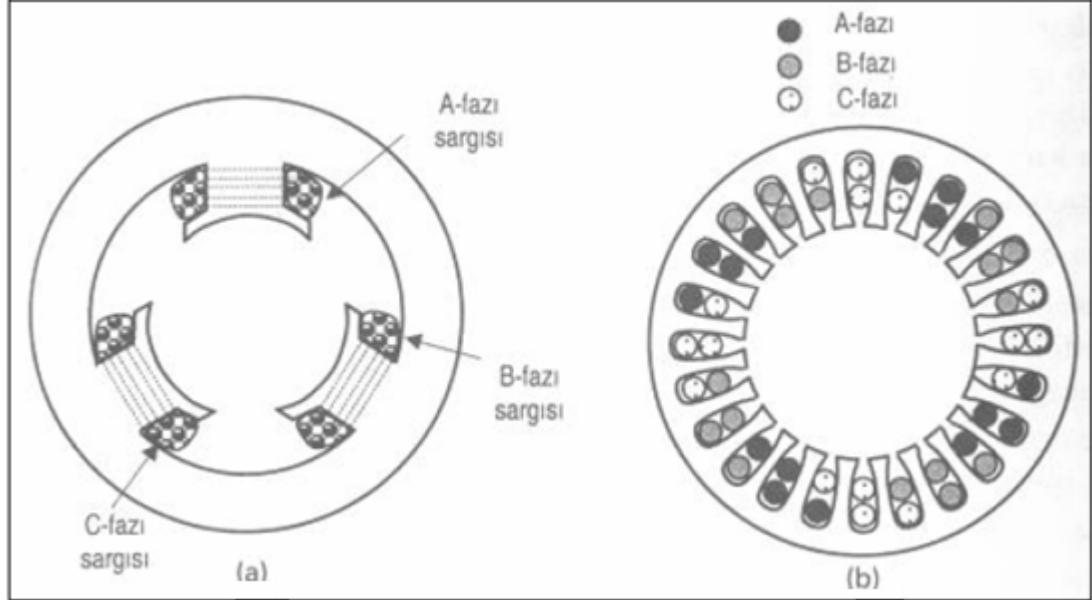
#### 2.2.1.2.2.3. Yatak Gövde

Stator, içerisine sabitlendiği bir yatak gövde ile desteklenir ve yatak gövde makinenin manyetik olmayan yapıya sahip kısmı olup bir makinenin bütün esas elemanları içerisinde bulundurur. Yatak gövdeler kapalı veya havalandırılmalı olabilir. Yatak gövde makine ısını kolaylıkla ileticek, rotor yataklarına destek verecek yük ve bağlantılarına uygun olacak özellikte (alüminyum gibi) olmalıdır.

#### 2.2.1.2.2.4. Sargılar

Kalıcı mıknatıslı makinelerin büyük çoğunluğunda, özellikle güç uygulamalarında kullanılan makinelerde, AA makinelerine benzer. Sargılar genellikle çift katmanlı (iki sargının birer kenarları bir oyuğa) ve paralel sarım kullanılırken, tek katmanlı toplu sarımlar da kullanılmaktadır. Sargılar, faz grupları ve fazlar oyukların dışında kalan

bölgelerinden yalıtılmalıdır. Oyukların içerisine yerleştirilen teller hem yalıtımı güçlendirmek hem de yapısal destek için verniklenir ve fırınlanır. Komütatör ve fırçaların kaldırılması için sargıların statora yerleştirilmesi gerekmektedir. Statorda genellikle iki tip sarım kullanılmaktadır; toplu sarım ve dağılımlı sarım.



Şekil 2.11. Stator sarım şekilleri a) Toplu sargılı 3-kutuplu ve 3-oyuklu stator kesiti, b) Dağılımlı sargılı 24 oyuklu, 4-kutuplu, 3-fazlı stator kesiti

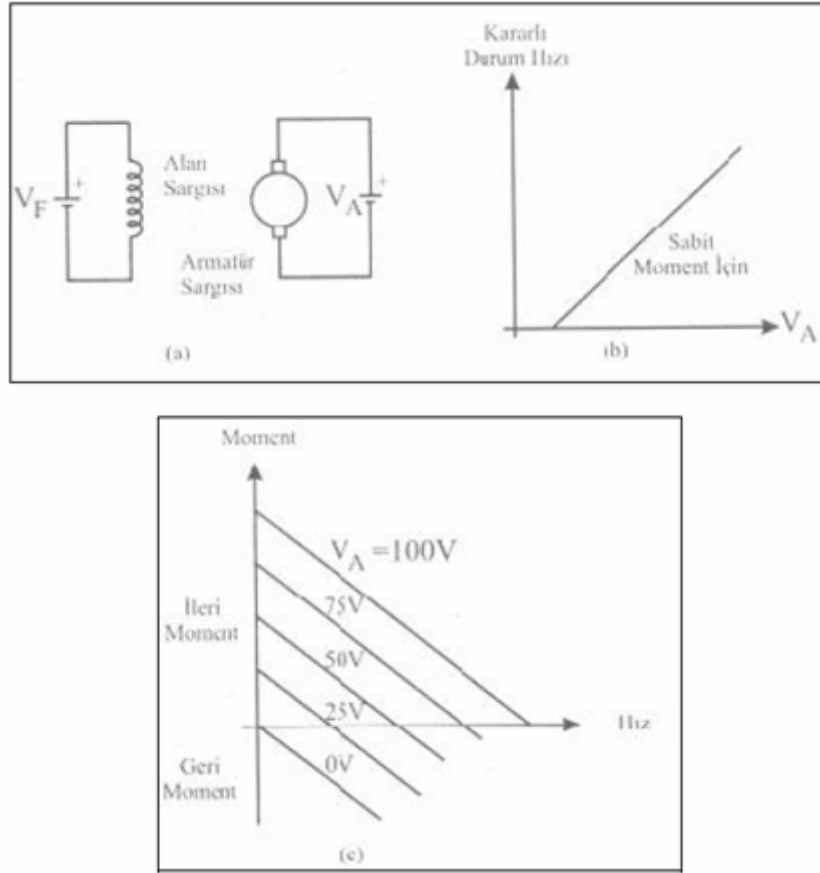
### 2.2.1.2.3. Servo Motorun Çalışması

DA servo motorların iki farklı sargısı vardır. Statora konulan alan sargısı ve rotora konulan endüvi (armatör) sargısı. Her iki sargı da DA gerilim kaynağına bağlıdır. Servo uygulamalarda sargılar farklı DA kaynaktan tarafından beslenir.

DA motorun alan sargısı genelde şematik olarak çekirdek biçiminde gösterilir. Alan sargısı da VF ile gösterilen DA gerilim kaynağına bağlıdır. Endüvi sargısı ise şematik olarak iki kareyle temas eden bir daire ile gösterilir. Bu DA endüvinin silindirik şeklinde olması ve yüzeyinde iki fırçanın baskı yapmasından dolayıdır. Endüvi sargısı VA gösterilen DA gerilim kaynağına bağlıdır.

DA motorların çoğu büyük yükler için kullanılan sabit mıknatıslı tiptir. DA motorun dönme yönü ve hızı endüvi akımı ile belirlenir. Endüvi akımındaki artış, hızı da artırır. Motorun endüvi akımının yönünü değiştirmek motorun dönüş yönünü de değiştirir.

DA servo motorların temel çalışma prensibi klasik DA motorlarla aynıdır. DA servo motor genellikle endüvi gerilimi ile kontrol edilir. Endüvi, büyük dirence sahip olacak şekilde tasarlanır. Böylece moment-hız karakteristikleri doğrusal olmaktadır. Endüvi mmk'i ve uyarım alanı mmk'i bir doğru akım makinesinde diktir. Bu özellik, hızlı moment tepkisi sağlar. Çünkü moment ve akı birbirinden bağımsızdır. Bundan dolayı endüvi gerilimindeki ve akımındaki adım şeklindeki bir değişim sonucunda, rotorun hızında veya konumlamada hızlı değişiklikler gerçekleşir.



Şekil 2.12. a) DA Servo motor alan ve endüvi sargısı, b) Kararlı hız –  $V_A$  grafiği, c) Moment-hız grafiği.

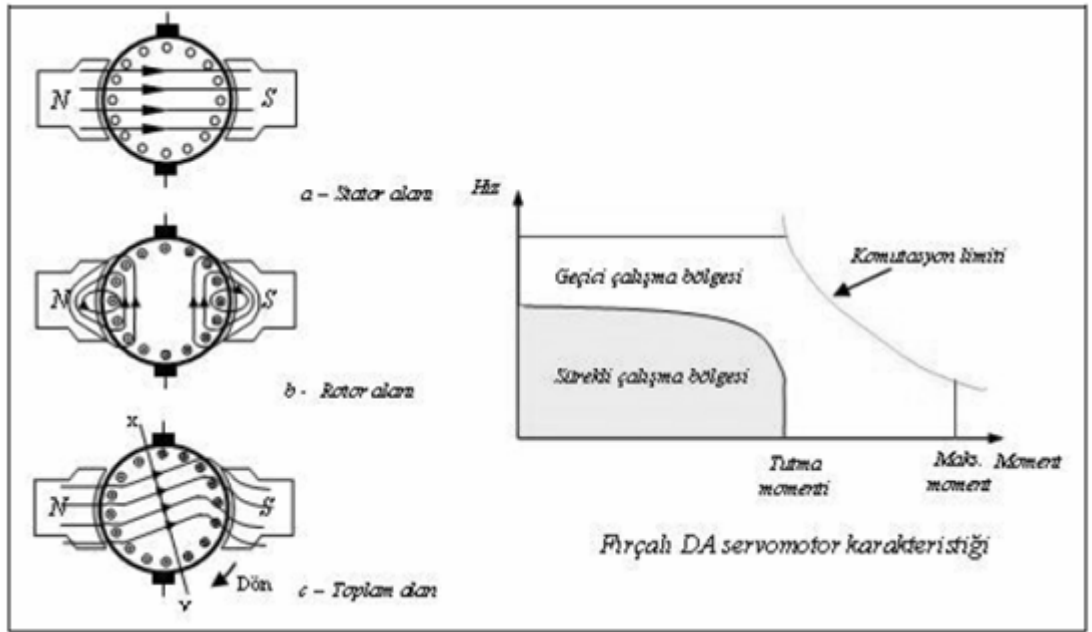
#### 2.2.1.2.4. DA Servo Motor Çeşitleri

DA servo motor yabancı uyarımlı DA motorlar veya kalıcı mıknatıslı DA motorlardır. Servo sistemde çalıştığında, motor alan ya da endüvi kontrollü olabilir ve endüvi ya gerilim kaynağından ya da akım kaynağından beslenir. Her kombinasyon farklı tork hız

karakteristiği sunar. Bunların bağlantılarını DA servo motor çeşitleri olarak adlandırabiliriz. Fakat çok fazla kullanılmadığı için açıklamayacaktır.

Bunlar:

- Alan Kontrollü-Sabit Endüvi Gerilimli Beslemeli
- Alan Kontrollü-Sabit Endüvi Akım Beslemeli
- Endüvi Kontrollü-Sabit Alan Beslemeli
- Seri Ayrık Alanlı Servo Motorlardır.

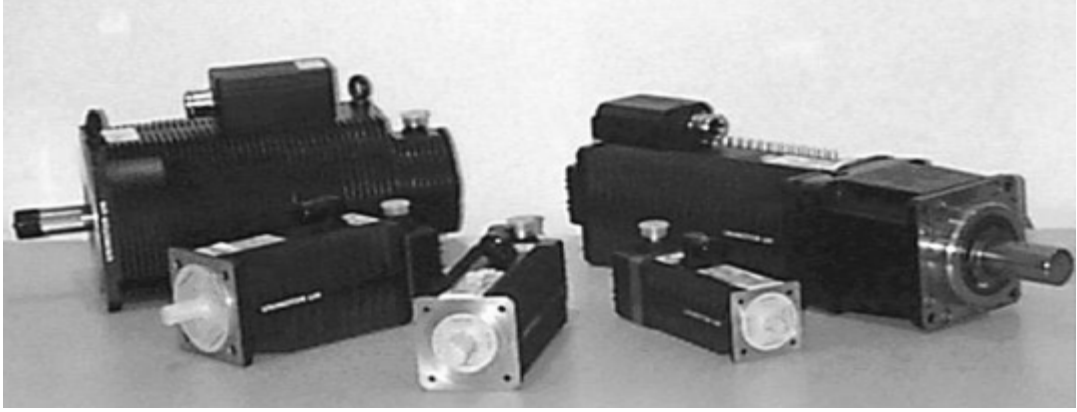


Şe

Şekil 2.13: DA Servo motor çalışma prensip şeması

#### 2.2.1.2.2. AA Servo Motorlar

DA servo motorların güçleri birkaç Watt'an birkaç yüz Watt'a kadar olabilir. DA servo motorlar, yüksek güçlü uygulamalarda kullanılır. Günümüzde, AA servo motorlar hem düşük hem de yüksek güç uygulamalarda kullanılmaktadır. AA motorların yapıları basit ataletleri düşüktür. Ancak, genellikle doğrusal olmayan özellik gösteren ve yüksek manyetik bağına sahip makinelerdir. Ayrıca moment-hız karakteristikleri DA servo motorlarındaki gibi ideal değildir, bunların yanı sıra AA servo motorları aynı boyuttaki DA servo motor ile karşılaştırıldıklarında daha düşük momente sahiptir.

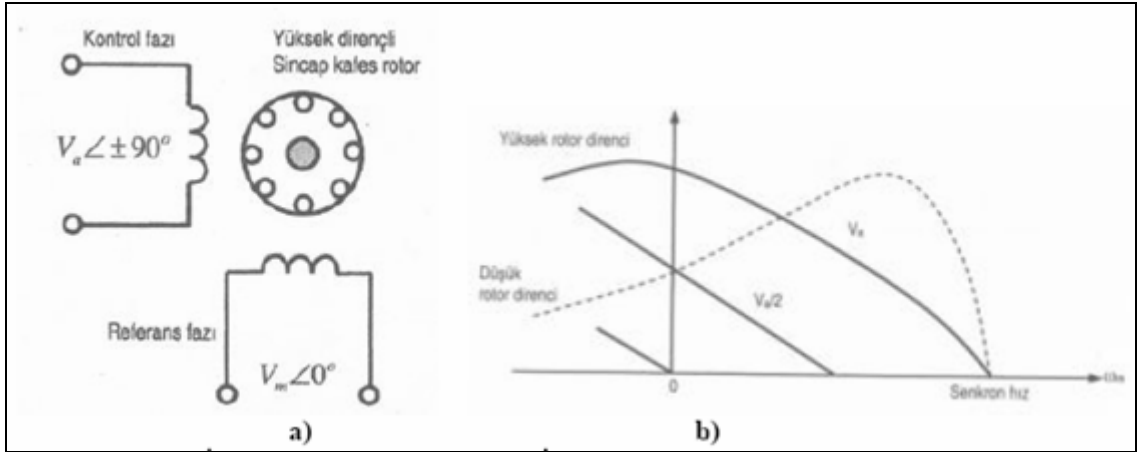


Şekil 2.14: Çeşitli tip AA servo motorlar[8]

### 2.2.1.2.3. İki-faz Servo Motor

Kontrol sisteminde kullanılan çoğu servo motor AA servo motorlar, iki faz sincap kafesli asenkron makinelerdir. Frekansları normal olarak 60 Hz veya 400 Hz olabilir. Yüksek frekans hava yolu sistemlerinde kullanılmaktadır.

İki faz AA servo motorun şematik diyagramı Şekil 2.15’de gösterilmiştir. Stator birbirinden  $90^\circ$  elektriksel açıyla dağıtılmış iki sargıdan oluşur. Sargının biri, referans fazı veya sabitlenmiş faz olarak adlandırılır ve genliği sabit bir AA gerilim kaynağına ( $V_m < 0$ ) bağlanır. Diğer kontrol fazı olarak adlandırılır ve referans fazı ile aynı frekansa sahip genliği ayarlı bir AA gerilimle beslenir. Ancak kontrol fazı ile referans fazı arasında  $90$  elektrik derecesi vardır. Kontrol fazının gerilimi genellikle bir servo yükselteçten sağlanır. Motorun dönüş yönü, kontrol fazı ile referans fazı arasında ki faz ilişkisinin ileri veya geri olmasına bağlıdır. Dengeli iki –faz geriliminin genlikleri eşit ( $V_a = V_m$ ) olduğunda motorun moment – hız karakteristiği üç faz asenkron motora benzerdir. Düşük rotor dirençlerinde bu karakteristik doğrusal değildir (Şekil 2.15.a), Böyle bir moment- hız karakteristiği, kontrol sistemlerinde kabul edilemez. Ancak, rotor direnci yüksek ise moment hız karakteristiği Şekil 2.15.b’deki gibi geniş bir hız aralığında; özellikle sıfır hız seviyelerinde aslında doğrusaldır. İki faz asenkron makineyi kontrol etmek için referans sargısı genliği sabit bir alternatif gerilim ile kontrol sargısı ise genliği ayarlanabilen bir alternatif gerilimle beslenir.



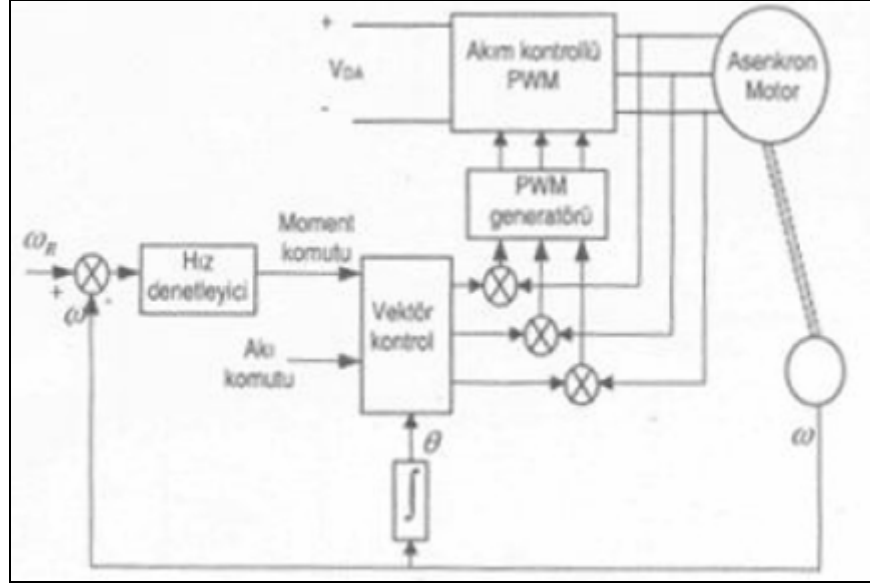
Şekil 2.15: a) İki-Faz AA Servo motor, b) İki faz AA servo motorun moment-hız grafiği

#### 2.2.1.2.4. Üç Fazlı Servo Motorlar

DA servo motorlar, yüksek güç servo sistemlerin uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda yüksek-güç sistem uygulamalarında üç-faz asenkron motorun servo motor olarak kullanımı üzerine yapılan araştırmalar başarıya ulaşmış ve 3 fazlı 'lı asenkron motor yüksek-güç uygulamalarında hızlı bir şekilde yerini almaya başlamıştır. 3 fazlı'lı asenkron motor yapı olarak dayanıklı olmakla beraber doğrusal olmayan bir özelliğe sahiptir ve bundan dolayı kontrolü karmaşıktır.

Son yirmi yıldaki çalışmalar, 3 fazlı'lı asenkron motorun yabancı uyarımlı DA motoru gibi kontrol edileceğini göstermiştir. 3 fazlı'lı asenkron motorun stator akım vektörünün, birbirine dik, birbirinden bağımsız iki bileşenle temsil edildiği ve dik bileşenlerden biriyle momentin, diğeriyle akımın kontrol edileceği tekniğe vektör moment tepkisi sağlanmaktadır

(Şekil:2.16). Vektör kontrollü 3 fazlı'lı asenkron motorun servo motor olarak kullanılmasına ilişkin bir blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.16 : Vektör kontrollü 3fazlı asenkron motorun servo motor olarak kullanımı

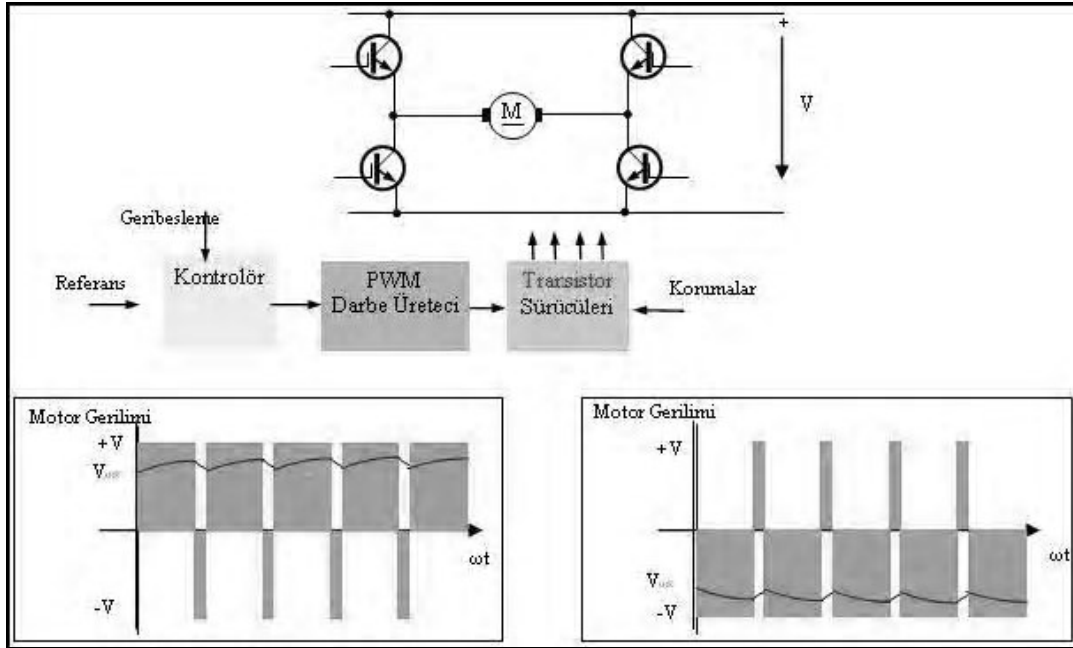
### 2.2.1.3. Servo Motor Sürücülerinin Teknik Özellikleri

#### 2.2.1.3.1. Servo Sürücüler

Motor, aktarma organı ve yükten oluşan mekanik servo sistemin hız, moment veya pozisyon değişkenlerinden herhangi birinin bu değişkenle ilgili verilen referans değerine uygun olarak hareket ettirilmesini sağlayan elektronik güç elemanıdır. Servo sürücüler DA servo sürücüler ve AA servo sürücüler olarak ikiye ayrılır.

##### 2.2.1.3.1.1. DA Servo Sürücüler

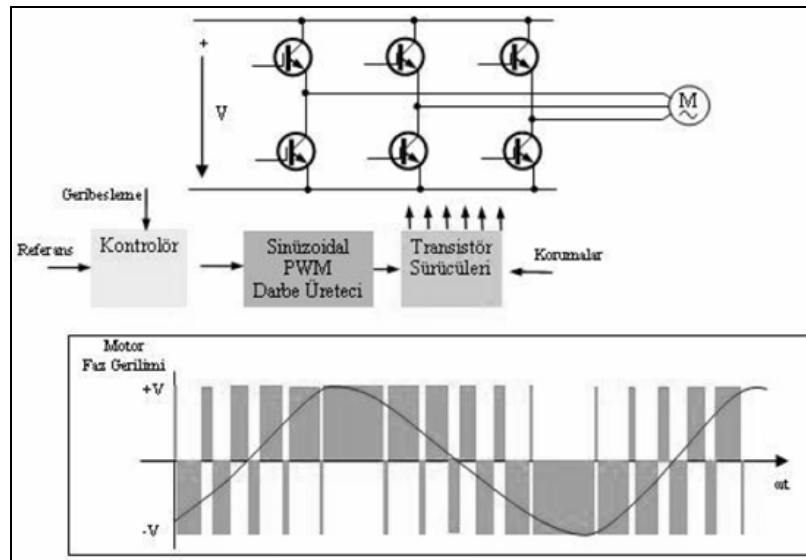
Darbe genişlik modülasyonu ile çalışan, genellikle analog ya da dijital sürücülerdir. Geri besleme olarak tako jeneratör, hall sensör veya artırımı enkoder kullanılır. Dinamik performansı düşük kullanımı kolay ve ucuz sürücülerdir.



Şekil 2.17: DA Servo motor sürücü çalışma prensip şeması

### 2.2.1.3.1.2. AA Servo Sürücüler

Sinüsoidal darbe genişlik modülasyonu ile çalışan, analog veya dijital yapıda sürücülerdir. Geri besleme olarak hall sensör, çözümleyici artırımı enkoder veya mutlak (sin/cos) enkoder kullanılır. Dinamik performansı yüksek kullanımı bilgi gerektiren DA servo sürücülere göre daha pahalıdır.



Şekil 2.18: AA servo motorların çalışma prensip şeması

İnvertörlerde kullanılan transistörler rotor konum bilgisine uygun göre uygun sırada iletme veya kesime geçirilerek motor kontrolü yapılır.

#### **2.2.1.4. Geri Besleme Elemanı**

Servo motorların en önemli özelliği sürücü devresinin olmasıdır. Fakat tek başına sürücünün bulunması bir anlam ifade etmez. Çünkü sürücü, kendisine gelen bilgileri(verileri) servo motora iletir ve pozisyonunun uygun yerde ve hızda olup olmadığını, geri besleme elemanları ile kontrol edilir. Sistemin özelliğine göre bu elmanlar seçilir.

Mutlak pozisyon ölçümü gereksinimi >>> Resolver veya Sin-Cos enkoder

Yüksek hız çalışması >>> Artımlı enkoder

Düşük hız çalışması >>> Resolver veya enkoder

Doğruluk(hassasiyet ) >>> Artımlı enkoder

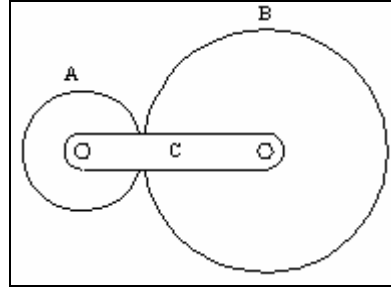
Yüksek sıcaklıkta çalışma >>> Resolver

#### **2.2.2. Redüktörler**

Robotik sistemlerde sistemin motordan alınan tork değerinin yükseltilmesi için redüktörler kullanılır. Robotik sistemlerde kullanılan redüktörler:

##### **2.2.2.1. Planet Dişli Sistemleri**

Yörünge dişli, güneş dişli ve her iki dişli üzerine kavramış aynı zamanda planet taşıyıcısı üzerine yataklanmış planet dişlilerden oluşan sistemdir. Planet dişli sistemlerinin en basit yapıda olanı, birbiriyle kavramış bulunan iki düz dişliden ibaret düzendir. Şekil 2.19' de gösterilen dişli tertibatı incelendiğinde üzerinde üç farklı hareketin sağlanacağı anlaşılır. Tertibatı oluşturan elemanlardan her biri sıra ile sabit tutulur ve diğerlerinin birinden hareket verilir; serbest kalan üçüncü elemandan hareket alınabilir. Üniteyi meydana getiren elemanlar üç adet olduğundan değişik üç hareket sağlanabilir.

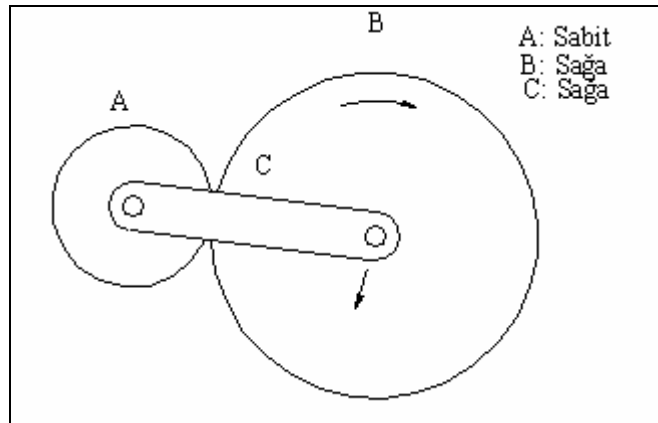


Şekil 2.19 Planet sistem

Yukarıdaki örnek sistem için üç durumu inceleyelim.

### I. Durum:

A dişlisi sabit tutulsun, taşıyıcı adı verilen C sağa doğru döndürülsün. Bu durumda A dişlisi ile kavraşmış bulunan B dişlisi de kendi eksenini etrafında sağa doğru dönecektir. Şekil 2.20'de okların gösterdiği dikkat ediniz. Taşıyıcının tam bir devri için B dişlisi  $A/B$  kadar dönüş yapacaktır. Fakat, B dişlisi aynı zamanda C taşıyıcısı tarafından kendisi ile birlikte sürüklenmektedir; daha doğrusu ayrıca kendisi ile birlikte döndürülmeye çalışılmaktadır. Bu B dişlisinin aynı zamanda A dişlisinin eksenini etrafında dönmesi demektir. Bu bakımdan C taşıyıcısı yaptığı bir tura mukabil B dişlisi  $A/B+1$  tur yapmaktadır.

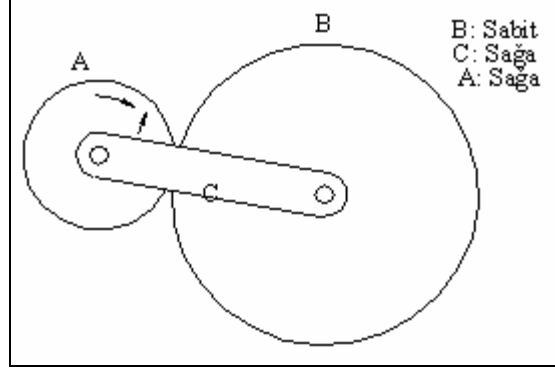


Şekil 2.20. Planet dişlili sistemlerde sabit planet hareketli taşıyıcı durumu.

### II. Durum:

B dişlisi sabit tutulup, hareketin C taşıyıcısından verildiğini ve taşıyıcının sağa döndürüldüğünü kabul edelim. Bu bir önceki örneğin bir bakıma aynısıdır. A dişlisi de

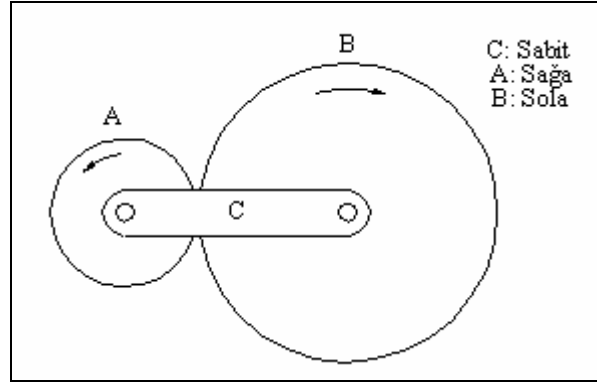
sağa dönecek ve bir yandan da C taşıyıcısı ile birlikte dönmeye çalışacaktır. Şu halde A dişlisi taşıyıcının bir devrine karşılık olarak  $B/A+1$  devir yapacaktır. (Şekil 2.21)



Şekil 2.21. Planet dişli sistemlerde sabit güneş dişli hareketli taşıyıcı durumu.

### III. Durum:

Taşıyıcı C sabit tutulup B dişlisinden ya da A dişlisinden hareketin verildiğini kabul edelim. Eğer A dişlisinden hareket verilip B dişlisinden alınırsa B dişlisi  $A/B$  tur, B dişlisinden verilip A dişlisinden alınırsa A dişlisi  $B/A$  kadar tur yapar. Dişlilerin dönme yönleri ise doğal olarak birbirinin tersidir. (Şekil 2.22)

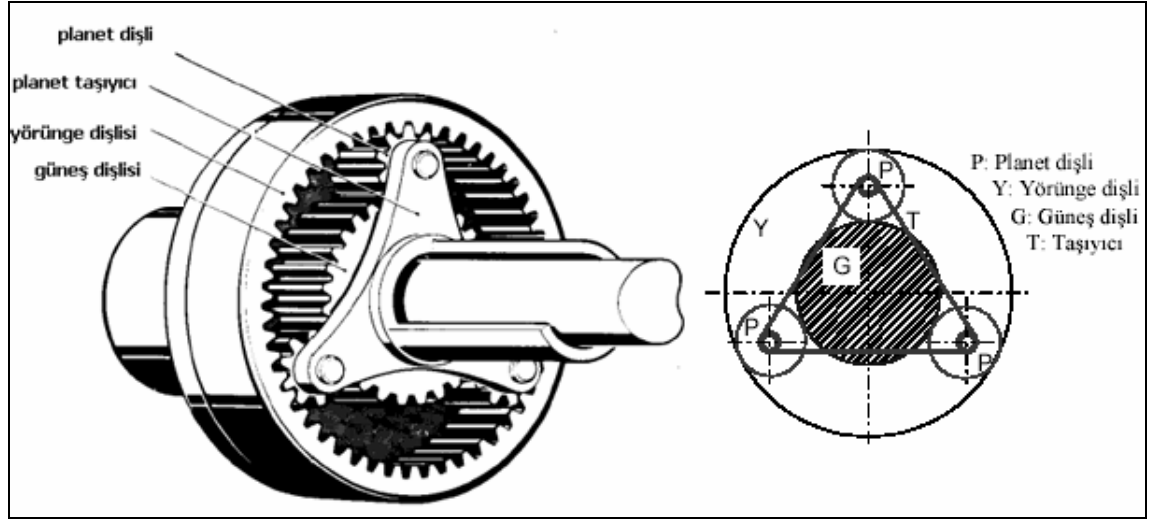


Şekil 2.22. Planet dişli sistemlerde sabit taşıyıcı hareketli planet ve güneş dişli durumu.

Dişlerin yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi dıştan kavramaları yerine içten kavramaları diğer değişik bir tertibatı meydana getirilebilir. En çok kullanılan sistem bunlardır. Planet dişli takımı, kendi adını yapısından alır. Güneşin etrafındaki gezegenler (planetler) gibi, bir merkezi dişlinin –(güneş dişlisi)- etrafında dairesel birçok dişliler vardır. Bütün dişliler milin üstünde yataklandırılmışlardır ve sürekli

olarak birlikte iç içe geçmiş durumda bulunurlar. Bir dönüşümün elde edilmesinde de dişli sistemi elemanlarının sabit tutulması zorunluluğu vardır. Planet dişli sistemi dişlilerinin diş sayılarına göre büyüklükleri şöyledir:  $Y > 3 \cdot P > G$

Bu sistemde üç elemandan birini sabit tutar diğerinden hareket verilirse üçüncü elemandan hareket azalarak veya yön değiştirerek alınır. 2 eleman birbirine bağlanır veya 2 elemana birden aynı hareket verilirse sistem kilitlenir.1/1 oranında hareket iletilir. Aşağıda sistemi oluşturan elemanlar gösterilmiştir. Malzemeleri kullanılan yerlere göre değişmektedir. Makinecilikte bilinen diğer dişli çark malzemelerinden yapılırlar, diğer bazı alanlarda fiber ve sert plastikten de yapılırlar.



Şekil 2.23. Planet dişli ve elemanları

Planet dişlilerin özellikleri:

- Sessiz çalışırlar.
- Yüksek moment artışı sağlarlar.
- Az yer kaplarlar.
- Bütün sistem elemanları dağınık olmadığından yağlama kolaydır.
- Çeşitli devirler ve hareket elde edilebilir.
- Bakımı kolaydır.
- Kullanım alanları fazladır.
- Otomobil şanzımanlarında kullanıldığında yakıt tasarrufu sağlar.

### **2.2.2.1.1. Planet Dişli Sistemlerini Meydana Getiren Elemanlar**

#### **A) Planet taşıyıcı**

Planet dişlileri üzerinde taşıyan ve bu dişlilere yataklık yapan elemandır. Planet dişlerin dönmesi ile güneş dişlisi eseni etrafında da dönme olayı meydana gelir. Buna bağlı olarak bu dişlilere yataklık yapan planet taşıyıcı da mil eksenine göre dönme hareketi yapar. Planet taşıyıcı giriş mili olarak kullanıldığı gibi, çıkış mili olarak ta kullanılır. Planet sisteminin çeşidine göre farklı geometrilere sahiptir.

#### **B) Güneş dişlisi**

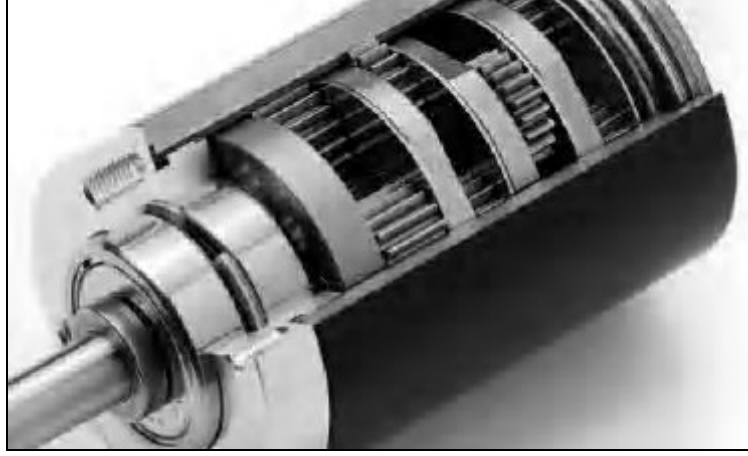
Üzerinde planet dişleri bulunduğu ve etrafında döndüklerinden bu ismi almıştır. Sistemde sabit olduğu gibi, hareket aktarma elemanı olarak da kullanılır. Hareketin durumuna göre giriş yada çıkış elemanı olarak ta kullanılır.

#### **C) Yörünge dişlisi**

Planet dişlileri ile içten kavramış ve halka biçimindeki dişlidir. Sistemin en büyük dişlisidir. Planet dişlileri bu halka dişlinin üzerinde yuvarlanarak döndüklerinden diğer bir ifade ile belli bir yörünge boyunca geldiklerinden bu ismi almıştır. Yine diğer elemanlar gibi sabit yada hareketli kullanılır.

#### **D) Planet dişlileri**

Planet taşıyıcının üzerinde yatakladığı pinyon dişlileridir. Sistemin en küçük elemanıdır. Güneş dişlisi ile dıştan kavramalı, yörünge dişlisi ile içten kavramalı, kendi eksenini etrafında ve güneş dişlisi eksenini etrafında dönen elemandır. Sistemin yapısına göre farklı sayılarda bulunur. Mesela; 2, 3 hatta 4 adetli kullanılan yerler vardır. Sistemin 6 farklı hareketi vardır.



Şekil 2.24.Güneş dişlili 1:100 tahvil oranlı redüktör kutusu.

**1. Durum:** Güneş dişli sabit, taşıyıcı motor tarafından döndürülüyor olsun. Yörünge dişlisi planet dişli tarafından aynı yönde döndürülecektir. Yörünge dişlisi kendisine hareket veren dişliden daha yüksek devirde döner. Moment azalır, hız artar.

**2. Durum:** Güneş dişli sabit, hareket yörünge dişlisinden verilip taşıyıcıdan alınırsa 1. durumdaki hareketin tersi bir durum ortaya çıkar. Dönüş yönleri aynıdır, alınan devir verilen devirden düşük olur. Bu eğer bir vites olarak kabul edilirse vites küçültülmüş olur. Moment artar, hız azalır.

**3. Durum:** Yörünge dişlisi sabit, hareket güneş dişliden verilip taşıyıcıdan alınırsa, taşıyıcının yönü ile güneş dişlisinin yönü aynı kalır. Vites olarak düşünülürse ileri vites durumu sağlanır. Hız azalır, moment artar.

**4. Durum:** Yörünge dişlisi sabit, hareket taşıyıcıdan verilip, güneş dişliden alınırsa güneş dişlinin yönü taşıyıcının yönü ile aynı olacaktır. Bu nedenle yine ileri bir vites sağlanmış olur. Hareket iletim oranı ise birinci durumun tam tersidir. Hız artar, moment azalır.

**5. Durum:** Taşıyıcı sabit tutulup hareket güneş dişliden verilir, yörüngeden alınır. Yönü güneş dişlinin yönüne terstir. Yani alınan hareket ters yöndedir. Vites olarak geri vites durumudur. Hız azalır, moment artar.

**6. Durum:** Taşıyıcı sabit tutulup hareket yörüngeden verilir ve güneş dişliden alınır; yön olarak giriş milinin tersine bir hareket meydana gelir. Devir olarak ise 5. durumun

tersi bir durumudur. Moment azalır, hız artar. Hareketin yönü değiştirilerek ileri vites olarak kullanılacağı gibi aracın geri geri hızlı gitmesini de sağlar.

### 2.2.2.2. Harmonik Dişli Redüktörler

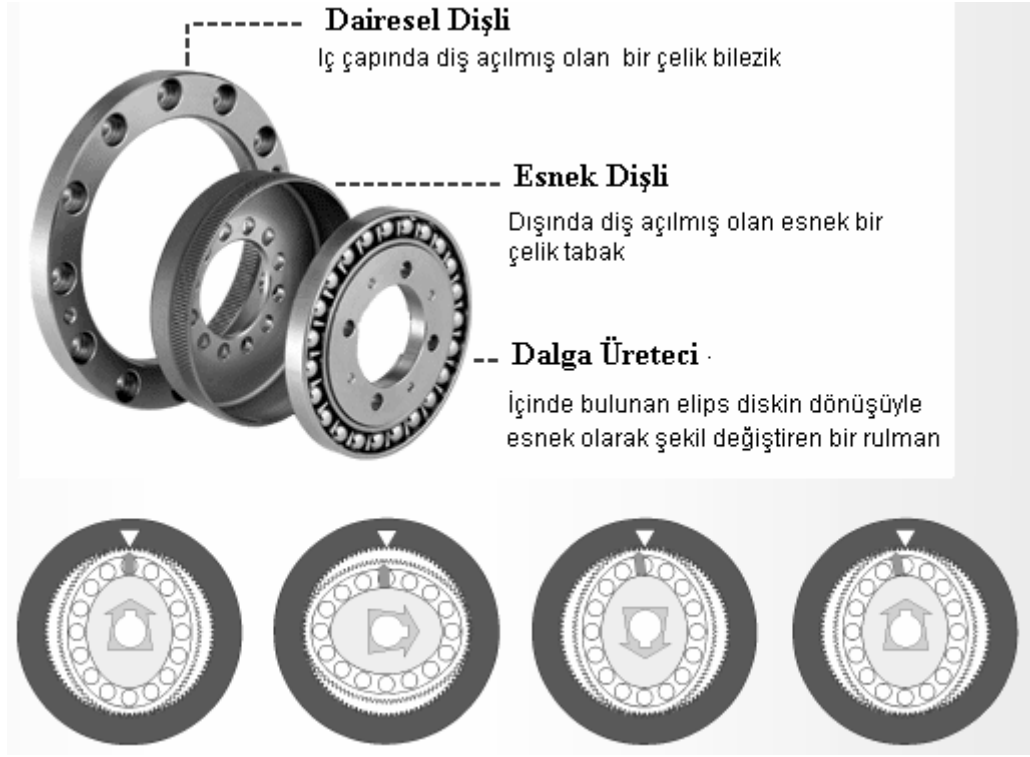
Harmonik dişli sistemleri Planetary sisteme benzemekle birlikte çok daha farklıdır. Merkezdeki dişli eliptik, esnek bir dişlidir. Ve elipse özel dişli sistemi sayesinde bir iç dişli bir elips dişlisiyle çok yüksek ve verimli düşürme oranları elde edilebilir. En önemli özellikleriyse çok hassas işlemler yapılmasını sağlayabilen **Zero Backlash'e** sahip olmalarıdır. Örneğin bir motoru çevirdiğinizde çok küçük de olsa bir boşluk hissedebilirsiniz bu motorlardaysa hissedilen boşluk yoktur. Bu sistemi üretebilecek fabrikalar bir elin parmakları kadar olduğu için motorlar çok özel ve çok yüksek fiyatlıdır.

Tahrik girişinde elips şekilli Dalga Üretici vardır. Dalga Üretici kendisini çevreleyen rulman ile Esnek Dişli'nin içinde yer alır. Elips şeklini alan Esnek Dişli'nin uzun ekseninin karşısına düşen bölgelerdeki dişleri, rijit Dairesel Dişli ile kenetlenir. Böylece toplam diş sayısının yaklaşık %30'u daima temas halindedir.

Dalga Üretici'nin döndürülmesi ile elipsin uzun eksenini açısal olarak yer değiştirir. Dolayısıyla diş kenetlenme bölgesi de açısal olarak yer değiştirmiş olur. Burada en önemli ayrıntı şudur: Esnek Dişlinin diş sayısı, Dairesel Dişlinin diş sayısından iki diş daha azdır.

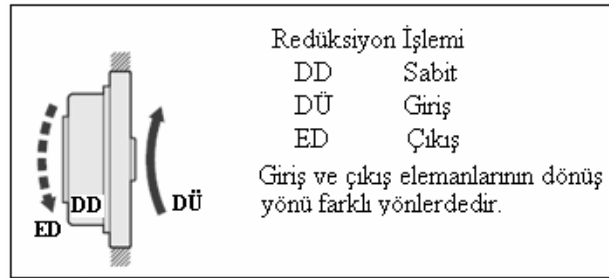
Dalga Üretici'nin yarım tur dönmesi sonucunda Esnek Dişli ile Dairesel Dişli arasında bir diş bağıl kayma oluşur.

Bir tam tur dönüş sonucunda ise toplam iki diş kadar kayma oluşur. Dairesel Dişli'nin sabit tutulması durumunda, redüktör çıkışı Esnek Dişli'nin kendisidir.



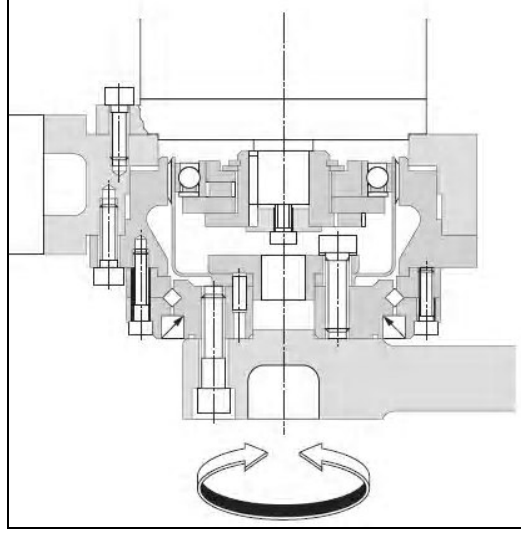
Şekil 2.25. Harmonik dişliyi oluşturan elemanlar[9]

Harmonik dişliler değişik şekillerde kullanılabilir. Bizim projemizde moment artırıcı olarak kullanılacağı için şekil 2.26 deki gibi kullanılacaktır.



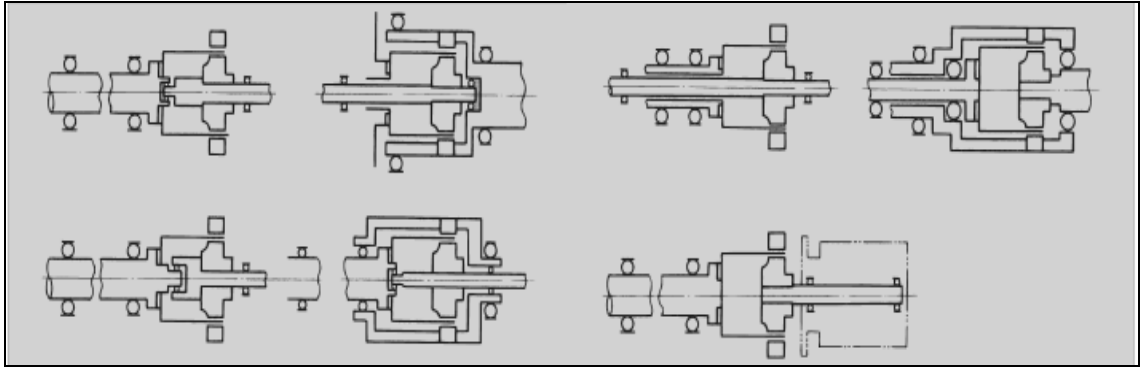
Şekil 2.26. Robot mafsalında harmonik dişlinin kullanılış tarzı.

Harmonik dişliler çıkışına direkt olarak bağlantı yapılamayacağından çıkış elemanının yataklanması gerekmektedir. Firmaların ürettiği harmonik dişliler isteğe göre unit şeklinde de olabilir. Ünit şekliyle harmonik dişlinin çıkışına robot kol,tutucu veya benzer bir uzuv direkt olarak bağlanabilir. Şekil 2.27 de scara robotunda harmonik dişlinin kullanımı gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi harmonik dişlili unit yapıya direk diğer uzuv bağlanmıştır.



Şekil 2.27.Scara robotunda harmonik dişlinin ünit yapı olarak kullanımı

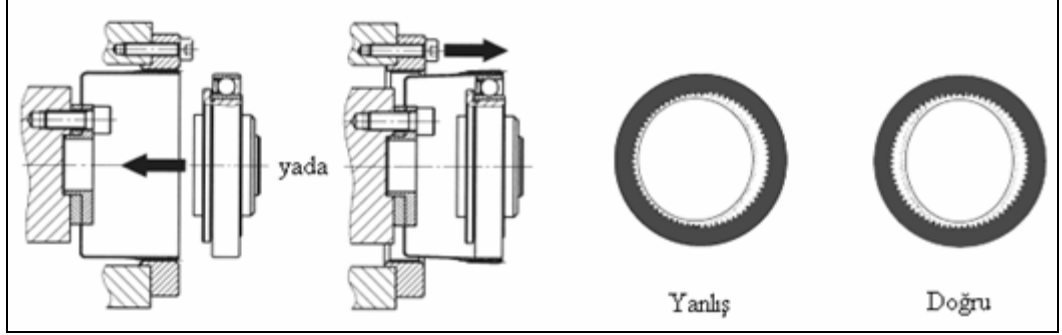
Harmonik dişliler eğer yalın olarak kullanılacaksa giriş ve çıkış şaftı en az iki yatak kullanılarak yataklanmalıdır. Aksi takdirde radyal ve aksenal kuvvetler dişlilerin yapısının bozulmasına sebep olur. Şekil 2.28’de doğru yataklama şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2.28. Harmonik dişli kutusu yataklama şekilleri

Harmonik dişliler ilgili dikkat edilmesi gereken diğer bir önemli noktada montajdır. Yanlış montaj harmonik dişlinin zarar görmesine ve kilitlenmesine sebep olur. Şekil.... De mümkün olan iki değişik montaj sırası gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken hususlardan biri giriş ve çıkış şaftı eksenlerinin birbiri ile çakışık olmasıdır. İlk olarak esnek dişli ve dairesel dişli kullanılacağı makine parçalarına monte edilmelidir. Esnek dişlinin ve dairesel dişlinin montajına dikkat edilmesi gerekir. Eğer simetrik

olmayan montaj sese ve titreşime sebep olacağı gibi sistemin omrünü tamamlamadan bozulmasına sebep olur.



Şekil 2.29. Harmonik dişli montaj sırası

### 2.2.3. Enkoderler

Enkoder (Sinyal Üretici); şaftının hareketine karşılık, sayısal (dijital) bir elektrik sinyali üreten elektromekanik bir cihazdır.

#### 2.2.3.1. Enkoder Tipleri

Enkoderler Çalışma şekillerine göre; dönel olarak çalışan şaft Enkoderler ve doğrusal olarak çalışan **Lineer Enkoderler** olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Testere Dişli bir kol ya da Ölçü Tekerleği gibi uygun bir mekanik dönüştürme cihazı ile birlikte kullanıldığı zaman; Şaft enkoderler,

- Açısal yer değiştirme,
- Lineer ve dairesel hareket,
- Dönüş hızı,
- İvme,

gibi büyüklükleri ölçmek için kullanılabilir.

Enkoderler, çıkış tipine göre ikiye ayrılır;

Mutlak tip (Absolute) enkoderler, bu enkoderler, her pozisyonlarında farklı sayılardaki bitlerden oluşan dijital bit dizileri şeklinde birbirine benzemeyen çıkışlar üreterek, gerçek pozisyonlarını tam olarak gösterirler.

Artımsal tip (Incremental) enkoderler, bu enkoderler, her pozisyonda benzer çıkış sinyalleri (Kare Dalga) üretirler. Bu Sinyaller hız ölçümü (bir Takometre ile birlikte) ya da sayma işlemi için (bir Sayıcı ile birlikte) kullanılabilirler.

### 2.2.3.2. Algılama Teknolojisi

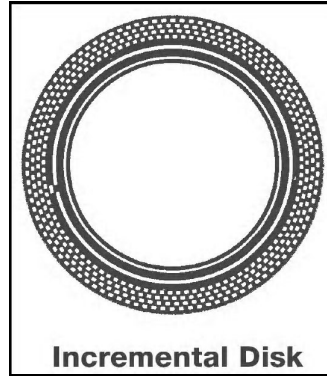
Enkoderler, genellikle optik veya manyetik algılama teknolojilerinden birini kullanır.

#### 2.2.3.2.1. Optik Algılama

Birçok endüstriyel alanda, yüksek çözünürlük, yüksek çalışma hızı ve güvenilir uzun ömürlü çalışma sağlar.

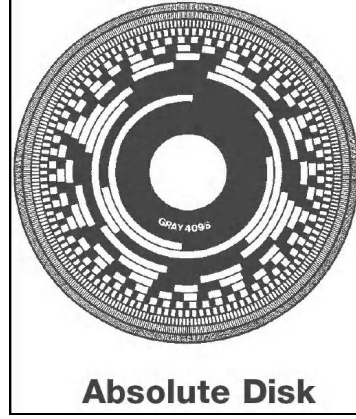
Optik Enkoderlerde algılama için, üzerinde düzgün şekilde dizilmiş çizgiler olan cam disk, üzerinde yarıklar olan metal veya cam disk (şaft enkoder) veya metal veya cam şerit (lineer enkoder) kullanılır.

Artımsal (Incremental) Tip Enkoderde, disk üzerinde çıkış sayısına bağlı olarak bir veya daha fazla çizgi dizisi bulunur;

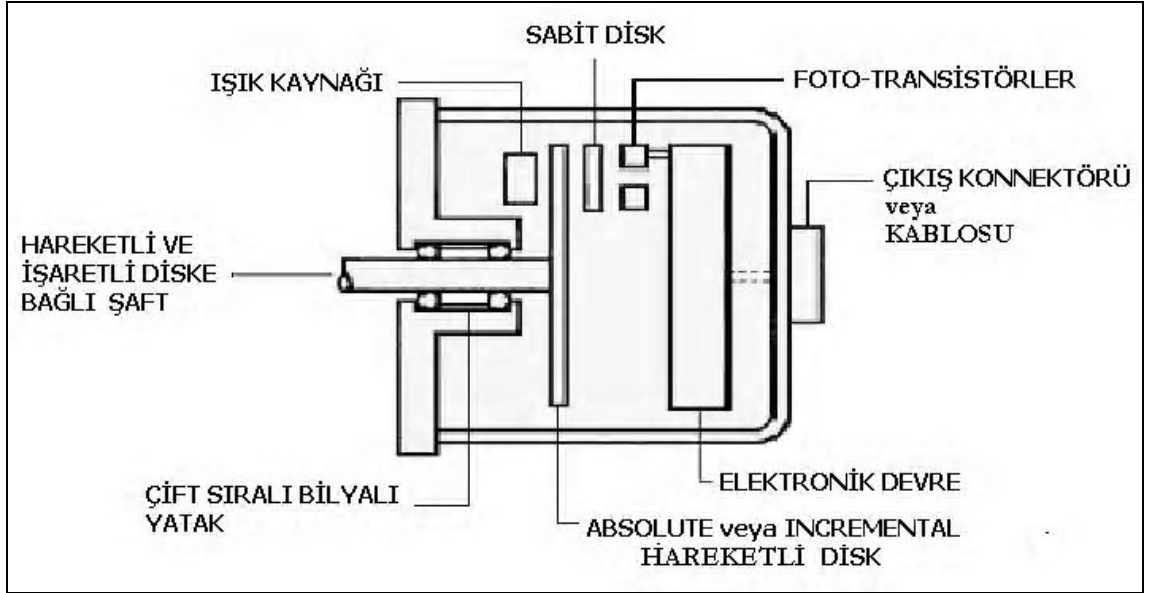


Şekil 2.30.A, B, Z ve A, B, Z çıkışlı artırımlı disk

Paralel çıkışlı mutlak (absolute) tip enkoderde ise, çıkış bitlerinin sayısı kadar çizgi dizisi vardır.



Şekil 2.31. 12Bit çıkışlı mutlak disk



Şekil 2.32 Artımsal (Incremental) bir Enkoder.

Yönü ayarlanmış (Hizalandırılmış) bir ışık ışını; biri statik (RETICLE) diğeri hareketli iki yuvarlak (Radyal) Disk'e nişanlanır. Her iki disk arasından geçebilen ışık, statik diskin hemen ötesinde yer alan bir grup Fototransistorun üzerine düşer. Sabit disk üzerinde, bir yerine birkaç yarık kullanarak elde edilen elektrik sinyali daha güçlü olur ve aslında bu sinyal dönen disk üzerinde bulunan çizgilerin ortalamasıdır.

Bu şekilde elde edilen elektriksel çıkış, küçük disk hatalarına veya optik sistemdeki küçük yanıtıcı durumlara duyarlı değildir. (Böylece hatalı sinyal üretilmesi engellenmektedir). Bu nedenden dolayı, Statik Diski birden fazla Yarıktan oluşan Artımsal Tip Enkoderlerin, tek yarıktan oluşan diğeri tiplere göre ürettikleri kare

dalgalarındaki titreşimler (bozulmalar) daha az olur. Enkoderlerin performansları; tarama düzeninde Push-Pull yönteminin kullanılması ile daha da geliştirilmiştir. Bu sistem, biri karanlık bölgede iken, diğeri aydınlatılmış bölgede kalan iki foto-transistorun çıkış sinyallerini karşılaştırır, böylece hem Besleme Geriliminde dalgalanmalar hem de ortam sıcaklığında değişimler olması durumunda bile, çok kararlı çıkış sinyalleri elde edilebilmektedir.

### 2.2.3.2.2. Manyetik Algılama

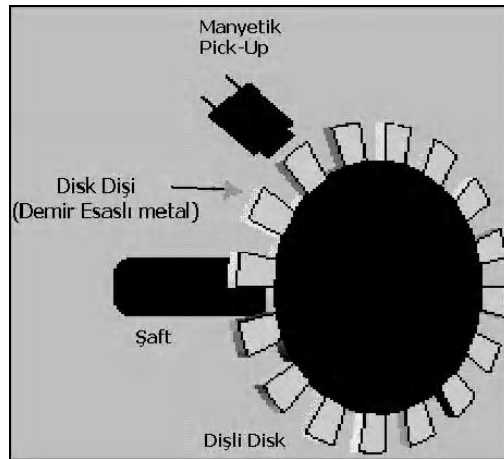
Daha çok, çelik, metal ve kâğıt fabrikaları gibi, ağır(sert) koşullarda, yüksek çözünürlük, yüksek çalışma hızı ve toz, nem ve sıcaklık & mekanik şoklara karşı maksimum dayanım sağlar.

Manyetik algılama teknolojisi; toz, gres(yağ), nem ve diğer kirletici etmenler ile şok ve titreşime karşı oldukça dayanıklıdır.

Manyetik Enkoderler, algılama şekillerine göre sınıflandırılabilir;

#### 2.2.3.2.2.1. Manyetik Pick-Up

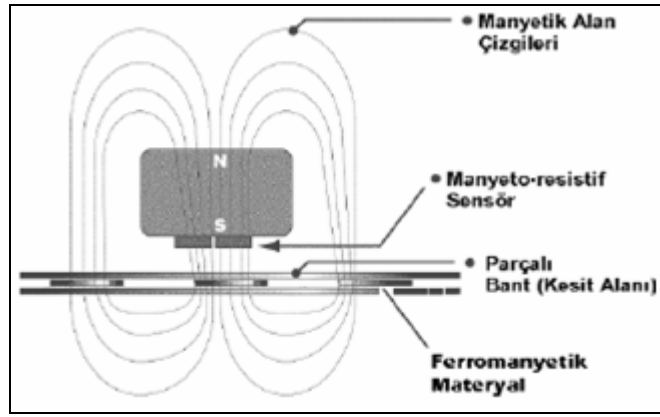
Bir mıknatıs üzerine sarılmış telden oluşan bir sensör kullanır. Bu sayede, hareketli diskin bir dişi bu sensörün önünden geçtiği zaman bir voltaj sinyali üretilir. Bu enkoder, en çok yüksek hız ölçümlerinde kullanılır, çünkü sensör, diskin dişi yaklaşık 5 m/s den düşük bir çevresel hızla önünden geçerse cevap vermeyecektir(algılayamayacaktır) .



Şekil 2.33. Manyetik pick up algılama

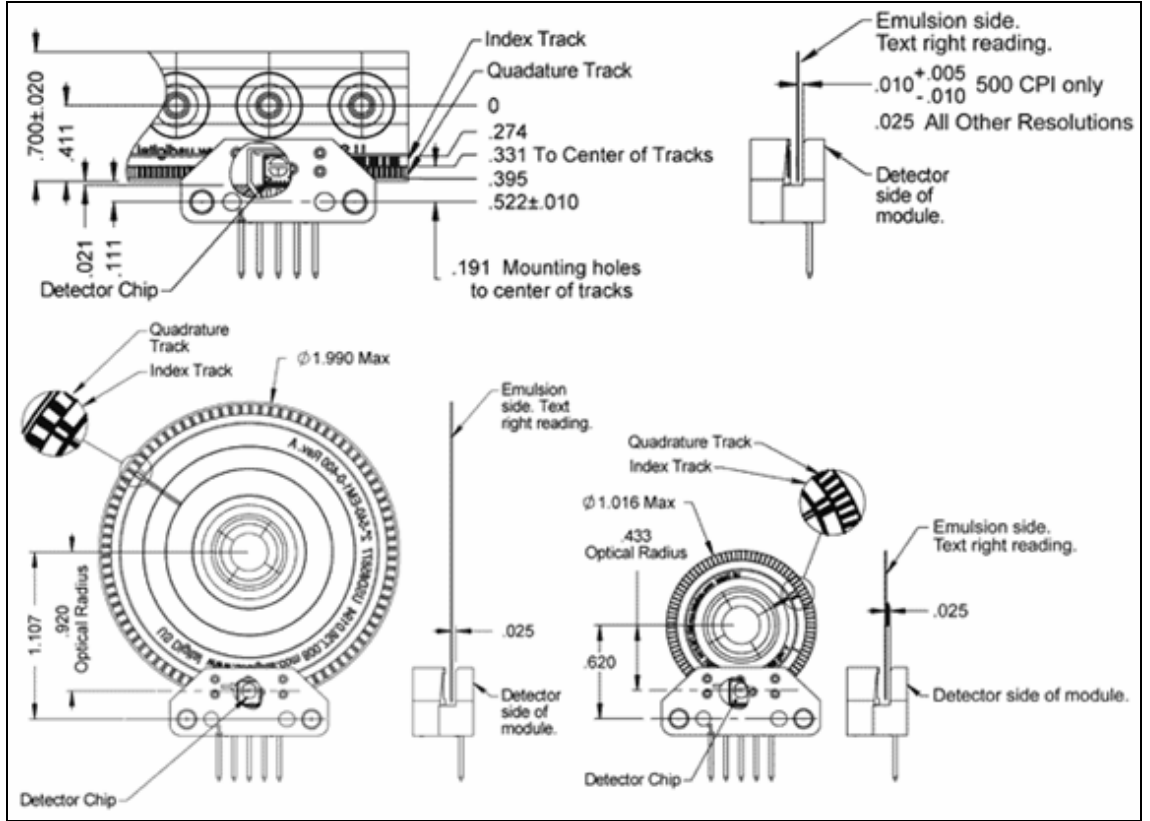
### 2.2.3.2.2. Hall-Etki veya Manyetoresistif

Bir mıknatıs ile Hall-etki veya Manyetoresistif bir element kullanır. Demir esaslı mıknatıs (Ferro-magnetic ) özelliğine sahip bir materyalin varlığında, voltaj veya elektriksel dirençte meydana gelen değişiklik ile pulse üretir. Ferro-magnetic materyal, manyetik şaft enkoderde, dişli çarkın bir dişi iken, Manyetik Lineer Enkoderde, içinde metal parçacıklar olan bandın içindeki her bir metal parçasıdır. Bu enkoder, her hızda çalışır ve hem şaft hem de lineer olarak kullanabilmek mümkündür.



Şekil 2.34. Lineer manyetik enkoder

Robot mafsallarında pozisyonun belirlenmesi önemlidir. İstenen tork robot mafsalında sağlandıktan sonra doğru pozisyonun elde edilip edilmediği belirlemek için geri besleme elemanı olarak enkoderler kullanılır. Enkoder lineer veya dönümsel bir yer değiştirmeyi digital veya analog bilgiye çeviren bir alettir. Enkoder yardımıyla mafsalların hız, yön, konum gibi değişkenlerin kontrolünü sağlar.



Şekil 2.35.Lineer ve rotary tip enkoder.

Enkoderlerin dışında mafsallardaki açısıl konumu belirlemek içinde potansiyometreler de kullanılabilir. Potansiyometrenin dönüşüyle birlikte voltaj miktarının düşmesiyle dönüş açısı belirlenir.

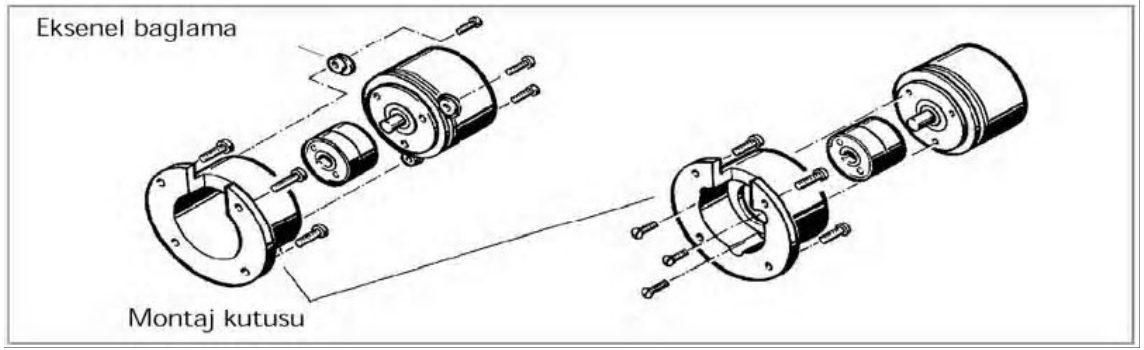
### 2.2.3.3. Enkoderlerin Montajı

Çeşitli tip enkoderlerin montajı

#### a.Yuvarlak(Syncro) Flanşlı Şaft Enkoder

İki yolla monte edilir:

- Yuvarlak(Syncro) flanş ve üç tırnak bağlamak suretiyle ya da
- Yüzeydeki vida bağlantıları sayesinde.



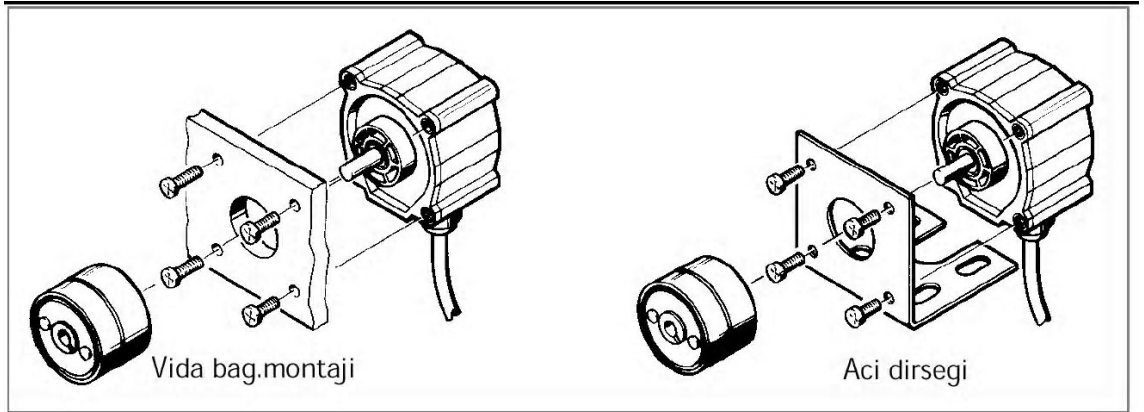
Şekil 2.36. Yuvarlak(Syncro) flanşlı şaft enkoderlerin montajı

### b.Kare Flanşlı Şaft Enkoder

İki yolla monte edilir :

- Yüzeydeki vida bağlantılarını kullanarak ve
- Açılı Bağlantı Parçası kullanarak

Enkoder, flanş üzerindeki fatura sayesinde ortalanır.

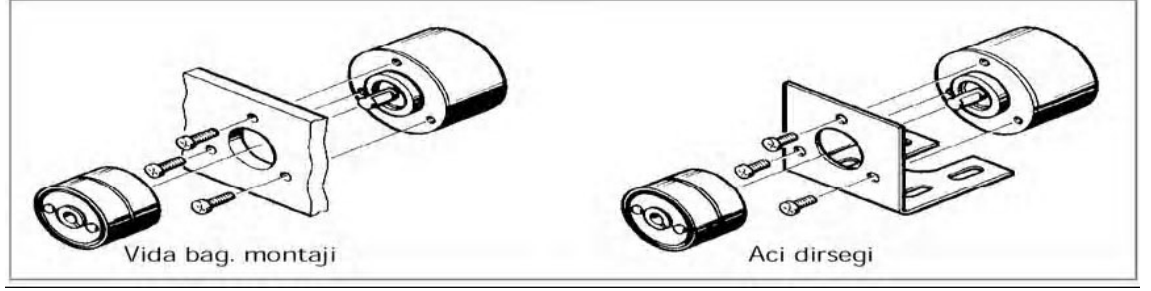


Şekil 2.37.Kare flanşlı şaft enkoderlerin montajı

### c.Yuvarlak Flanşlı(Geçmeli tip) Şaft Enkoder

İki yolla kurulur:

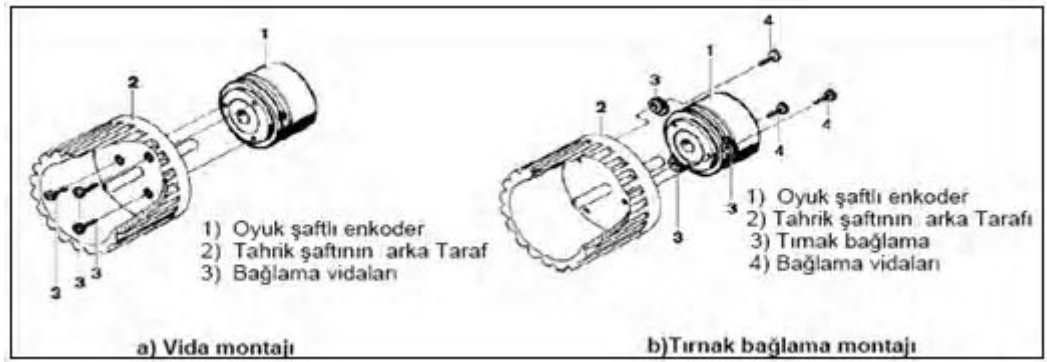
- Yüzeydeki vida bağlantılarını kullanarak ve
- Açılı Bağlantı Parçası kullanarak



Şekil 2.38. Yuvarlak flanşlı (Geçmeli tip) şaft enkoderlerin montajı

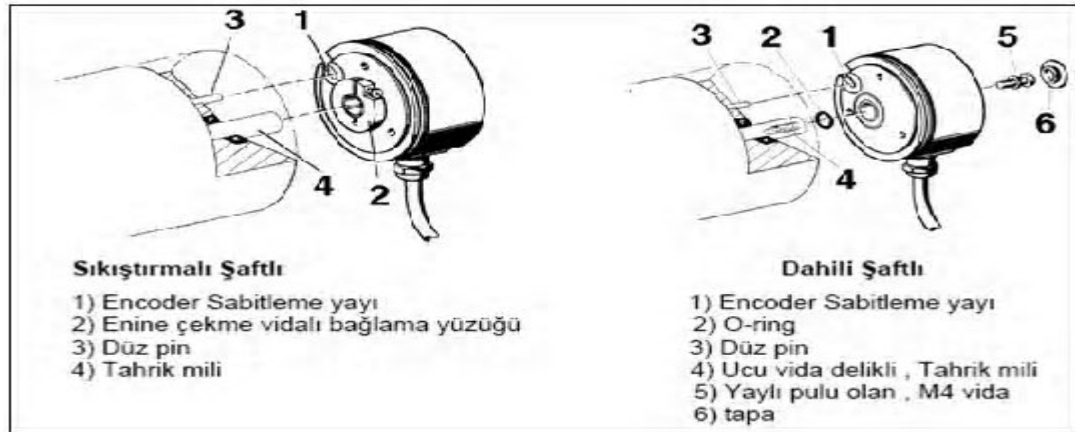
Enkoder, flanş üzerindeki merkezi delik sayesinde ortalanır.

#### d. Oyuk Şaftlı (Hollow Shaft) Enkoder



Şekil 2.39. Oyuk şaftlı enkoderlerin montajı

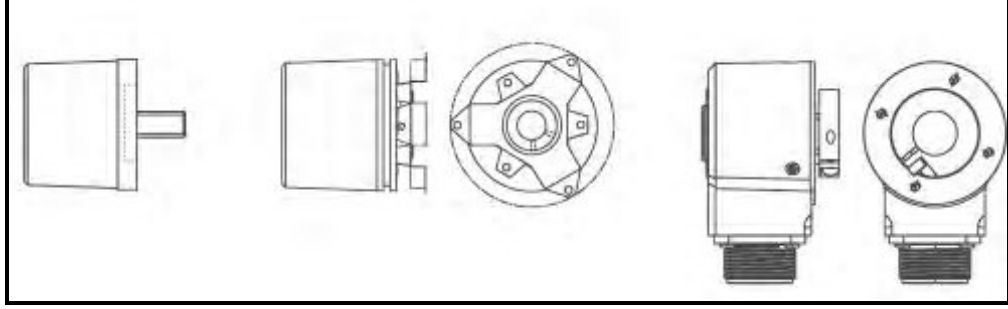
#### e. Oyuk Kenarlı, Oyuk Şaftlı Enkoder



Şekil 2.40. Oyuk kenarlı, Oyuk şaftlı enkoderlerin montajı.

#### 2.2.3.4. Enkoderlerin Mekanik Kurulumu

Enkoderlerin, milli tipi ve oyuk şaftlı tipi mevcuttur.



Şekil 2.41. Milli tip ve oyuk şaftlı tip enkoderler

Karşılaşılabilecek muhtemel baskı ve hatalardan dolayı, enkoderin makineye mekanik bağlantısı çok önemlidir. Enkoderin belirtilen radyal ve aksiyal yüklenme limitlerini aşmamaya özen gösterilmelidir. Karşılaşılan genel zorluklar; kaçıklık, enkoder miline uygulanan baskı ve kayış veya dişli baskısıdır. Kaplindeki değişim ya da geri tepki, pozisyon gösteriminde hataya sebep olabilir. Çok küçük kaçıklıklar bile yüksek radyal yüklenmeye neden olur, ve bu durum enkoder yataklarının çabuk bozulmasına neden olacaktır. Bunu engellemek için, enkoder mili ve makine arasında, kaçıklıkları kompanze eden esnek kaplin kullanınız. Fazla olan kaçıklık, aradaki kaplinin erken kırılmasına neden olur. Kaplini seçerken, kaplinin, varolan kaçıklık ile ne kadar süre dayandığını ve bu kaçıklığın şaft ve yataklar üzerindeki etkisini belirleyin. Bu şekilde seçilmiş olan bir kaplin, rastgele seçilmiş olan bir kaplinden daha iyi sonuç verecektir. Eğer kaçıklık yok ise, kaplinin ömrü çok uzun olacaktır. Enkoderlerde, geri tepki'den kaynaklanabilecek hataları ve şaft ile yataklarda meydana gelebilecek hasarları engellemek için hassas kaplin kullanması gereklidir. Özellikle, ara-parça olarak kauçuk kullanılan parmaklı tip motor kaplini kullanılmamalıdır. Enkoderler, hassas hareket ölçümü sağlamak için kullanılır. Montajda özellikle dikkat edilmesi gereken hususlar

- Şafta yakın yerleri asla çekiç gibi sert malzemelerle tokmaklanmaz.
- Mekanik olarak sıkı şekilde yerleştirilecek olsa dahi, enkoder gövdesini tokmaklanmaz.
- Enkoderi radyal veya aksiyel baskılara maruz bırakılmaz.
- Sert kaplin veya geçici çözümler sunan kısa süreli montaj teknikleri kullanılmaz.

## **2.2.4. Frenler**

Robot mafsallarında herhangi bir konumda kalmayı sağlayan elemanlardır. Elektrikle ya da pnömatik, hidrolik çalışan tipleri mevcuttur. Robot uygulamalarından beklenen mafsallarda ki şaftı belirli açılarda durdurma veya motor şaftını durdurmak için kullanılır.

### **2.2.4.1. Motor Frenleme Yöntemleri**

Fren motorlarının kumanda devrelerinde Balatalı frenleme, Dinamik frenleme, Ani durdurma olmak üzere üç çeşit frenleme düzeneği mevcuttur.

#### **2.2.4.1.1. Balatalı Frenleme**

Bu çeşit frenlemede motorun kasmağı bir yay aracılığıyla iki balata tarafından sıkılır. Balatalı frende bulunan bir elektromıknatıs enerjilendiğinde balataları açarak motor kasmağını serbest bırakır. Balatalı frenin bobini frenleyeceği motorun uçlarına bağlanır. Motor çalışmaya başladığında elektromıknatısın bobini enerjilenir. Balatalar motor kasmağından ayrılır. Bu anda motor henüz şebekeye bağlandığından, yol olarak normal çalışmasına başlar. Durdurulmak istendiğinde motor elektriksel olarak şebekeden ayrılır. Aynı anda fren bobininin de enerjisi kesilmiş olur. Yay etkisiyle balatalar motor kasmağını sıkırlar. Motor kasmağı ile balatalar arasındaki mekanik sürtünme, kuvveti motoru çok kısa bir zaman içinde durdurur. Balatalı frenler asansör ve vinç benzeri düzeneklerde kullanılan motorların frenlenmesinde sıkça kullanılırlar. Fren motorları yardımıyla iş makinalarının zorlanmadan ve ısınmadan frenlemesi sağlanır. Fren motorlarından beklenen başlıca özellikleri sıralayacak olursak : Fren balatasının az aşınması ve az bakım gerektirmesi, Küçük yer tutması, Basit olması, Korozyona dayanıklı olması, Yüksek işletme güvenliği sağlaması, Büyük savurma kütlelerini frenleyebilmesi, Durma esnasında fren kuvvetini sürekli koruyabilmeli, Minimum gürültü ile çalışmalı, Fren kuvveti mekanik olarak veya elektriksel olarak kolayca ayarlanabilmeli, Çok sık devreye girip çıkabilmelidir. Genellikle fren motorlarında bir asenkron motor ve bir fren donanımı ile birleştirilerek kullanılır. Stator ve rotor normal bir asenkron makinadaki gibi yapılırlar. Ancak mekanik bir frenleme düzeneği ilave edilir. Şebekeden beslenen bir frenleme bobini ile çalışan bu frenleme düzeni motordan

ayrıdır. Bu tür motorlar genelde dış yüzeyden soğutulmalıdır. Üç fazlı asenkron motorlar standart parçalardan yapılırlar. Kuru tipte çalışan bir fren düzeni elektromagnetik bir ayardır. Bobinden akım geçince oluşan manyetik alanın çekim kuvveti yay kuvvetini yener ve fren bırakılır ve fren düzeni havalandırıcının bulunduğu arka kapak kısmına yerleştirilir. Sabit kısım fren yanındaki motor kapağını hareketli kısım ise motor miline sabitlenir. Frenleme tepsisinin iki tarafında balata bulunur. Balatalar motorun aşınmaya dayanıklı şekilde yapılan motor yatak kapaklarına sürtünerek frenleme yapılır. Sabit kısımda bulunan çekim tepsisi civatalar üzerinden kapağa bağlanır. Sınırlı aksel hareket yapabilir. Ayrıca dönemez ve arasında elektromıknatısın boyuna göre 0,2 ~ 0,5 mm mesafe bulunur. Motor akımı kesildiğinde elektromıknatıs bobininden de akım geçmez. Baskı yayları çekim tepsisi üzerinden frenleme tepsisini yatak kapağı üzerine bastırır. Böylelikle bir fren momenti oluşur ve mil frenlenir. Sistemde elektromıknatısın akımı ayarlanarak baskı balatasının ve tepsinin birbirine karşı uyguladıkları kuvvet ayarlanarak fren momenti de ayarlanabilir. Fren bobini genellikle doğru akımla beslenir. Bunun sebebi ise alternatif akımdaki sıfır geçiş anlarındaki momentin de o anlarda sıfır olmasıdır. Bu ise istenen ayar fren momentinin de darbeli ve vuruntulu çalışmasına sebep verir. Eğer fren momenti ayarlanmayacak ve sadece açma kapama yaptırılacaksa elektromıknatıs bobini istenirse alternatif akımla da yapılabilir. Fakat yine de denilebilir ki açma kapama yaptırılacak olsa bile elektriksel bakımda iyi bir frenleme alternatif akımla yapılamaz. Zira alternatif akımda açma kapama süresi doğru akıma nazaran üç katı artar. Frenleme momenti akımsız durumda ve yay kuvvetiyle sağlandığından tepsi fren aynı zamanda bir güvenlik frenidir. Zira motor çalışırken şebekeden elektrik enerjisi kesilse bile fren kendi kendini kilitler ve düzenek durur. Fren momenti motor momentinin yaklaşık iki katıdır.

#### **2.2.4.1.2. Dinamik Frenleme**

Dinamik frenleme olarak adlandırılan bu tip frenleme, elektriksel frenleme olarak da adlandırılır. Elektriksel frenlemede maksat, motorun milinden gelen momentini kullanarak makineyi jeneratör olarak çalıştırarak ürettiği gücü, yine motor durumunda çalışırken bağlı olduğu şebekeye geri vermesidir. Burada dikkat edilmesi gereken bir husus, motorun beslendiği şebekenin bu ters gücü kabul edebilecek düzenekte olmasıdır. Eğer ki şebekeye verdiği bu gücü karşılayacak yani tüketecek bir başka yük

yoksa frenlenmek istenen motor frenlenemeyecek<sup>7</sup> ve dolayısıyla işlem başarısızlıkla sonuçlanmış olacaktır. Şayet bağlı bulunduğu şebekede böylesi bir durumla karşılaşılma söz konusu olabileceksen bu durumda elektriksel olarak frenlenen ve artık jeneratör olarak çalışan bu sistemin ürettiği elektriksel güç, bir direnç üzerinde tüketilir. Fakat eğer ki bu düzenekte kullanılan ve normal çalışmasında motor, frenleme anlarında jeneratör olarak çalıştırılacak olan makine bir senkron makine ve ayrıca enterkonnekte sistemden beslenmekteyse bu durumdan endişelenmemek gerekir. Çünkü frenleme anlarında üretilen bu elektriksel gücü tüketecek yük illa ki şebekede mevcut bulunacaktır. Burada endişe edilecek bir konu aranırda o da şu olabilir; motor olarak çalışırken şebeke ile motor arasına konulan çeşitli dağıtım kademelerindeki koruma cihazlarının, herhangi bir arıza durumunda, frenleme esnasında jeneratör olarak çalışan düzenekten yükü de ayıracağından, bu duruma karşı da ayrıca önlem alınması gerekmektedir.

#### **2.2.4.1.3. Ani Durdurma**

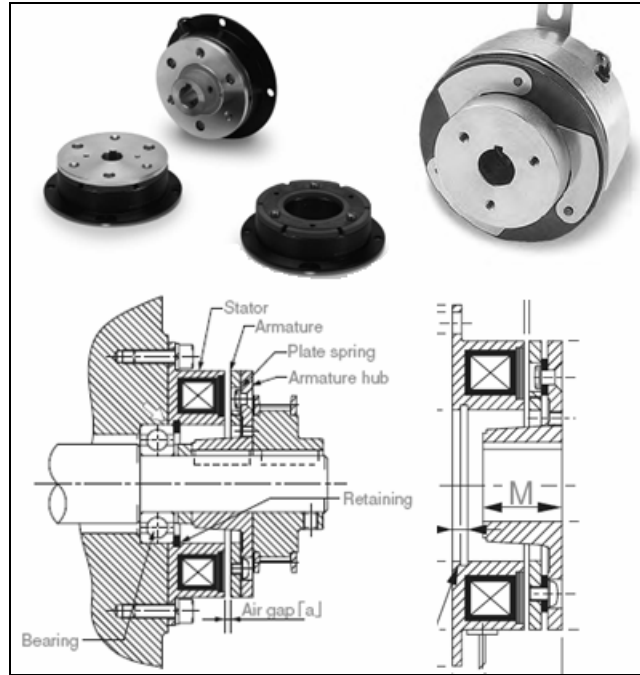
Ani durdurma yönteminin mantığı, motorun var olan döndürme momentini ters yönde çevirerek motorun miline ters döndürme momenti uygulamaktır. Motorun çeşidine göre A.A. veya D.A. , senkron veya asenkron, relüktans veya step motoru olmasına göre bu durum özel olarak her bir tip için ayrıca incelenebilir. Ancak temel olan mantık, döner alanı ters yönde çevirmektir. Frenleme zamanını en kısa sürede beceren yöntem ani frenleme yöntemidir. Ani durdurma sistemi güçlkle yol alan motorlarda ve büyük güçteki motorlarda uygulanmaz. Aksi takdirde motor şebekeden aşırı akım çeker ve döndürdüğü yükde sakıncalı değerlerde mekanik gerilimler doğar.

Robotik uygulamalarda ise genellikle elektromagnetik fren kullanılır. Mafsallarda kullanılan elektromagnetik frenler uzuvların belirli bir pozisyonda kalmasını sağlar.

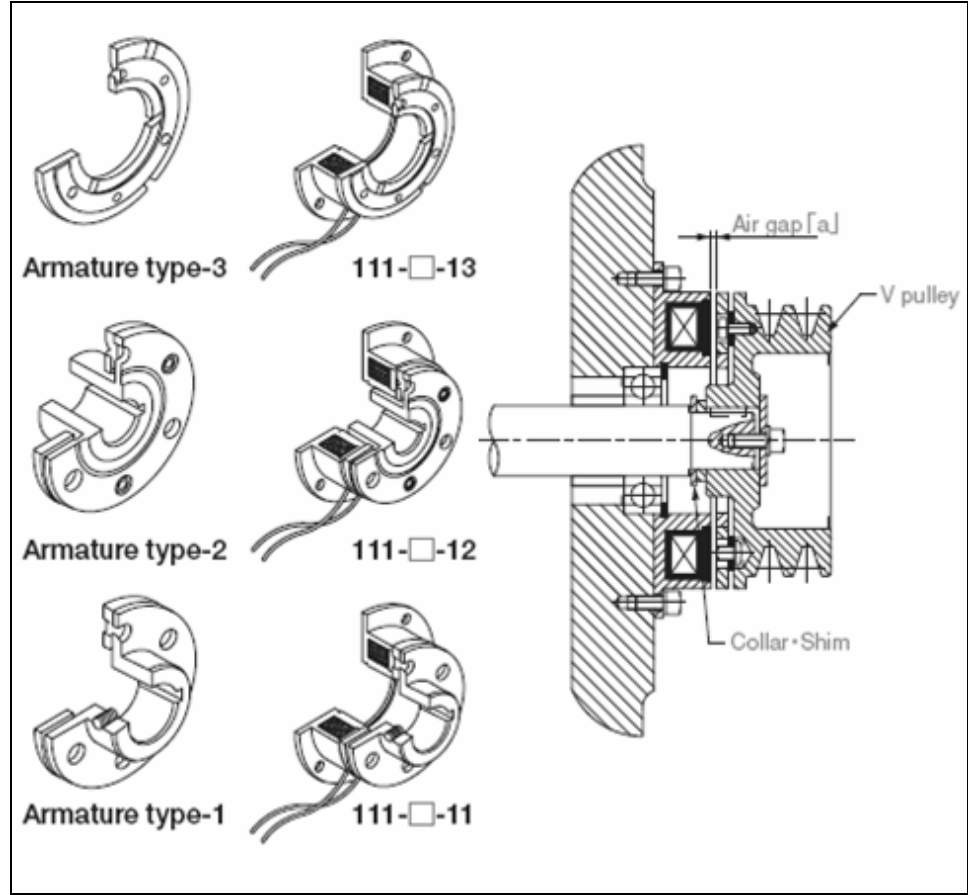
#### **2.2.4.2. Elektromagnetik Frenler**

Günümüzde birçok robotik uygulamada hassasiyet önemlidir. Makine Kimya Enstitüsünün eski bombaların imhasında kullandığı robotlar gibi çok hassasiyet gerektiren uygulamalarda elektromagnetik frenlerin kullanılması kaçınılmazdır. Çünkü mafsalın herhangi bir açıda durmasını sağlayacak tek sistem elektromagnetik frenlerdir. Bu tip hassas hareket istendiği zaman Frenleme torku oluşturmak için elektromagnetik

frenler de stator bobinine voltaj uygulanır ve magnetik alan oluşturulur. Magnetik alan çekme kuvveti armatür levhasını hava boşluğu içerisinde kendine çeker ve önyüklenmiş yayın çekme kuvvetini aşarak fren armatürün ya da motorun sürtünme yüzeyine doğru çeker ve bir frenleme torku oluşur. Uygulanan voltaj kesildiği zaman magnetik alan ortadan kalkar ve önyüklenmiş yay armatür levhasını normal pozisyonuna getirir. Şekil 2.42 de elektromagnetik frenler görülmektedir. Magnetik frenler bakım gerektirmediğinden kullanımı kolay ve uzun ömürlüdür. Sistem olarak motorlu taşıtlarda kullanılan kavrama elemanına benzemektedir. Elektromagnetik frenlerin armatürlerinde de balatalar bulunmaktadır. Armatüre yapıştırılmış yada perçinlenmiş balatalar sayesinde frenleme yapılır önmeli olma yüksek sürtünme kuvvetinin elde edilmesidir. Armatürlerin kullanılan yere göre şaftın ucuna veya ortasına akuple edilebilir. Armatürlerin şafta montajı için çeşitli türleri vardır (Şekil 2.43).



Şekil 2.42. Elektromagnetik frenin genel yapısı ve elemanları[10].



Şekil 2.43.Elektromagnetik frenlerde armatür çeşitleri[10].

## 2.2.5. Yataklar

Robot manipülatörlerde kullanılan önemli bir eleman da yataklardır. Rotatif hareket için kullanılan yataklamalar rulmanlar ve kaymalı yataklar olarak tasarlanmışlardır. Aradaki farkı birbiriyle ilişkili hareketli parçalar arasında oluşan kuvvetlerin yuvarlamalı ve kayıcı elemanlarla iletilmeleri oluşturur.

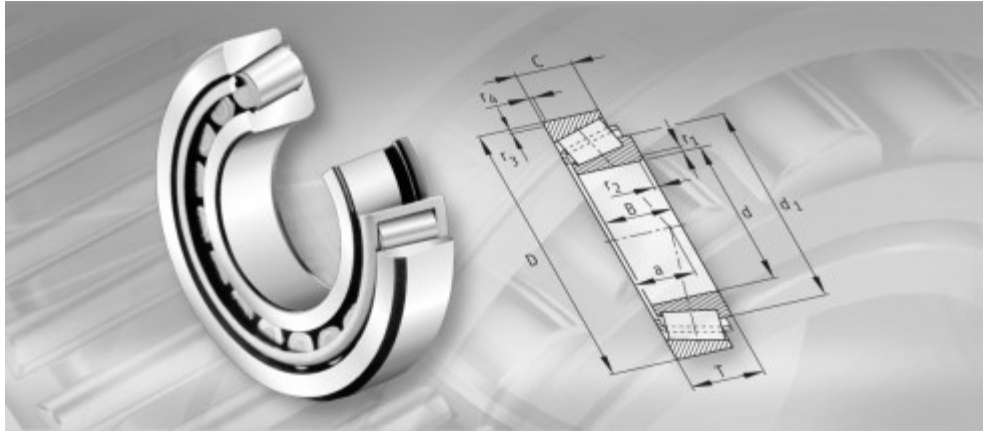
### 2.2.5.1. Rulmanlar

Rulmanlar genel olarak hareket yolları ile entegreli iki rulman bileziğinden oluşurlar. Yuvarlanma elemanları bilezikler arasına yerleştirilirler ve hareket yolları üzerinde yuvarlanma hareketi yaparlar. Yuvarlanma elemanları bilyalar, silindirik masuralar, iğne masuralar, konik masuralar veya fiçi masuralar olabilir. Yuvarlanma elemanları genel olarak, elemanları birbirlerinden üniform bir mesafede tutan ve birbirleriyle temas etmelerini önleyen bir kafes yardımıyla yönlendirilirler. İğne masuralı rulmanlar ve faturasız oynak makaralı rulmanlarda, kafes ayrıca yuvarlanma elemanının ekseninin

doğru şekilde konumlandırılmasını sağlar. Rulmanların parçalarına ayrılabilirdiği durumlarda, kafes yuvarlanma elemanlarını bir arada tutar ve rulmanların daha kolay şekilde monte edilebilmesini sağlar. Özel uygulamalar için, kafesiz sık dizili bilya, silindirik masuralar veya iğne masuralardan oluşan rulmanlı da kullanılabilir.

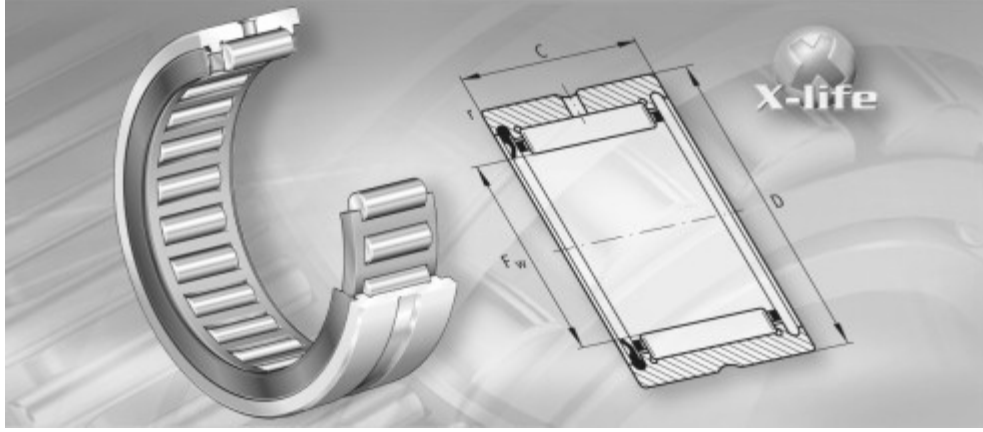
Sac metal kafeslerin standart malzemesi çeliktir ve bazı uygulamalar için de piriñç/bronz kullanılabilir. Masif kafesler piriñç, çelik, plastik ve diğer malzemelerden üretilebilir. Termoplastik malzemelerden ve özellikle fiber glas takviyeli polyamidden üretilmiş olan kafesler de geniş ölçüde kullanılırlar. Bilezikler ve yuvarlanma elemanları çoğunlukla sertleştirilmiş krom çeliğinden üretilir ancak bunun yanında sementasyon çeliği de kullanılır. Zorlu çalışma koşulları (yük, hız, sıcaklık, korozyon) için özel rulmanlar, sıcaklığa ve/veya korozyona karşı dirençli çelikler, plastik, seramikler veya diğer malzemelerden üretilmişlerdir.

Rulmanlar, açık tip, bir veya her iki tarafı contalı versiyonlar halinde mevcuttur. En genel tipteki contalar boşluklu ve dudaklı contalardır.



şekil 2.44.Konik makaralı rulman

Konik makaralı rulmanlar, konik yuvarlanma yolları olan masif iç ve dış bileziklerden ve kafesli konik makaralardan oluşurlar. Bu rulmanlar parçalarına ayrılabilir. Böylelikle, iç bilezik masuralar ve kafesle birlikte dış bilezikten ayrı olarak monte edilebilir. Konik makaralı rulmanlar, yüksek radyal yüklerin yanında tek bir yönden gelen aksenal yükleri de karşılayabilirler. Karşı yönden gelen aksenal kuvvetlerin karşılanması için ise normalde ikinci bir rulmanın simetrik olarak yataklamada yer alması gerekmektedir.



Şekil 2.45.İğneli rulmanlar

### 2.2.5.2. Özellikler ve Uygulamalar

Her rulman tipinin kendisini belli bir yataklama uygulamasına uygun hale getiren kendine özgü özellikleri vardır. Yatak tipinin seçimi için genel geçerliliği olan kurallar koymak maalesef mümkün değildir, zira birçok faktörün düşünülüp tartılması gerekir. Bu yüzden yük ve hıza ilave olarak, sıcaklık, yağlama, titreşimler, montaj, bakım gibi faktörlerin de dikkate alınması gerekir. Pek çok durumda, yatağın en az bir ana boyutu ve genellikle delik çapı çevre tasarımı ile önceden tanımlanmış olur.

Çoğunlukla radyal yükleri karşılamada kullanılan rulmanlar radyal rulmanlar olarak tanımlanırlar. Radyal rulmanlar genellikle kombine yükleri destekler. Örneğin; sabit bilyalı rulmanlar, eğik bilyalı rulmanlar, konik makaralı rulmanlar veya oynak makaralı rulmanlar. N, NU silindirik makaralı rulmanlar, iğne masuralı rulmanların çoğu, iğneli kafesler ve iğneli burçlar sadece radyal yükleri destekleyebilirler.

Çoğunlukla aksenal yükler için kullanılan rulmanlar aksenal rulmanlar olarak tanımlanırlar. Aksenal oynak makaralı rulmanlar ve tek yönlü aksenal eğik bilyalı rulmanlar kombine olarak aksenal ve radyal yükleri destekleyebilirler. Diğer tiplerdeki aksenal rulmanlar sadece aksenal yükler için uygundur.

Radyal yönde sadece küçük bir montaj hacmi mevcutsa, alçak kesite sahip iğneli kafes, iç bilezikli veya bileziksiz iğne masuralı rulmanlar, sabit bilyalı rulmanlar ve ya oynak makaralı rulmanların seçilmesi gerekir. Eğer aksenal hacim düşükse, radyal ve kombine yükler için tek sıralı silindirik makaralı rulmanları, sabit bilyalı rulmanları veya eğik

bilyalı rulmanları içeren rulman serileri uygundur. Eksenel yükler için, eksenel iğneli kafes, eksenel iğne masuralı rulmanlar veya eksenel bilyalı rulmanlar kullanılır. Diğer bir özellik ise rulmanların bir mili yönlendirme şeklindedir. Eksenel yer değişimlerine izin veren, bir veya her iki eksenel yönde bir mili yönlendiren ve açılabilir ayarlamaya izin veren ve böylece bağlantı konstrüksiyonunun ayarsızlığını telafi eden yataklamalar mevcuttur.

Rulman boyutu asıl olarak yükün büyüklüğü ve tipi (dinamik veya statik), yük taşıma kapasitesi ve istenen çalışma ömrü ve çalışma güvenilirliği gereksinimlerine göre belirlenir. Rotatif rulmanlar dinamik gerilimlere maruz kalırlar. Rulman bilezikleri arasında çok az göreceli hareket varsa veya düşük açılı dönüş hareketi oluyorsa veya hareketsiz durumda yükler oluşuyorsa rulmanlar statik gerilimlere maruz kalırlar. Harici boyutların benzer olması durumunda, makaralı rulmanlar genel olarak bilyalı rulmanlara göre daha yüksek yükleri karşılayabilirler. Sonuç olarak, bilyalı rulmanlar genellikle küçük ve orta seviye yükler için kullanılırken, masuralı rulmanlar ise sıklıkla daha büyük yükler ve daha büyük mil çapları için kullanılırlar.

### **2.2.5.3. Kayar Yataklar**

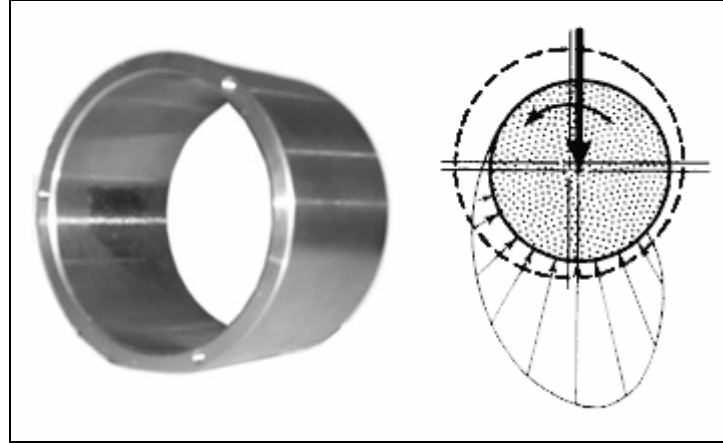
Kayar yatakların işlevi, rulmanlarda olduğu gibi, birbiriyle ilişkili olarak hareket eden parçaları desteklemek veya yönlendirmektir. Bu durumda ortaya çıkan kuvvetlerin desteklenmeleri ve iletilmeleri gerekir. Halbuki rulmanlar yataklama elemanları birbirlerinden yuvarlanma elemanları yoluyla ayrılırlar. Kayar yataklarda ise hareket eden parça normalde bir mil, muylu veya şerit olup sabit duran burç, yatak kovanı veya kayıcı şeridin üzerinde kayma hareketi yapar. Kayma hareketi doğrudan yatak gövdesinin kayıcı katmanı ile yataklanan yüzey arasında meydana gelir. Yağlama, yağlayıcılar veya yataklama elemanına uygulanmış sabit kayıcı katman yoluyla sağlanır. Radyal harekette, mil ile kayıcı katman arasındaki boşluk kayıcı parçaların hareket edebilmesini sağlar.

Kayar yataklar, radyal yataklar, eksenel yataklar, şeritler, kovanlar ve daha pek çok tasarım halinde mevcuttur. Nispeten sessiz çalışırlar ve düşük devir ve açılabilir hareketlerde, düşük ve yüksek sıcaklıklar altında büyük yüklerin desteklemede özellikle

uygundur. Çok yönlü özelliklerinden ötürü, endüstrinin hemen her alanında ve özellikle montaj hacminin çok sınırlı olduğu yerlerde kullanılırlar.

Kaymalı yatakta birinci amaç mil ile yatak arasında kalın bir yağ filmi oluşturarak metalin metale temasını engellemek, böylece sürtünmeyi düşürmek ve aşınmayı ortadan kaldırmaktır. Bunun kısmen ya da hiç mümkün olmadığı durumlarda ise kaymalı yatağın küçük sürtünmeler ve düşük aşınma ile uzun süre görev yapması istenir.

Kaymalı yataklar, basit ve ucuz yapıları, radyal yönde az yer kaplamaları, iki parça halinde yapılabilmeleri, darbe ve titreşimlere dayanabilmeleri gibi sebeplerle tercih edilirler. Yeteri kadar yağın bulunduğu ortamda çalıştıklarında çok yüksek performansla sahiptirler.

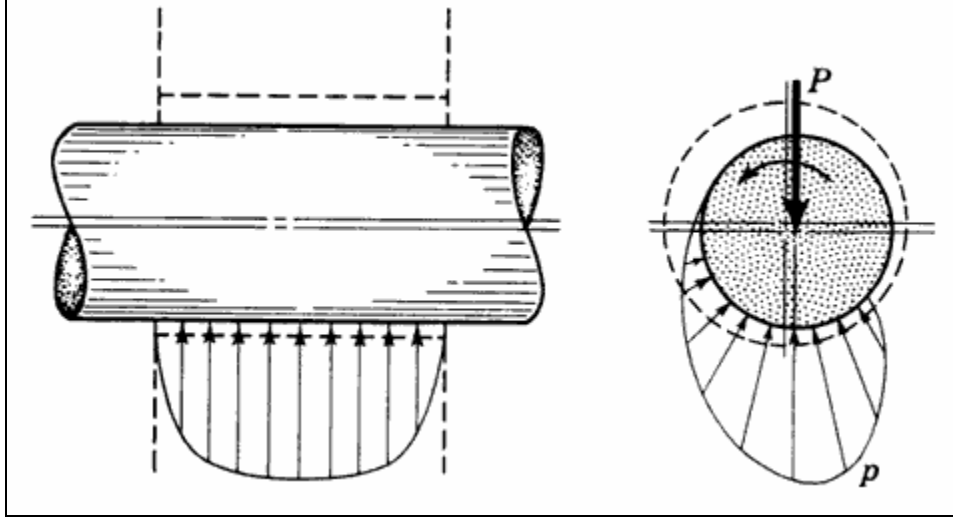


Şekil 2.46. Kaymalı yatak.

Mil ile yatak arasında üç tür kayma olabilir

- Yağın olmadığı, metalin metal üzerinde kaydığı kuru sürtünme. Kuru sürtünmeli çalışma yağın istenmediği yerlerde (örneğin gıda sanayinde) yerde tercih edilirler.
- Yağın olduğu fakat parçaları birbirinden tamamen ayıracak bir basıncın oluşmadığı, kısmen temasların olduğu sınır sürtünmesi (Boundary lubrication). Bakım gerektirmeyen yataklarda sınır yağlamayı sağlayabilecek kadar yağ filmi oluşturabilen yataklar kullanılır. Ayrıca sınır sürtünmeli yatakların kuru sürtünme şartlarında da ortalama bir performans göstermesi beklenir.

- İki metalin bir yağ filmi ile birbirlerinden tamamen ayrıldığı sıvı sürtünme. En tercih edilen çalışma biçimi sıvı sürtünmedir. Bunu sağlamanın iki farklı yolu vardır. Basıncın kendiliğinden oluştuğu hidrodinamik yağlama ve dışarıdan bir pompa yardımıyla basıncın oluşturulduğu hidrostatik yağlamadır.
- Hidrodinamik yağlama ile.



Şekil 2.47. Kaymalı yatakta oluşan basınç dağılımı.

Hidrodinamik yağlamayı Eauchamp Tower adlı bir İngiliz yatak sürtünmeleri ile ilgili bir deney sırasında keşfetti. Eğer (kaymalı) yatakta yeteri kadar yağ olursa, mil döndüğünde, kendiliğinden, yükü karşılayacak bir basınç oluşmaktadır.

Bu durum şöyle açıklanır

Dönmeyen bir milde, yatak boşluğu sebebiyle, mil yükün olduğu yönde küçük bir eksen kaçıklığı ile yatak yüzeyine oturur. Dönme başladığında vizkoz sıvı mil tarafından harekete geçirilerek milin yaslandığı (kesitin daraldığı) tarafa itilir. Bu sıvı kama etkisi yaparak o bölgede basıncın yükselmesini sağlar. Sıvıda kendiliğinden oluşan bu basınç mili taşıyacak güçtedir ve mil yağ filmi üzerinde tamamen sıvı sürtünme ile döner. Yükün dönme etkisiyle oluşan basınç tarafından karşılanmasına hidrodinamik yağlama adı verilir. Kaymalı yataklarda aşınmaların çoğu hareketin başlangıç ve bitimindedir. Hidrodinamik yağlama, milin dönme hareketine bağlı olduğundan, hareketin başlangıcında ve sonunda (hızın düştüğü anlarda) kısmen sıvı, kısmen de kuru sürtünme vardır. Bu da ilk harekette daha büyük kuvvetler ve aşınma demektir. Yağlama

kanallarının şekli ve konumu önemlidir Hidrodinamik esasına göre çalışan yataklarda dikkat edilecek en önemli husus, yatakta açılacak yağ kanallarının şekli ve konumudur. Bu kanalların basıncın olduğu bölgede yada çepeçevre açılması basınçlı olumsuz yönde etkileyecektir. Kanalların olduğu kısımda ve yakın çevrelerinde kama etkisi oluşamayacağından tüm yatak yüzeyinde oluşan basınç zayıflatılmış olacaktır.

Ayrıca, yağın yanlarından gelmesi yerine ortadan gelmesi tercih edilmelidir. Ortadan uçlara doğru akan yağ daha iyi bir akış ve daha iyi bir soğutma sağlayacaktır.

### **Hidrostatik Yağlama Olayı**

Dönmenin yavaş ya da hiç olmadığı durumlarda ya da yataklarda oluşan ısı yağın kendi akışıyla atılamadığı durumlarda dışarıdaki bir yağ pompasıyla basınçlı yağ gönderilerek sıvı sürtünmesi sağlanabilir. Buna hidrostatik yağlama denir.

Hidrostatik yağlama etkisi mil hızına bağlı olmadığından kalkış ve duruşlarda büyük kuvvetler ve aşınma oluşmaz. Hidrostatik yağlamanın yük taşıma kabiliyeti hidrodinamik yağlamaya göre daha yüksektir. Buna karşılık konstrüktif olarak daha karmaşık, pahalı ve fazla yer kaplarlar.

#### **2.2.5.4. Yatak Malzemesinden Beklenen Özellikler**

Yağlamanın iyi yapıldığı ve yükün bütünüyle sıvı sürtünme ile karşılandığı durumlarda yatak malzemesinin gerekli mukavemet ve rijitlikte olması yeterlidir. Fakat uygulamada böyle ideal koşulları yakalamak mümkün olmadığından yataklama malzemesinden belli özellikleri karşılaması gerekir. Maksimum basınç ortalama basıncın bir kaç kat büyük olabileceğinden yatağın basma mukavemeti kalıcı deformasyona uğramayacak kadar yüksek olmalıdır (Compressive strength).

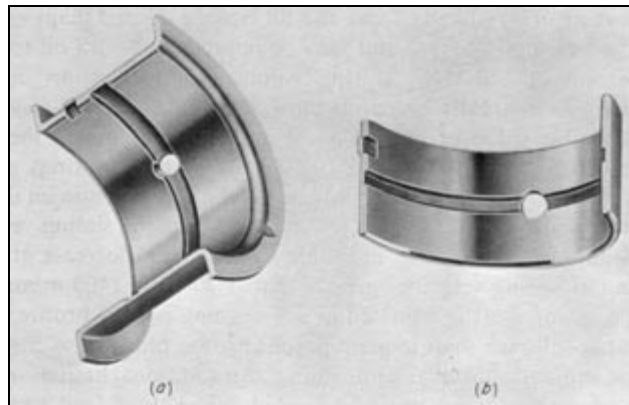
Tekrarlı yüklere dayanabilmesi için yorulma mukavemeti yüksek olmalıdır. Özellikle uçak ve otomotiv sanayi için bu önemlidir (Fatigue strength). Mildeki sehimler yada birtakım hatalar yatağın plastik deformasyonu ile karşılanabilmelidir. (Conformability). Yatak içine giren partiküller aşındırıcı etki yaparak kısa zamanda yatak ve mili bozar. Yatak malzemesi bu tür partiküllerin içine gömüleceği kadar yumuşak olmalıdır. (Embeddability).

Yatağın sınır sürtünme (boundry lubrication) koşullarında yada yağsız ortamlarda aşınmadan (wearing) , çizilmeden (scoring) ve sarmadan (scuffing) çalışması, yük altında harekete başlayan yada yetersiz yağlamanın beklendiği durumlarda önemlidir. Bu nitelik mil, yatak ve yağlayıcının uyumuna bağlıdır. Yakın özellikteki malzemeler birbirlerini kolayca aşındırırlar. Bu sebeple, genel prensip olarak farklı cins yada farklı ısıl işlem görmüş metaller kullanılır. Bir çok uygulama için mil çelikten yapıldığından sert bir mil ve daha yumuşak yatak malzemesi seçilir. Böylece hem aşınmalar azaltılmış, hem de sadece yatağın aşınması sağlanmış olur. Mil ve yatağın pürüzlülüğü de önemlidir. Mikro sivrilikler yağ filminin yırtılması, dolayısıyla aşınmalara sebep olur. Isıyı kolayca iletibitebilmeleri için ısıl iletkenlik katsayıları yüksek olmalıdır. (Thermal conductivity). Geniş sıcaklık aralığında çalışan yerlerde ısıl genişleme katsayıları düşük olmalı. (Thermal expansion). Düşük sürtünme katsayısı olmalıdır. Görüldüğü gibi tüm bu beklentileri karşılayabilecek yatak malzemesi bulmak zordur. Hatta bazı beklentiler birbirinin zıddı özellikler gerektirir. (Yatağın basma mukavemetinin yüksek olması ve mildeki deformasyonları karşılayabilmesi örnek olarak gösterilebilir). Bu sebeple tek bir yatak malzemesi yerine farklı farklı özellikleri üstün olan bir çok yatak malzemesi vardır.

#### 2.2.5.6. YATAK MALZEMELERİ

En çok kullanılan yatak malzemeleri şunlardır;

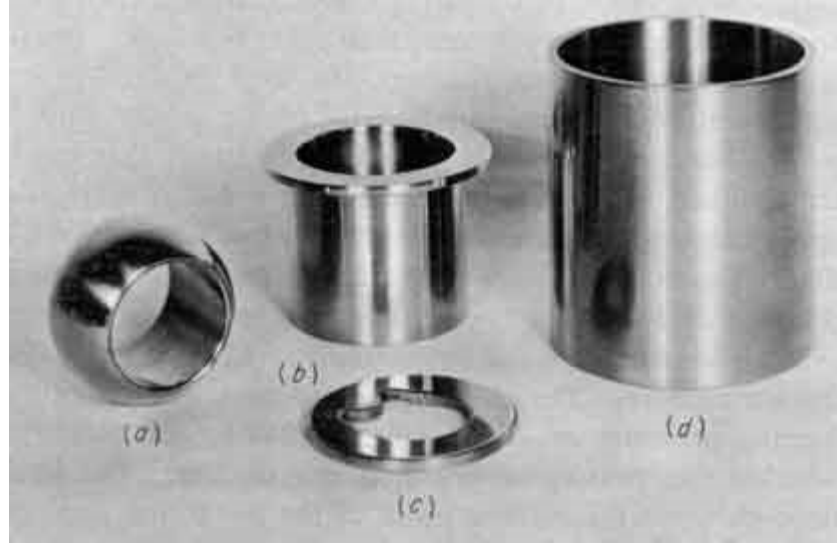
**Beyaz Metal:** Üstün kayma özelliklerine sahiptir. Basıncın yüksek olmadığı birçok uygulama için tavsiye edilir.



Şekil 2.48.Beyaz metal yatak

**Kalay Bronzu:** Sertlikleri yüksektir. Yağlamanın iyi olmasını gerektirir. Yükün büyük, hızın küçük olduğu yerlerde kullanılır.

**Kurşun Bronzu:** Mil ve yataktaki bozuklukları kalay bronzundan daha iyi karşılayabilir (compatibility). Orta yük ve hızlarda hemen hemen ilk seçimdir. Takımlarda, ev aletlerinde, tarım makinalarında ve pompalarda kullanılır.



Şekil 2.49. Bronz Yatak

**Fosfor Bronzu:** Daha büyük sertlik ve daha yüksek çarpma direncine sahiptir.

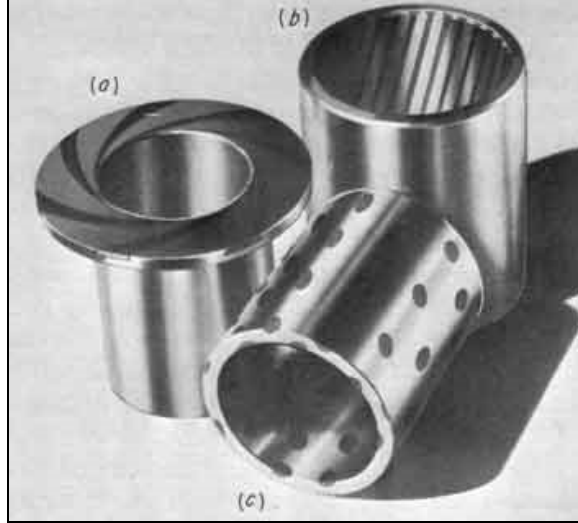
**Grafit Yataklar:** Yağsız, yüksek sıcaklıklarda çalışma ve kimyasallara karşı direnci sebebiyle yağın istenmediği, yüksek sıcaklıkların olduğu yerlerde kullanılırlar.

**Plastik Yataklar:** Düşük sürtünme katsayıları, kendi kendilerini yağlama özellikleri ve kimyasallara karşı dirençleri için tercih edilirler. Metal bir gövde üzerine uygulandıklarında yük taşıma kabiliyetleri de artar.

**Alüminyum Alaşımları:** Yüksek yük taşınma mukavemeti, yüksek yorulma mukavemeti, yüksek ısı iletgenlik, mükemmel korozyon direnci, düşük maliyet gibi olumlu özelliklere sahiptirler. Buna karşılık yeterli yağlama, düşük yüzey pürüzlülüğü ve milin yüksek sertliklerde olmasını gerektirir. Biyel ve kraklarda, hidrolik dişli pompalar v.b. gibi bir çok yerde kullanılır.

Klasik yatak malzemelerinin özelliklerini geliştirmek için çeşitli yollar denenmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır:

- Yataklama özellikleri çok iyi olan fakat mukavemeti düşük malzemeler (örneğin beyaz metal) çelik bir gövde üzerine ince bir tabaka halinde sürülerek kullanılır. (Otomotiv endüstrisi).
- Toz metalürji yolu ile üretilen (sinter) yataklar gözenekli yapıya sahiptirler. Gözeneklerin toplam hacim içindeki payı %20 - %35 olabilir. Çalışma anında gözenekteki yağlar yüzeye çıkarak yağlama yaparlar. Dışarıdan yapılan herhangi bir yağlamada bu gözenekler tekrar dolarak uzun süreli yağlamalar yapabilirler. Bronz, çelik, alüminyum v.b. esaslı toz metalürji yataklar vardır.
- Grafitin düşük kayma mukavemeti düşük sürtünme katsayısı ve düşük aşınma sağlar. Bu sebeple üzerinde açılan deliklere grafit konularak oluşturulan yataklar da yağsız çalışabilir.



Şekil 2.50. Grafit delikli bronz yatak

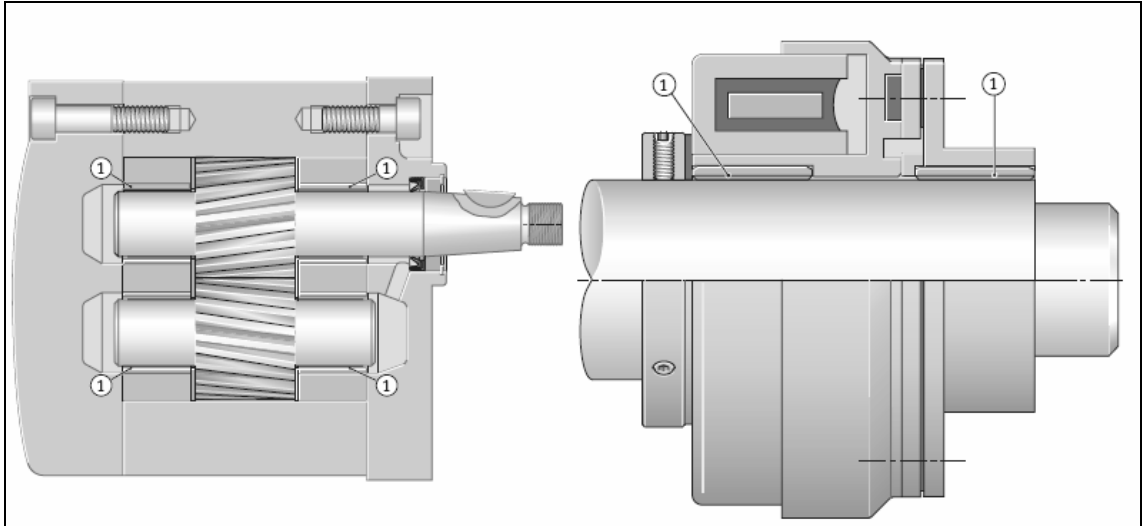
### **Permaglide® Kayar Yatak Malzemeleri**

Sunulan kayıcı malzemeler Permaglide P1 ve P2'dir. Permaglide® P1, bakım gerektirmeyen ve kuru çalışma için öngörölmüş bir malzemedir. Bu malzemedен üretilmiş ürünler özellikle bakımsız çalışılması istendiğinde, yetersiz yağlama tehlikesine karşılık veya yağlamanın istenmediği ve ya uygun olmadığı durumlar için

uygundur. P1 sadece döner ve salınımlı hareket için değil ayrıca kısa strokların olduğu doğrusal hareket için de kullanılabilir. Düşük aşınmalı malzemenin iyi kayma özelliği, düşük sürtünme katsayısı vardır ve kimyasallara karşı oldukça dirençlidir. Permaglide® higroskopik değildir, rutubete karşı dayanıklıdır ve metallerle birlikte aşınma özelliği göstermez. Bu malzeme ayrıca hidrodinamik çalışma koşullarında kullanım için de uygundur. Bakım gerektirmeyen Permaglide® malzemeleri, P10 ve P11 ve aynı zamanda kurşunsuz olan çeşitler P14 ve P141 tiplerinde mevcuttur.

Permaglide® P2, iyi sönümle özellikleri gösteren ve uzun yağlama aralıkları olan az bakım gerektiren, düşük aşınmaya sahip bir malzemedir. Döner ve salınımlı hareket için kullanılabilir, kenar yüklere karşı hassasiyeti azdır ve ani yüklere karşı duyarsızdır. Az bakım gerektiren Permaglide® malzemeleri P20, P21, P22 ve P23 tiplerinde sunulur.

Permaglide ürünleri, burçlar, kovanlı burçlar, baskı pulları ve şeritler olarak sunulmaktadır. Burçlar, pul ve şeritler bakım gerektirmeyen Permaglide® P1 veya düşük bakım gerektiren P2 olarak sunulurlar. Kovanlı burçlar ise P1'den üretilirler. Ayrıca, pek çok özel tasarım da mevcuttur.



Şekil 2.51. rotary ve lineer hareketler için permaglide yatak malzemesinin kullanımı[11]

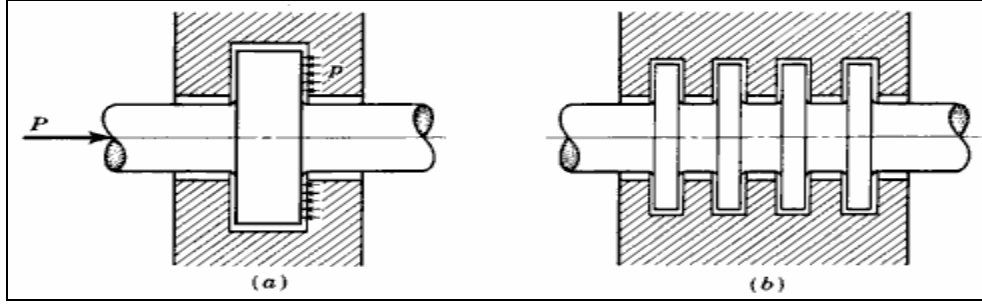
Kaymalı bir yatağın ömrü esasen yüke, kayma hızına, yataklanma yüzeyine, sıcaklığa ve çalışma süresine bağlıdır. Kuru çalışma durumunda kirlenme ve korozyon veya yağlama yetersiz ise yağlayıcının erken eskimesi gibi diğer sınırlayıcı faktörler de söz konusudur. Temel ömür değeri bu yüzden sadece kılavuz bir değerdir. Yataklama

boyutunu belirlemede oluşan yük, yatağın yük taşıma kapasitesi ve yatak düzeninin çalışma ömrü ve çalışma güvenilirliği için gereksinimlere göre hareket edilir.

Kaymalı yataklarla ilgili hesaba katılmayan pek çok dış etki olduğundan, çalışma koşulları altında yapılan testler, kullanıma ve spesifik uygulamaya ilişkin en güvenilir bilgileri verirler

### Eksenel Kaymalı Yataklar

Kaymalı yataklar eksenel yataklamalar için de kullanılabilirler. Hidrodinamik etki yaratabilmek için eksenel yatak yüzeylerinin kama etkisi yapacak tarzda biçimlendirilmeleri gerekir.



Şekil 2.52. Eksenel kaymalı yatak a) Tekli flanş, b) Çoklu flanş.

The matrix can only provide a rough guide so that in each individual case it is necessary to make a more qualified selection referring to the information given in the catalogue

**Symbols**  
 +++ excellent - poor  
 ++ good -- unsuitable  
 + fair ← single direction  
 ↔ double direction

Design					Characteristics														
Suitability of bearings for					Suitability of bearings for														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1 Tapered bore	2 Shields or seals	3 Self-aligning	4 Non-separable	5 Separable	6 Purely radial load	7 Purely axial load	8 Combined load	9 Moment load	10 High speed	11 High running accuracy	12 High stiffness	13 Quiet running	14 Low friction	15 Compensation for misalignment in operation	16 Compensation for errors of alignment (initial)	17 Locating bearing arrangements	18 Non-locating bearing arrangement	19 Axial displacement possible in bearing	
Deep groove ball bearings		a				+	↔	+	-	+++	b+	+	+++	+++	+	+++	+	---	
Angular contact ball bearings						+	↔	+	+	++	+	+	++	++	+	++	+	---	
Self-aligning ball bearings		b	a, b	c		++	↔	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	---	
Cylindrical roller bearings						+	↔	-	+++	+	+	+	+	+	+	+	+	---	
Needle roller bearings		a	a	b		+++	↔	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	---	
Tapered roller bearings		b, c	b, c			++	↔	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	---	
Spherical roller bearings						+++	↔	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	---	
CARB bearings						+++	↔	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	---	
Thrust ball bearings						---	↔	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	---	
Needle cylindrical roller thrust bearings						---	↔	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	---	
Spherical roller thrust bearings						---	↔	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	---	

Şekil 2.53. Genel olarak yatak türlerinin taşıyabileceği yük türleri[12].

## 3.BÖLÜM

### HAFİF AĞIRLIKLIL BİYONİK KOL TASARIMI

#### 3.1. Yapılan Tasarımın Genel Yapısı ve İstenen Özellikler

Protez kol tasarımında boyutlar çok önemli bir dizayn parametresidir. Protezin üzerine daha sonra insan derisi benzeri bir materyalle kaplanma ihtimaline karşı kolun parçalarının insan kolundan daha ince olması gereklidir. Şekil 3.7 de ana hatlarıyla verilen ölçüler tasarım esnasında kendi kolumdan aldığım ölçülerdir. Bunun yanında herhangi bir robot mafsalı tasarlamadan önce mafsallarda gerekli momentlerin elde edilmesi gereklidir. Bunun için öncelikle genel hatlarıyla tasarlanmış robot kolun her bir mafsalına düşen moment değerleri bulunur. Bulunan moment değerlerine göre motorlar seçilir. Protez kolun kontrolünün kolay olması yani hassasiyet için servo motorlar kullanılmıştır.

#### 3.2. Mafsalların Yapısı

Daha önce de açıklandığı üzere robot mafsalında 3 ana eleman kullanılacaktır. Bunlar motor, redüktör ve enkoderdir. Hafifliğin sağlanması için enkoder kullanılmamış bunun yerine motordaki dönme oranının tespit edilmesi için dahili hall sensörlü motor seçilmiştir. Hafiflik önemli olduğu için Güneş dişli yerine harmonik dişli kullanılmıştır. Ara adaptörler ve gövde elemanları için ise 1060 alüminyum malzemesi kullanılmıştır. Motorlar ise birçok motor firması arasından en hafif ve torku en yüksek olanları seçilmiştir. İnsan kolunun standart ağırlığı 3,6 kg olduğu için mümkün olduğunca hafif bir kol tasarımı yapılmaya çalışılmıştır.

Robot kolun mafsallarında kullanılan motorlar ve redüktörlerin özellikleri aşağıda verilmiştir:

Tablo 3.1. Biyonik kol tasarımında kullanılan motor çeşitleri

Motor bilgisi	Mafsal no.	1.mafsal	2.mafsal	3.mafsal	4.mafsal	5.mafsal	6.mafsal
nominal voltaj	V	24	24	36	36	24	24
Yüksüz hız	rpm	6000	4700	3360	3360	9100	9100
Yüksüz akım	mA	86	116	46.9	46.9	5.8	5.8
Nominal hız	rpm	6000	3410	2320	2320	6460	6460
Nominal tork	mNm	24	64.2	94.3	94.3	210	210
Nominal akım	A	0.95	1.32	0.861	0.861	7.75	7.75
Max. Verim	%	64	77	82	82	76.34	76.34
Tork sabiti	mNm / A		47.5	101	101	0.024	0.024
Hız sabiti	rpm / V	125	201	95	95	251	251

Tablo 3.2.Biyonik kol tasarımında kullanılan redüktörlerin özellikleri

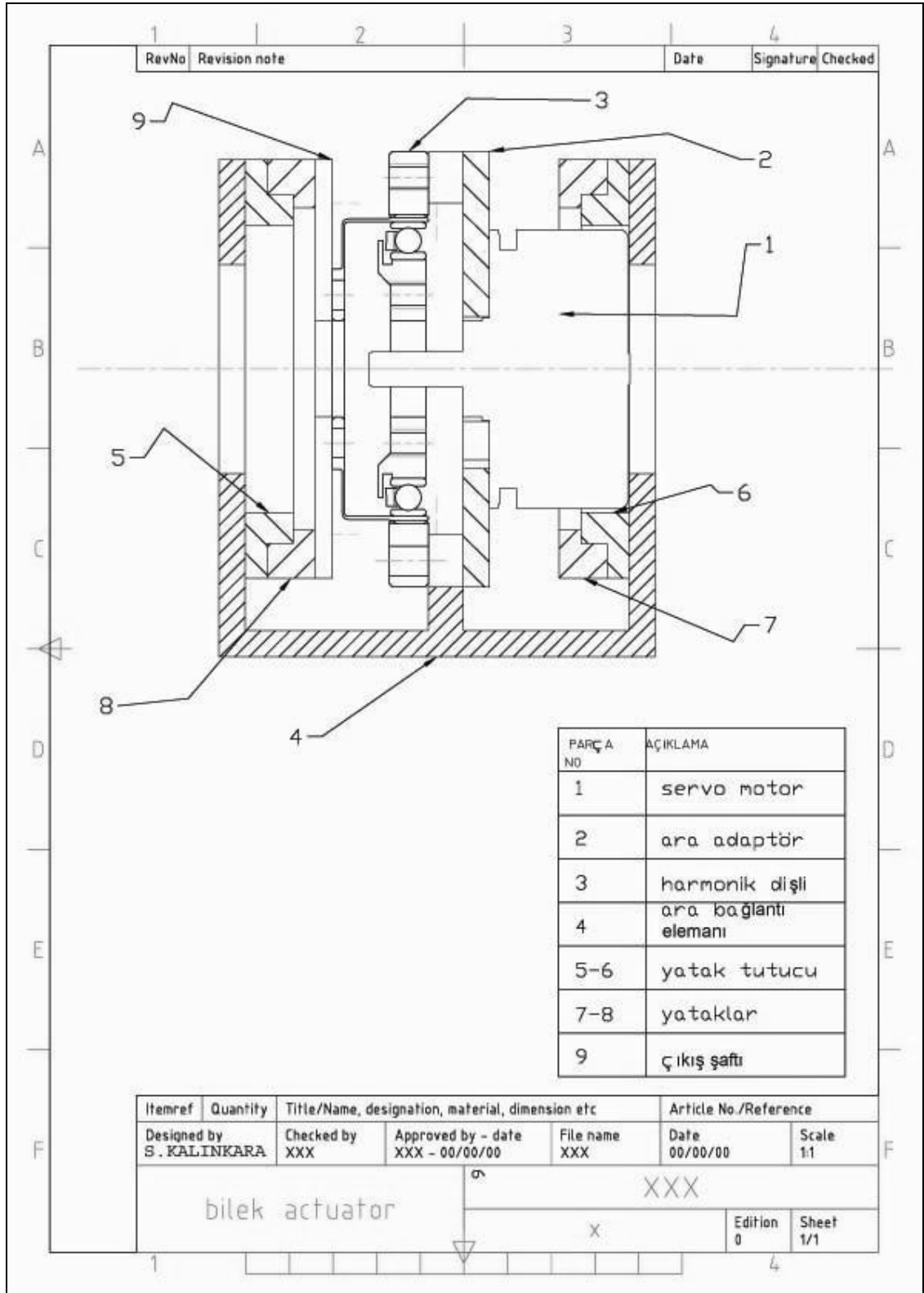
Mafsal no.	Tahvil oranı	2000d/d hızda tork	Giriş hızı limiti(d/d) (gres,yağ )		Ağırlık(g)	Model no.
1	100	5.4	3500	6500	60	csd 14
2	100	10	3500	6500	90	csg14
3	100	10	3500	6500	90	csg14
4	100	16	3500	6500	100	csd17
5	100	31	3500	6500	150	csg17
6	100	31	3500	6500	150	csg17

Kullandığımız servo motorların karakteristik özellikleri Tablo 3.1 de verilmiştir. Kullanılan motorların hızı voltaj ile artmaktadır. Torku ise akım ile artmaktadır.

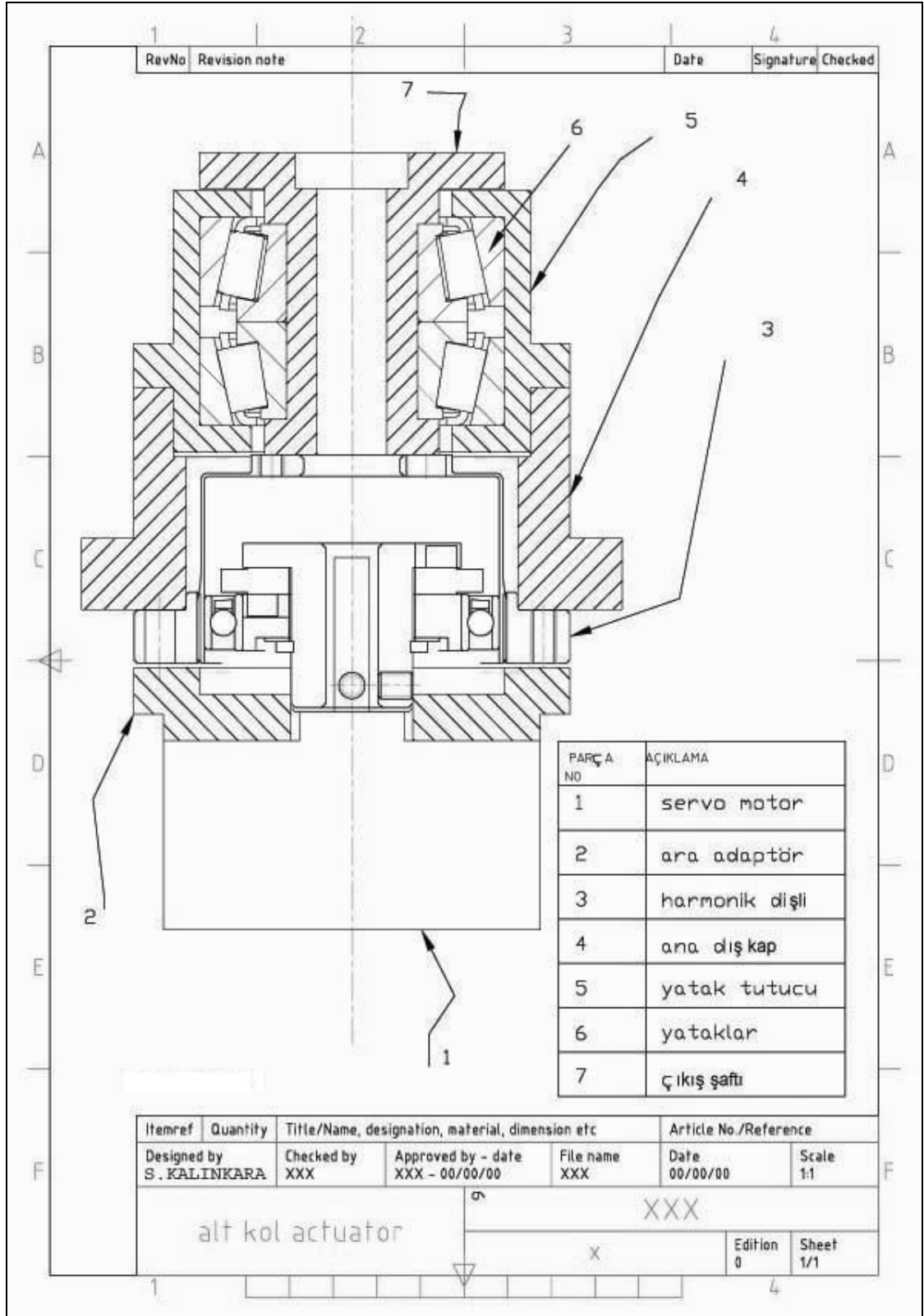
Tasarlanan protez kolun her bir mafsalı ağırlıkların mümkün olduğu kadar az olması için en az elemanlı şekilde tasarlanmıştır. Mafsallar da konum bilgisini verecek olan enkoderler kullanılmamış bunun yerine motorun dahili hall etki sensörleri kullanılmıştır. Hall etki sensörlerinden alınan bilgi doğrultusunda mafsalin dönüş açısı tespit edilecektir. Yine ağırlığın azaltılması için elektromagnetik fren kullanılmayacak motorun frenlenmesi için konu 2. Verilen fren tipi kullanılacaktır. Yapılan çalışmada hafiflik ön planda tutulmuştur. Şekil 3.1~Şekil 3.14 de protez kolun mafsallarının üç ve iki boyutlu çizimleri verilmiştir.

Yapılan tasarımda genel olarak mafsalların yapısı benzerdir. Diğer mafsallardan farklı olarak dirsekte güneş dişlisi kullanılmıştır. Burada güneş dişlisi standart kullanımından farklı olarak redüksiyon amaçlı olarak değil kuvvet akışını içerden dışarıya doğru gerçekleştirerek hareket iletimini sağlamak amaçlı kullanılmıştır.

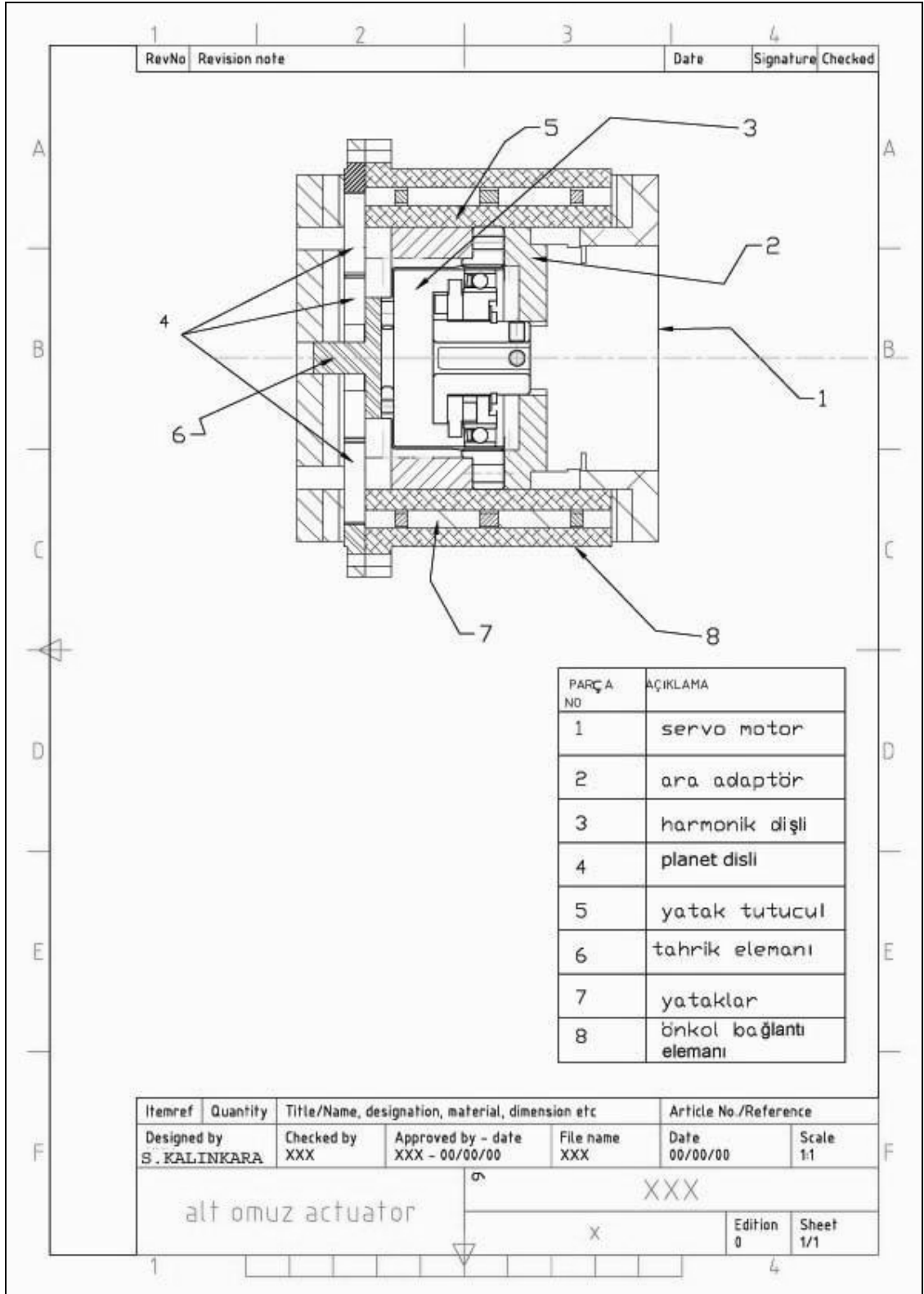
Mafsalların tasarımında yataklama da çok önemli bir faktördür. Bizim tasarımımızda mümkün olduğu kadar farklı yataklama çeşitleri kullanılmıştır. Daha önceden de bahsedildiği üzere robot kolların mafsalları momentsel, aksenal ve radyal yüklere maruz kalmaktadır. Bundan dolayı yapılacak tasarımların bu yükleri taşıyacak şekilde yapılması gerekmektedir. Yaptığımız tasarımda bu şartların sağlanması için bilek kısmında aksenal kaymalı yatak, alt kolda konik masuralı yatak, dirsekte radyal ve aksenal iğneli yatak üst kolda radyal ve aksenal yatak omuzda ise çapraz masuralı yatak kullanılmıştır.



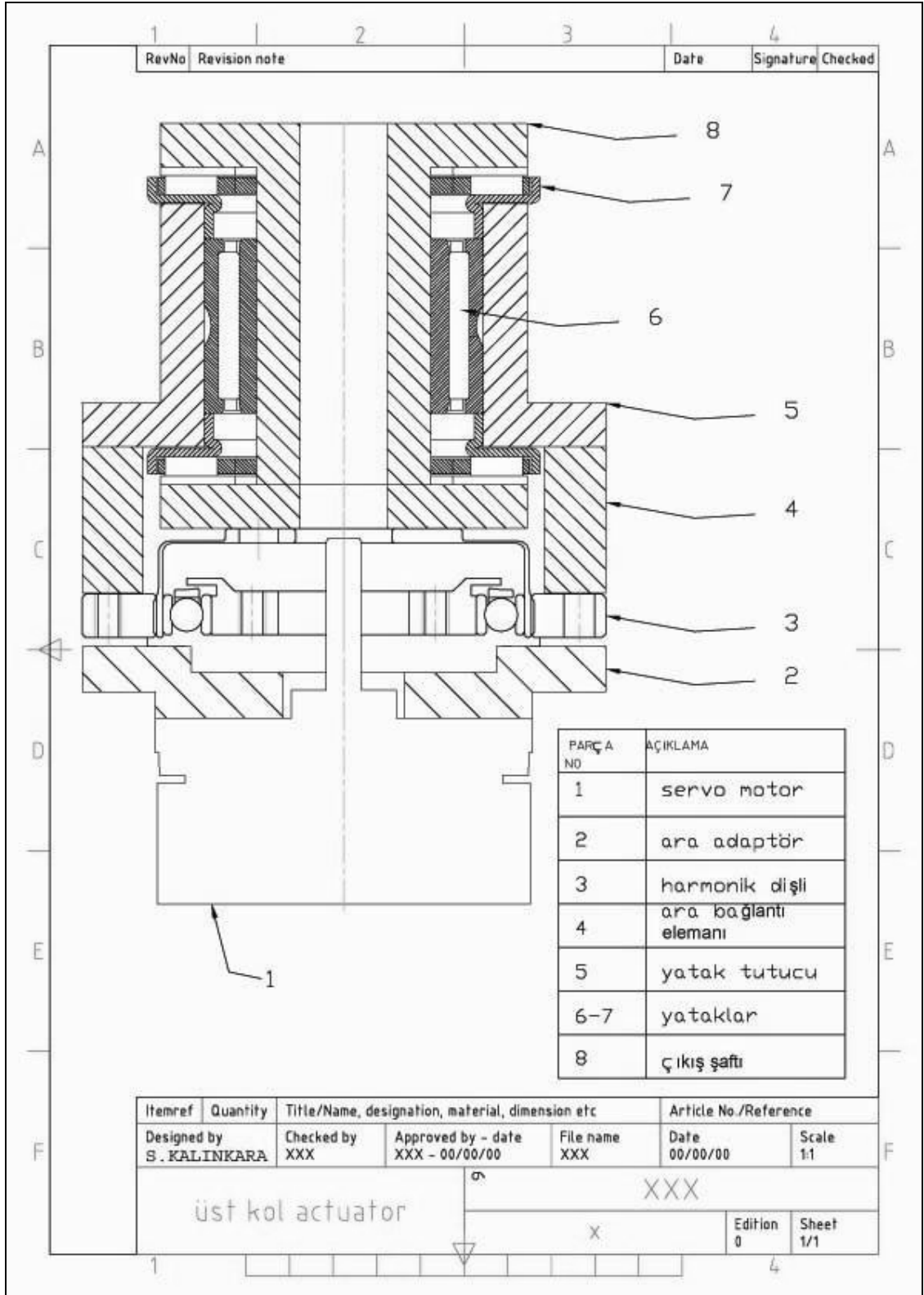
Şekil 3.1. Bilek mafsali yapısı



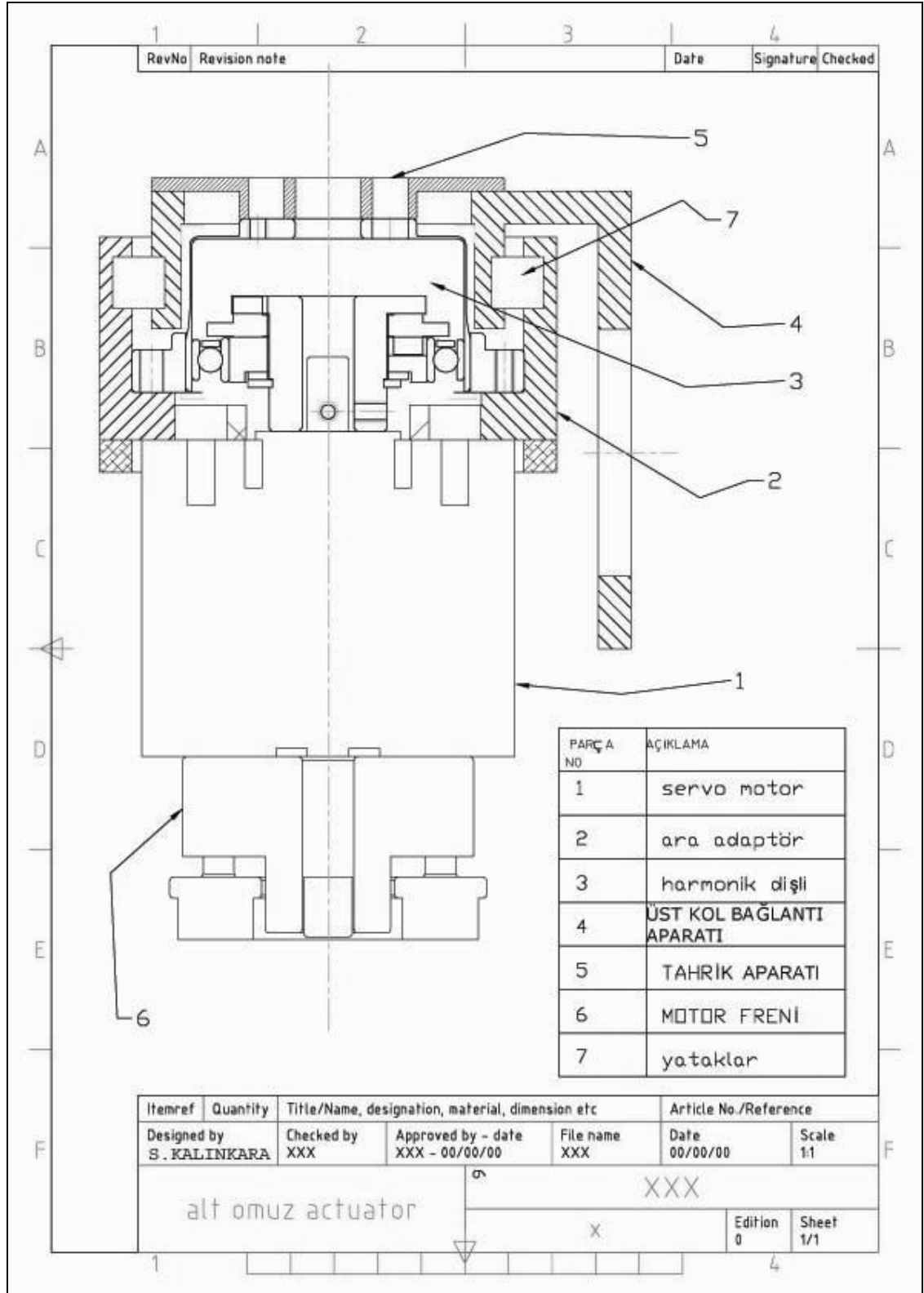
Şekil 3.2. Alt kol mafsali yapısı



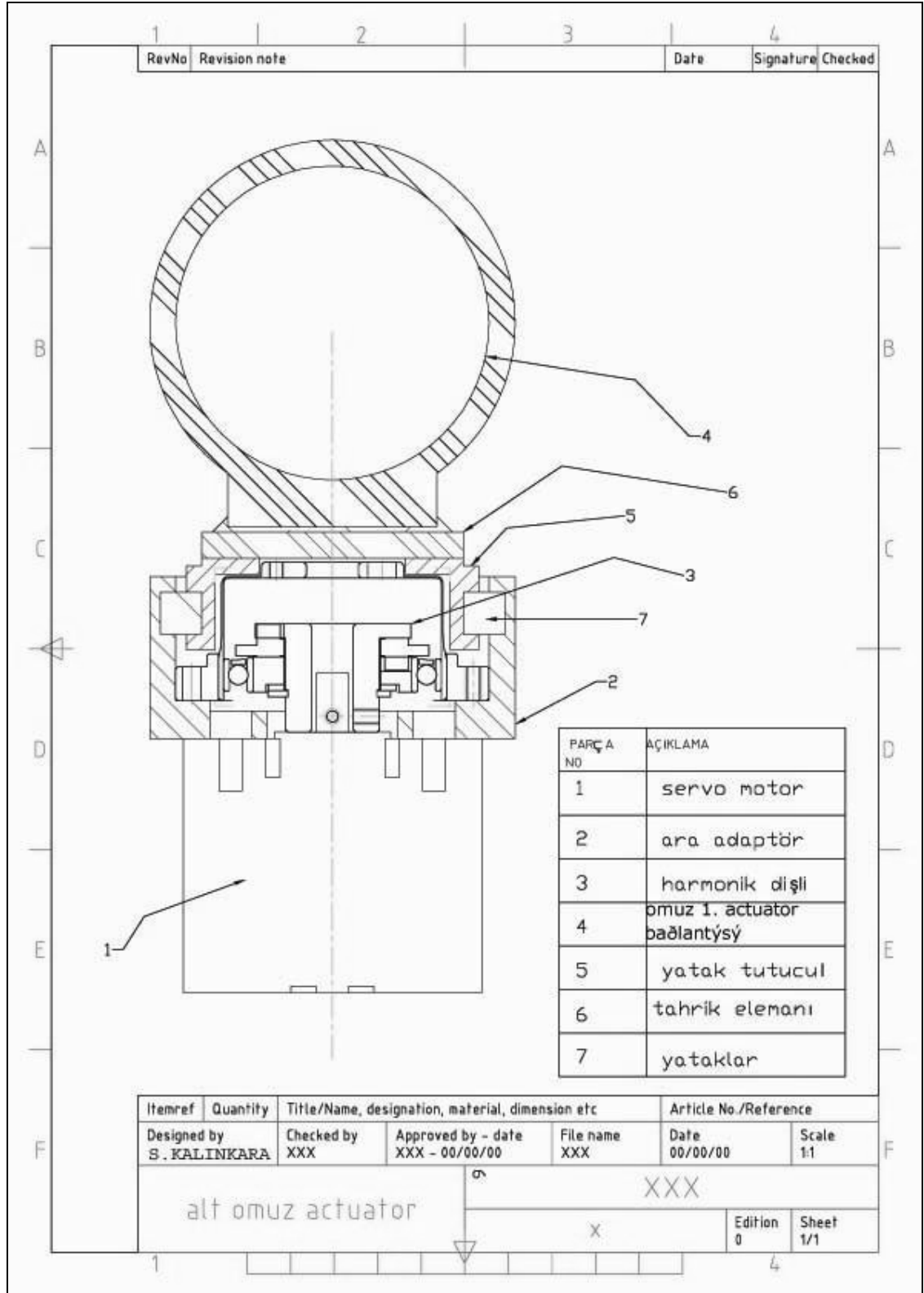
Şekil 3.3. Dirsek mafsal yapısı



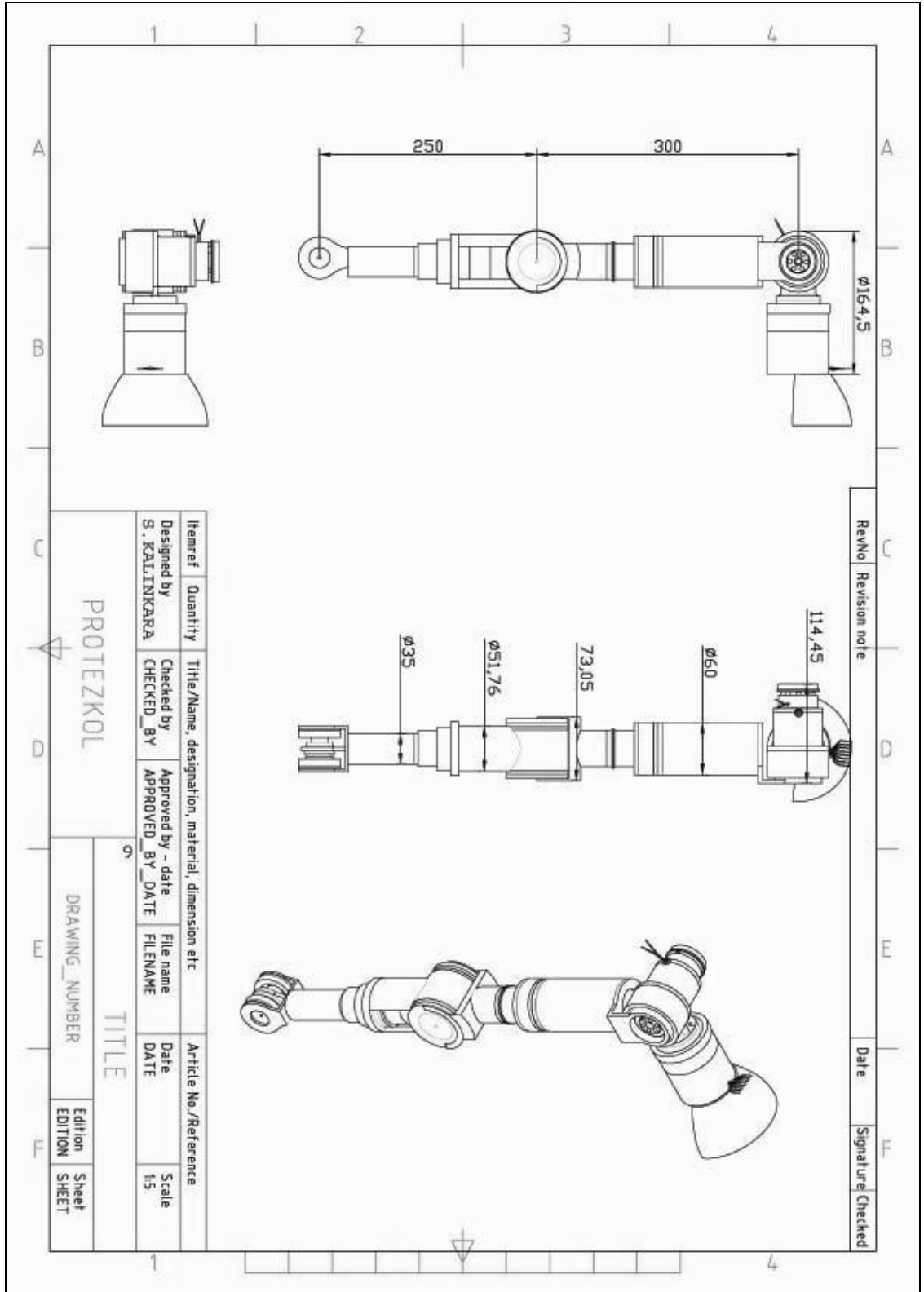
Şekil 3.4. Üst kol mafsali yapısı



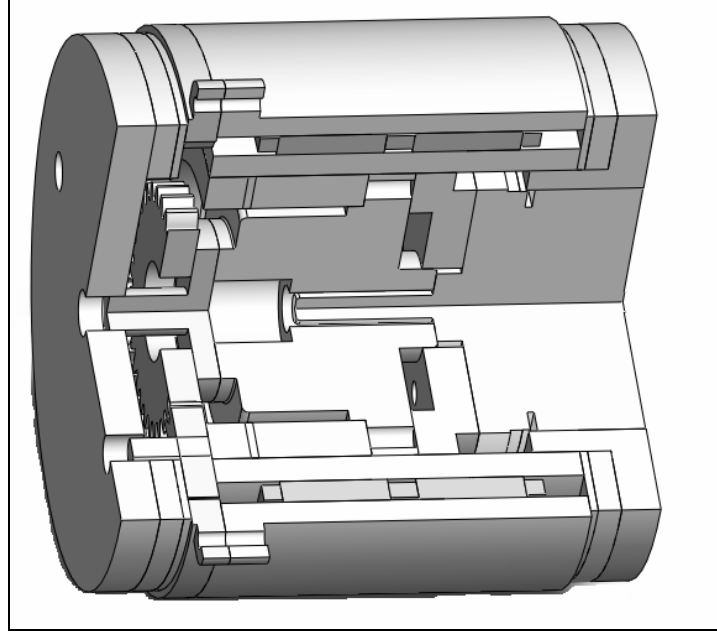
Şekil 3.5. Alt omuz mafsal yapısı



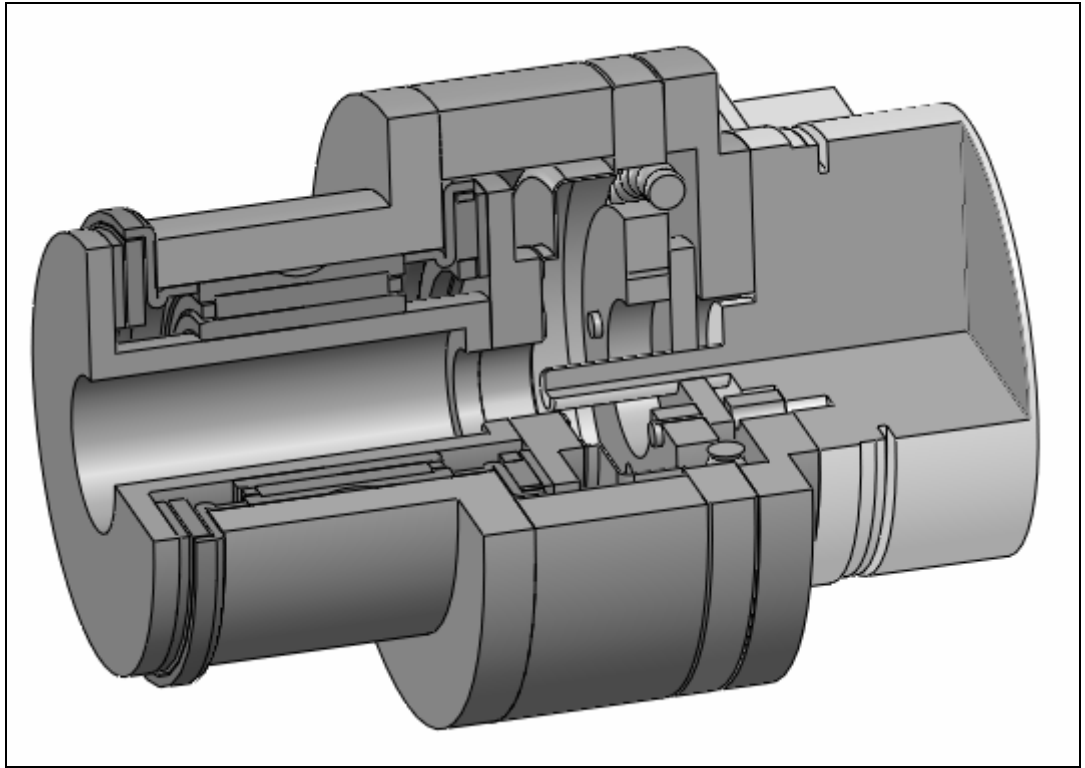
Şekil 3.6. Üst omuz mafsalsı yapısı



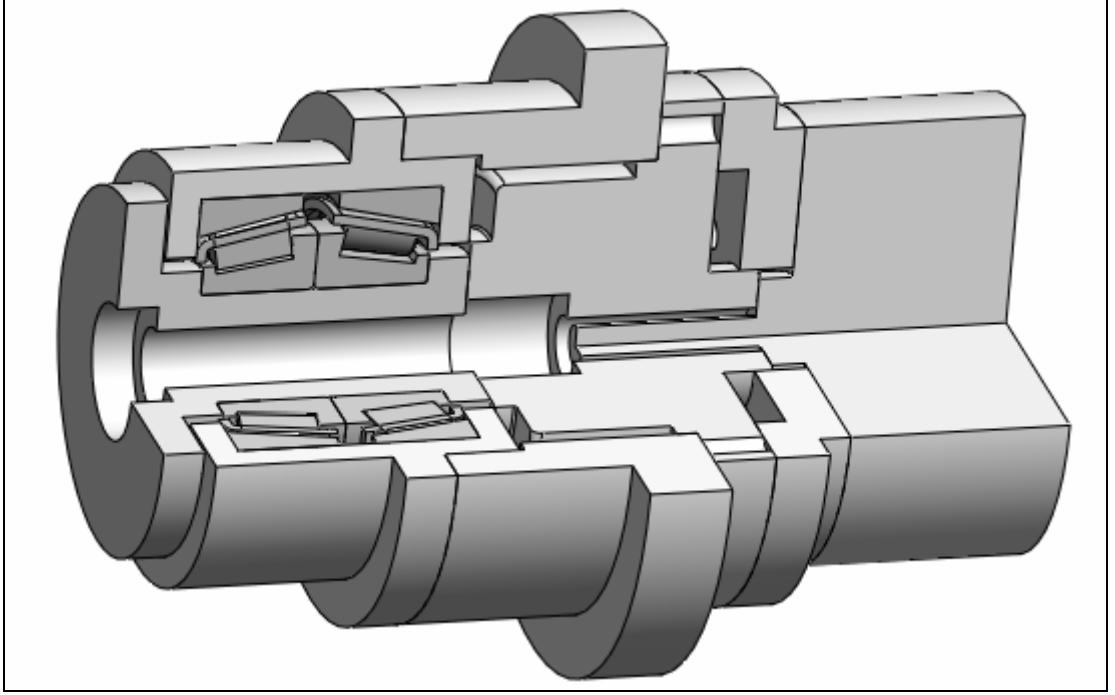
Şekil 3.7. Tasarladığım protez kolun ölçüleri.



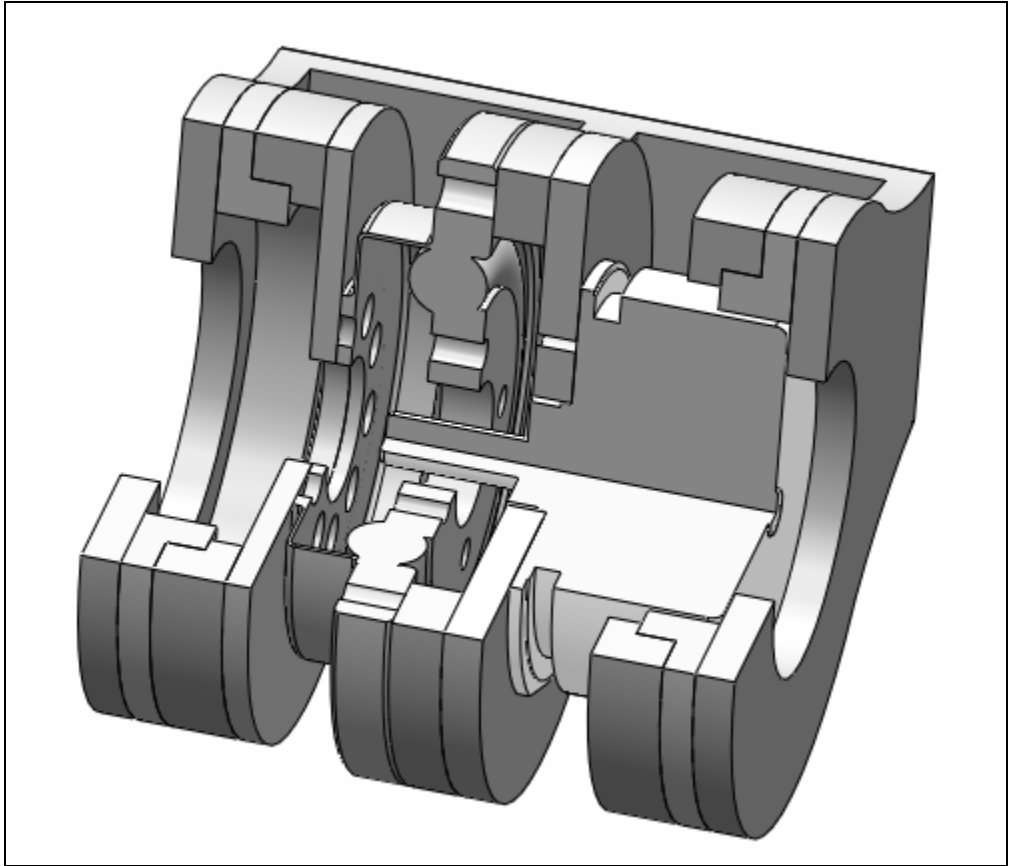
Şekil 3.8. dirsek mafsalsının üç boyutlu görüntüsü



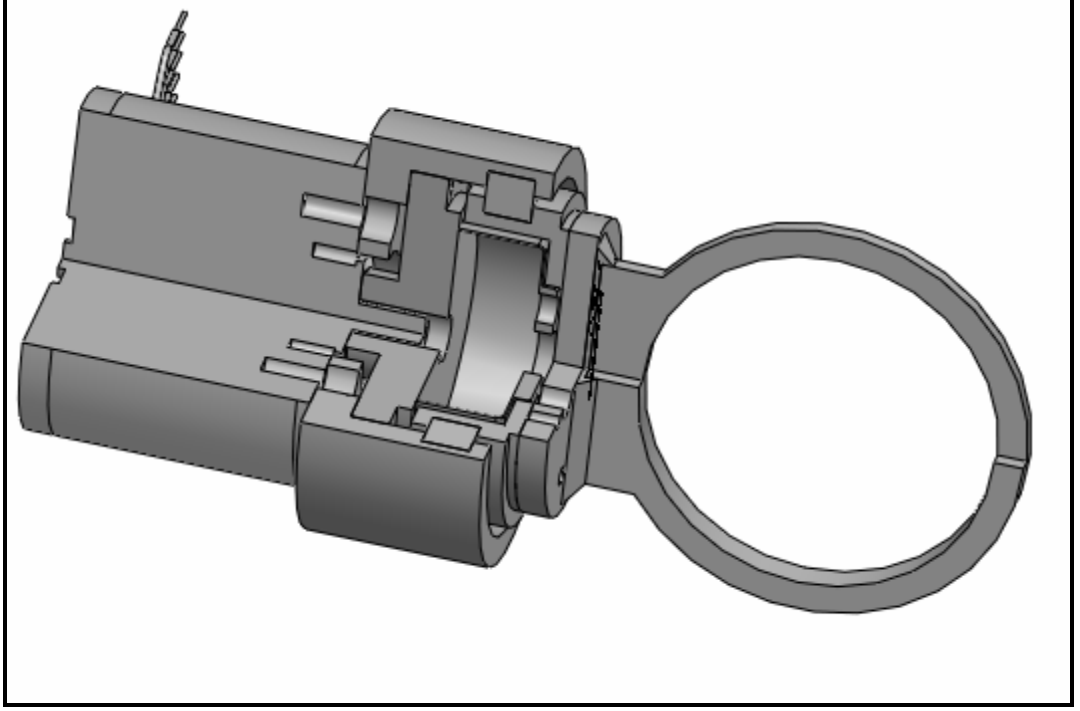
Şekil 3.9. üst kol mafsalsının üç boyutlu görüntüsü



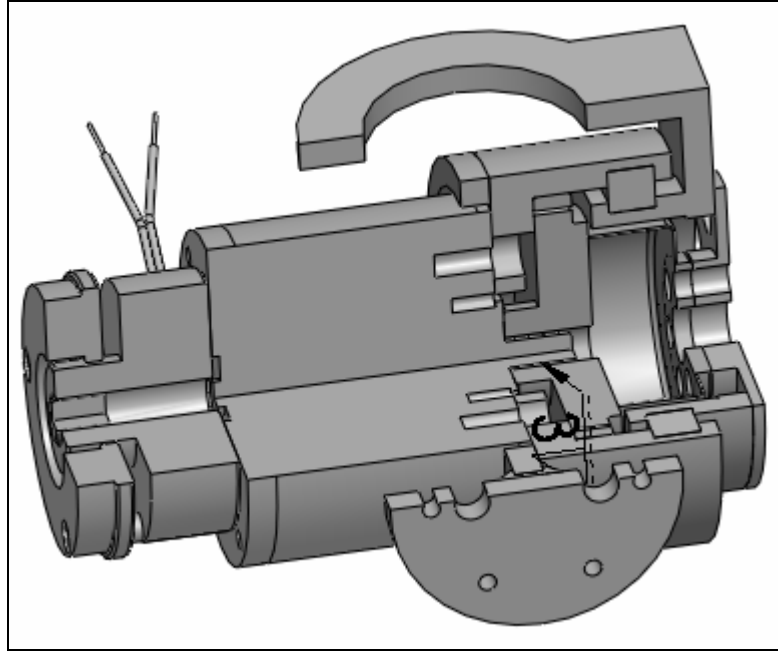
Şekil 3.10. Alt kol mafsallının üç boyutlu görüntüsü



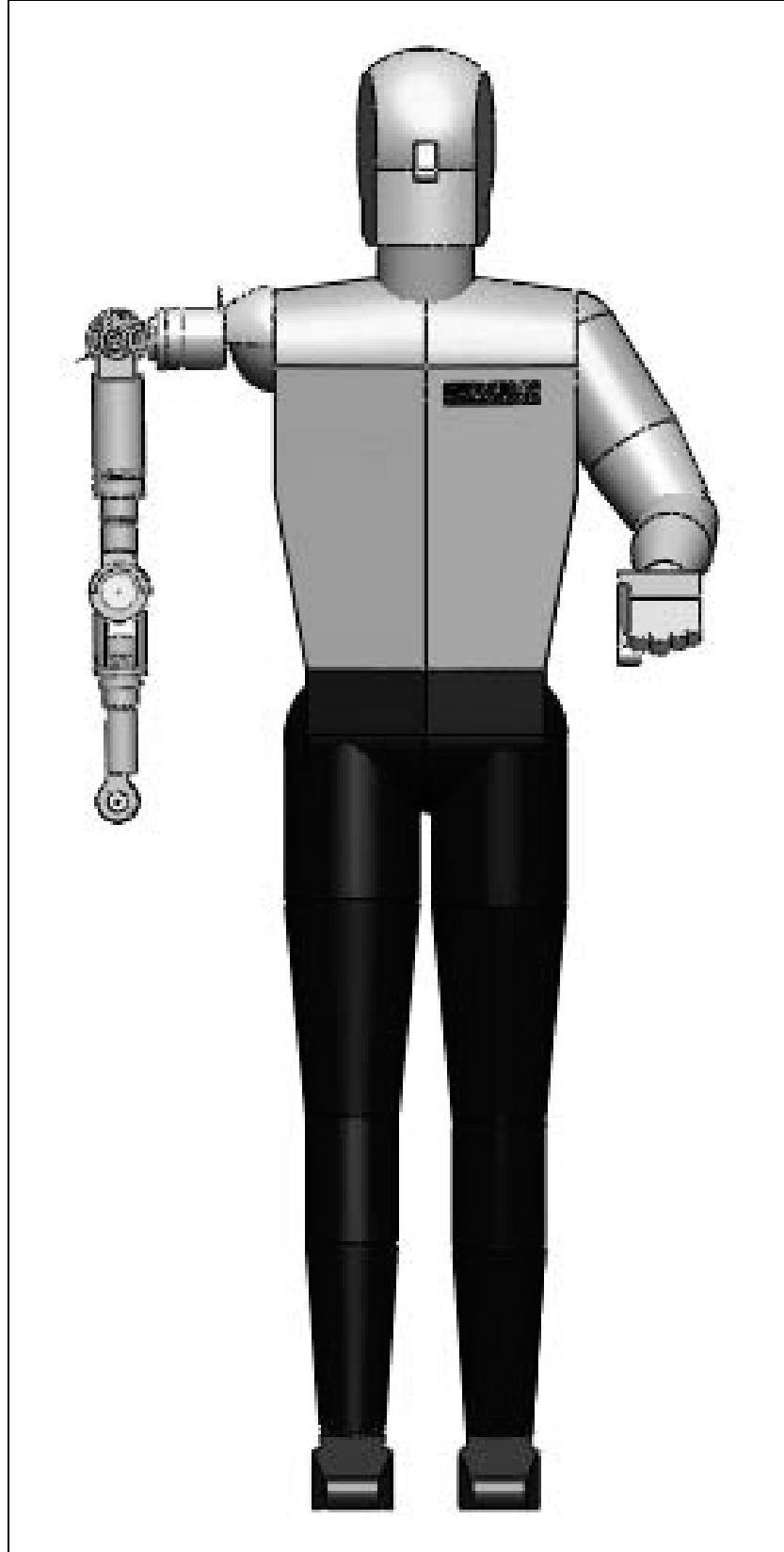
Şekil 3.11. Bilek mafsallının üç boyutlu görüntüsü



Şekil 3.12. Üst omuz mafsalsının üç boyutlu görüntüsü



Şekil 3.13. Alt omuz mafsalsının üç boyutlu görüntüsü



Şekil 3.14. Tasarlanan protez kolun insan üzerindeki görünümü.

### 3.4. Protez Kolun Kinematik Parametreleri

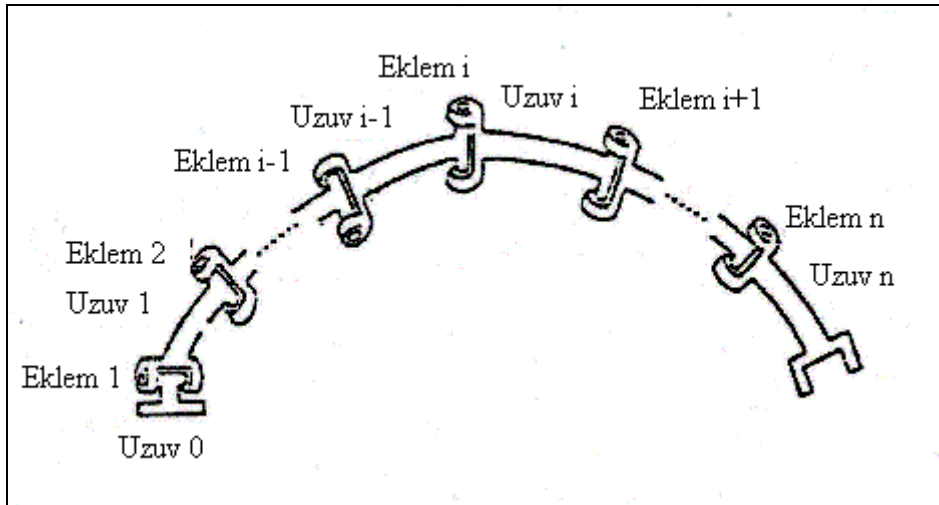
Protez kollarda kontrol kişinin isteği ile olmaktadır. Normal kaynak ya da otomasyon robotlarında yörünge mafsalları daha önceden belirlenir. Protez kollarda ise kullanıcının isteğine göre uzuvlar hareket eder. Mafsalların dönme açıları kişinin isteğine bağlı olduğu için bu çalışmada ters kinematiğin hesaplanmasına gerek duyulmamıştır. Fakat kolun animasyonun gerçekleştirilmesi için gereklidir.

#### 3.4.1. Düz Kinematik

Robotikte düz kinematikler manipülâtörün verilen eklem değişken değerleri için sonlandırıcının konumunu ve yönelimini bulmak olarak tanımlanabilir. Eklem değişkenleri, eklem döner olması durumunda uzuvlar arasındaki açı, eklem kayar olması durumunda uzuv uzanma miktarıdır. Bu değişkenler için gösterimler aşağıda verilmiştir:

$$q_i = \begin{cases} \theta_i & \text{döner eklem için} \\ d_i & \text{kayar eklem için} \end{cases} \quad (3.1)$$

Manipülâtörlerin eklemlerle birleştirilmiş bir dizi uzuv olduğundan yola çıkarak Şekil 3.15'de gösterildiği üzere  $n+1$  uzva sahip bir manipülâtörümüz olduğunu ve her bir uzva bir koordinat çerçevesi atandığını düşünelim.



Şekil 3.15.  $n+1$  uzva sahip kinematik zincir oluşturan manipülâtör

Şimdi  $T_{i-1}^i$  'in çerçeve  $i$  'den çerçeve  $i-1$ 'e homojen dönüşüm matrisi olduğunu düşünelim. Burada  $T_{i-1}^i$  matrisinin sabit olmadığına, manipülatörün hareketiyle değiştiğine dikkat edilmelidir. Bu ifadelere bağlı olarak sonlandırıcının konumunu ve yönelimini temel (base) koordinat çerçevesinde elde etmek için homojen dönüşüm matrisini şu şekilde ifade edebiliriz:

$$H = T_0^n = T_0^1 \cdot T_1^2 \cdot \dots \cdot T_{n-1}^n \quad (3.2)$$

#### 3.4.1.1. Denavit-Hartenberg(DH) Dönüşümleri

Eşitlik 10 ile elde edilen dönüşüm kolay gibi görünse de her bir eklem için koordinat çerçevelerinin yerleştirilmesi ve birbirlerine göre yorumlanması anlam karmaşasına yol açmaktadır. Bu anlam karmaşasını ortadan kaldırmak için Denavit ve Hartenberg 1955 yılında sistematik bir yöntem önermişlerdir.

Bu yöntemde aşağıdaki kurallara göre önce koordinat çerçeveleri atanır, daha sonra dönüşüm için gerekli uzuv ve eklem parametreleri bulunur. Yöntem dokuz adımdan oluşmaktadır ve bu adımlar aşağıda verilmiştir:

1. Eklem eksenleri  $z_0 \dots z_{n-1}$ 'i konumlandır.
2. Temel çerçeveyi sağ el kuralına göre düzenle.

$i = 1, \dots, n-1$  için adım 3-5'i tekrarla.

3. Merkez  $o_i$  'yi yerleştir. Eğer  $z_i$   $z_{i-1}$  ile kesişiyorsa  $o_i$  'yi bu noktaya yerleştir.

Eğer  $z_i$   $z_{i-1}$  paralelse  $o_i$  'yi eklem  $i$  üzerine yerleştir.

4.  $x_i$  'yi yerleştir. Eğer  $z_i$   $z_{i-1}$  kesişiyorsa ikisinin oluşturduğu düzleme dik olarak  $x_i$  'yi yerleştir. Eğer  $z_i$   $z_{i-1}$  paralelse bunların ortak normalleri boyunca  $o_i$  'ye doğru  $x_i$  'yi yerleştir.

5. Sağ el çerçevesini tamamlayacak şekilde  $y_i$  'yi yerleştir.

6.Sonlandırıcı çerçevesi  $o_n x_n y_n z_n$  'i yerleştir. Bu yerleşim sonlandırıcı tipine göre değişir.

Bu ilk altı adım koordinat çerçevelerinin yerleştirilmesi için kullanılır, daha sonraki üç adım bize eklem ve uzuv parametrelerini verir.

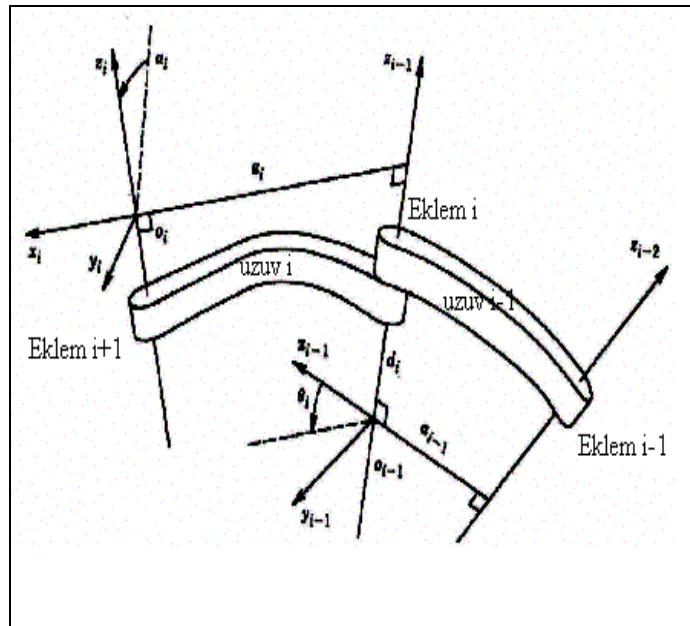
7. Daha sonra eklem ve uzuv parametreleri belirle. Bu parametreler aşağıdaki gibidir ve Şekil 13 üzerinde gösterilmiştir:

uzuv uzunluğu  $a_i$  :  $x_i$  boyunca  $o_i$  'den  $x_i$  ve  $z_{i-1}$  'nin kesişimlerine olan uzaklık

uzuv ofseti  $d_i$  :  $z_{i-1}$  boyunca  $o_{i-1}$  'den  $x_i$  ve  $z_{i-1}$  'in kesişimlerine olan uzaklık.

uzuv bükümü  $\alpha_i$  :  $x_i$  etrafında  $z_{i-1}$   $z_i$  arasındaki açı

eklem açısı  $\theta_i$  :  $z_{i-1}$  etrafında  $x_{i-1}$   $x_i$  arasındaki açı



Şekil 3.16. Denavit-Hartenberg çerçeve ataması[13]

8.Aşağıdaki matrise bağlı olarak iki çerçeve arasındaki homojen dönüşüm matrisini hesapla.

9.Daha sonra sonlandırıcı koordinat çerçevesinden temel çerçevesine dönüşüm matrisini hesapla.

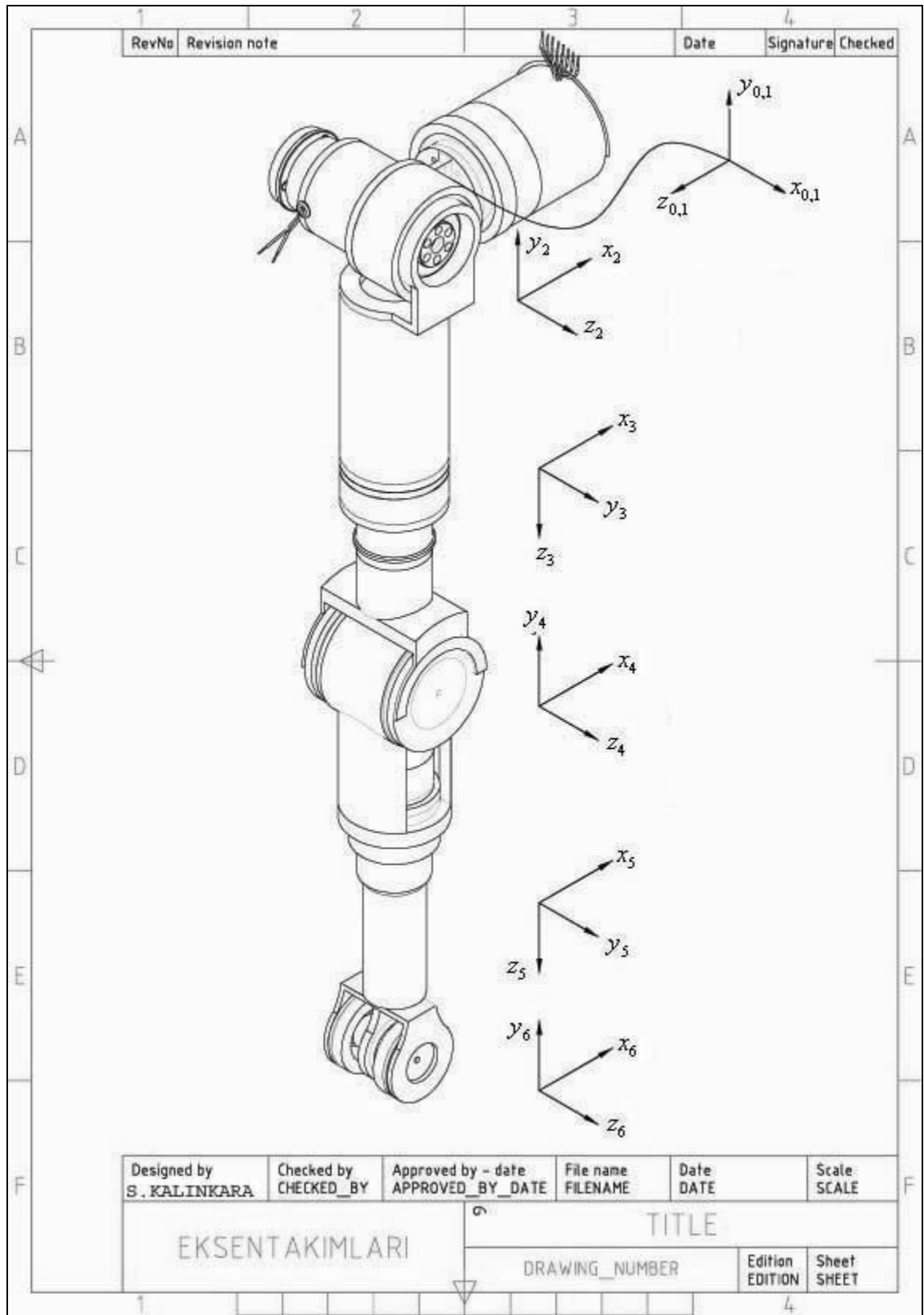
$$T_0^n = A_1 \dots A_n \quad (3.3)$$

### 3.4.1.2. Protez Kol d-h Parametreleri

Protez kolun mafsallarındaki eksen takımları şekil 3.17 de verilmiştir. Atanan çerçeve takımına göre elde edilen matrisler aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
 T_1^0 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & T_2^1 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta_2) & -\cos(\theta_2) & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 T_3^2 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -l_2 \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & T_4^3 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_4) & -\sin(\theta_4) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta_4) & -\cos(\theta_4) & 0 & l_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 T_5^4 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_5) & -\sin(\theta_5) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -l_4 \\ \sin(\theta_5) & \cos(\theta_5) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & T_6^5 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_6) & -\sin(\theta_6) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta_6) & -\cos(\theta_6) & 0 & l_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 T_0^6 &= T_1^0 \cdot T_2^1 \cdot T_3^2 \cdot T_4^3 \cdot T_5^4 \cdot T_6^5 \quad (3.4)
 \end{aligned}$$

Bu matrislerin çarpımının neticesi bize protez kolun 6. Eksen takımının 0. Eksen takımına göre yer değişimini ve dönüşünü veren 4\*4 lük matrisi verir. Bu matristen elde edilen eşitlikler protez kolun bütün kinematik analizinin eşitlikleridir.



Şekil 3.17. Eksen takımlarının atanması

$$T_0^6 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$r_{11} = (((c_2 \cdot c_1 \cdot c_3 - s_1 \cdot s_3) \cdot c_4 - s_2 \cdot c_1 \cdot s_4) \cdot c_5 + (-c_2 \cdot c_1 \cdot s_3 - s_1 \cdot c_3) \cdot s_5) \cdot c_6 - ((c_2 \cdot c_1 \cdot c_3 - s_1 \cdot s_3) \cdot s_4 + s_2 \cdot c_1 \cdot c_4) \cdot s_6$$

$$r_{12} = -(((c_2 \cdot c_1 \cdot c_3 - s_1 \cdot s_3) \cdot c_4 - s_2 \cdot c_1 \cdot s_4) \cdot c_5 + (-c_2 \cdot c_1 \cdot s_3 - s_1 \cdot c_3) \cdot s_5) \cdot s_6 - ((c_2 \cdot c_1 \cdot c_3 - s_1 \cdot s_3) \cdot s_4 + s_2 \cdot c_1 \cdot c_4) \cdot c_6$$

$$r_{13} = -((c_2 \cdot c_1 \cdot c_3 - s_1 \cdot s_3) \cdot c_4 - s_2 \cdot c_1 \cdot s_4) \cdot s_5 + (-c_2 \cdot c_1 \cdot s_3 - s_1 \cdot c_3) \cdot c_5$$

$$p_x = ((c_2 \cdot c_1 \cdot c_3 - s_1 \cdot s_3) \cdot s_4 + s_2 \cdot c_1 \cdot c_4) \cdot l_5 - ((c_2 \cdot c_1 \cdot c_3 - s_1 \cdot s_3) \cdot s_4 - s_2 \cdot c_1 \cdot c_4) \cdot l_4 + s_2 \cdot c_1 \cdot l_3 + s_2 \cdot c_1 \cdot l_2$$

$$r_{21} = (((c_2 \cdot s_1 \cdot c_3 + c_1 \cdot s_3) \cdot c_4 - s_2 \cdot s_1 \cdot s_4) \cdot c_5 + (-c_2 \cdot s_1 \cdot s_3 + c_1 \cdot c_3) \cdot s_5) \cdot c_6 - ((c_2 \cdot s_1 \cdot c_3 + c_1 \cdot s_3) \cdot s_4 + s_2 \cdot s_1 \cdot c_4) \cdot s_6$$

$$r_{22} = -(((c_2 \cdot s_1 \cdot c_3 + c_1 \cdot s_3) \cdot c_4 - s_2 \cdot s_1 \cdot s_4) \cdot c_5 + (-c_2 \cdot s_1 \cdot s_3 + c_1 \cdot c_3) \cdot s_5) \cdot s_6 - ((c_2 \cdot s_1 \cdot c_3 + c_1 \cdot s_3) \cdot s_4 + s_2 \cdot s_1 \cdot c_4) \cdot c_6$$

$$r_{23} = -((c_2 \cdot s_1 \cdot c_3 + c_1 \cdot s_3) \cdot c_4 - s_2 \cdot s_1 \cdot s_4) \cdot s_5 + (-c_2 \cdot s_1 \cdot s_3 + c_1 \cdot c_3) \cdot c_5$$

$$p_y = ((c_2 \cdot s_1 \cdot c_3 + c_1 \cdot s_3) \cdot s_4 + s_2 \cdot s_1 \cdot c_4) \cdot l_5 - ((c_2 \cdot s_1 \cdot c_3 + c_1 \cdot s_3) \cdot s_4 - s_2 \cdot s_1 \cdot c_4) \cdot l_4 + s_2 \cdot s_1 \cdot l_3 + s_2 \cdot s_1 \cdot l_2$$

$$r_{31} = ((-s_2 \cdot c_3 \cdot c_4 - c_2 \cdot s_4) \cdot c_5 + s_2 \cdot s_3 \cdot s_5) \cdot c_6 - (-s_2 \cdot c_3 \cdot s_4 + c_2 \cdot c_4) \cdot s_6$$

$$r_{32} = -((-s_2 \cdot c_3 \cdot c_4 - c_2 \cdot s_4) \cdot c_5 + s_2 \cdot s_3 \cdot s_5) \cdot s_6 - (-s_2 \cdot c_3 \cdot s_4 + c_2 \cdot c_4) \cdot c_6$$

$$r_{33} = -(-s_2 \cdot c_3 \cdot c_4 - c_2 \cdot s_4) \cdot s_5 + s_2 \cdot s_3 \cdot c_5$$

$$p_z = (-s_2 \cdot c_3 \cdot s_4 + c_2 \cdot c_4) \cdot l_5 - (-s_2 \cdot c_3 \cdot s_4 - c_2 \cdot c_4) \cdot l_4 + c_2 \cdot l_3 + c_2 \cdot l_2 + l_1$$

### 3.4.2. Ters Kinematik

Protez kolun yörünge tayini kullanıcı tarafından yapılacağı için bizim tasarımıımızda ters kinematiğe gerek yoktur fakat animasyonun gerçekleştirilmesi için ters kinematik parametrelerinin bilinmesi gerekli olacaktır. İstenen herhangi bir noktaya kolun erişmesi için mafsal açılarının hesaplanması gereklidir. Çalışmamızda örnek olarak kolun hemen üst noktasına uzanma hareketi yapılacaktır. Bu hareketin yapılması için hareketin matrisinin tanımlanması gereklidir. Yani son eksen takımının ilk (temel) eksen takımına göre konumunun belirlenmesi gereklidir. Bunun için aşağıda örnek bir hareket için  $T_0^6$  matrisi verilmiştir:

$$T_0^6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 50 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Bu matris elin omuzun 50 mm yukarisına ulaşması demektir. Bu hareketin yapılması için gerekli açılarn bulunması ise daha önce hesaplanan  $T_0^6$  matrisi ile bu matrisin eşitlenip 6 bilinmeyenli bir denklem elde edip mafsal açılarnın bulunması gereklidir. Çok karmaşık olan bu işlem için bilgisayar desteği gerekmektedir. Bunun için bu hesaplarda Mathematica programı kullanılacaktır.

$$T_0^6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 50 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Değerler yerine koyulup eşleştirildiğinde birçok açı değeri elde edilecektir. Elde edilen açılarn iyi irdelenmesi gereklidir, çünkü insan kolunun serbestlik derecesi belirlidir ve mafsalların dönme açıları da belirlidir. Bunun için açılarn makul sınırlar içinde olmasına dikkat edilmesi gereklidir.

$$\begin{aligned} & \{ \{ \theta[6] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[\frac{2787}{3125}\right], \theta[5] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[-2\sqrt{\frac{739}{18581}}\right], \theta[4] \rightarrow \text{ArcCos}\left[-\frac{9206}{9375}\right], \theta[3] \rightarrow \text{ArcCos}\left[-\frac{4603}{2\sqrt{6336121}}\right], \\ & \theta[2] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[-\frac{13}{75}\right], \theta[1] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[\frac{13\sqrt{\frac{739}{341}}}{50}\right] \}, \{ \theta[6] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[\frac{2787}{3125}\right], \theta[5] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[-2\sqrt{\frac{739}{18581}}\right], \\ & \theta[4] \rightarrow \text{ArcCos}\left[-\frac{9206}{9375}\right], \theta[3] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[\frac{4603}{2\sqrt{6336121}}\right], \theta[2] \rightarrow \text{ArcCos}\left[-\frac{13}{75}\right], \theta[1] \rightarrow \text{ArcCos}\left[-\frac{13\sqrt{\frac{739}{341}}}{50}\right] \}, \\ & \{ \theta[6] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[\frac{2787}{3125}\right], \theta[5] \rightarrow \text{ArcCos}\left[2\sqrt{\frac{739}{18581}}\right], \theta[4] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[-\frac{9206}{9375}\right], \theta[3] \rightarrow \text{ArcCos}\left[-\frac{4603}{2\sqrt{6336121}}\right], \\ & \theta[2] \rightarrow \text{ArcCos}\left[-\frac{13}{75}\right], \theta[1] \rightarrow \text{ArcCos}\left[-\frac{13\sqrt{\frac{739}{341}}}{50}\right] \}, \{ \theta[6] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[\frac{2787}{3125}\right], \theta[5] \rightarrow \text{ArcCos}\left[2\sqrt{\frac{739}{18581}}\right], \\ & \theta[4] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[-\frac{9206}{9375}\right], \theta[3] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[\frac{4603}{2\sqrt{6336121}}\right], \theta[2] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[-\frac{13}{75}\right], \theta[1] \rightarrow -\text{ArcCos}\left[\frac{13\sqrt{\frac{739}{341}}}{50}\right] \}, \end{aligned}$$

$$\left\{ \theta[6] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ \frac{2787}{3125} \right], \theta[5] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ -2 \sqrt{\frac{739}{18581}} \right], \theta[4] \rightarrow -\text{ArcCos} \left[ -\frac{9206}{9375} \right], \theta[3] \rightarrow -\text{ArcCos} \left[ -\frac{4603}{2\sqrt{6336121}} \right], \right.$$

$$\left. \theta[2] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ -\frac{13}{75} \right], \theta[1] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ -\frac{13\sqrt{\frac{739}{341}}}{50} \right] \right\}, \left\{ \theta[6] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ \frac{2787}{3125} \right], \theta[5] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ -2 \sqrt{\frac{739}{18581}} \right], \right.$$

$$\left. \theta[4] \rightarrow -\text{ArcCos} \left[ -\frac{9206}{9375} \right], \theta[3] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ \frac{4603}{2\sqrt{6336121}} \right], \theta[2] \rightarrow -\text{ArcCos} \left[ -\frac{13}{75} \right], \theta[1] \rightarrow -\text{ArcCos} \left[ -\frac{13\sqrt{\frac{739}{341}}}{50} \right] \right\},$$

$$\left\{ \theta[6] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ \frac{2787}{3125} \right], \theta[5] \rightarrow -\text{ArcCos} \left[ 2 \sqrt{\frac{739}{18581}} \right], \theta[4] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ -\frac{9206}{9375} \right], \theta[3] \rightarrow -\text{ArcCos} \left[ -\frac{4603}{2\sqrt{6336121}} \right], \right.$$

$$\left. \theta[2] \rightarrow -\text{ArcCos} \left[ -\frac{13}{75} \right], \theta[1] \rightarrow -\text{ArcCos} \left[ -\frac{13\sqrt{\frac{739}{341}}}{50} \right] \right\}, \left\{ \theta[6] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ \frac{2787}{3125} \right], \theta[5] \rightarrow -\text{ArcCos} \left[ 2 \sqrt{\frac{739}{18581}} \right], \right.$$

$$\left. \theta[4] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ -\frac{9206}{9375} \right], \theta[3] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ \frac{4603}{2\sqrt{6336121}} \right], \theta[2] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ -\frac{13}{75} \right], \theta[1] \rightarrow \text{ArcCos} \left[ \frac{13\sqrt{\frac{739}{341}}}{50} \right] \right\}$$

Elde edilen sonuçta 8 farklı değerler dizisi bulunmuştur. Bunlar tablo halinde aşağıda sıralanmıştır:

Tablo 3.1. İstenen pozisyona göre elde edilen mafsalsal açıları

açılar	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$\theta_5$	$\theta_6$
1	-1.17802	-1.74501	2.72463	2.95143	-1.98107	-0.4694
2	1.96357	1.57253	-0.41697	2.95143	-1.98107	-0.4694
3	1.96357	1.74501	2.72463	-2.95143	1.16053	-0.4694
4	-1.17802	-1.74501	-0.41697	-2.95143	1.16053	-0.4694
5	1.17802	1.74501	-2.72463	-2.95143	1.98107	0.4694
6	-1.96357	-1.74501	0.416965	-2.95143	1.98107	0.4694
7	-1.96357	-1.74501	-2.72463	2.95143	-1.16053	0.4694
8	1.17802	1.74501	0.416965	2.95143	-1.16053	0.4694

Bunlardan elde edilen sonuçlar irdelenerek hangilerinin mafsalların hareket sınırları içinde olacağı bulunabilir.

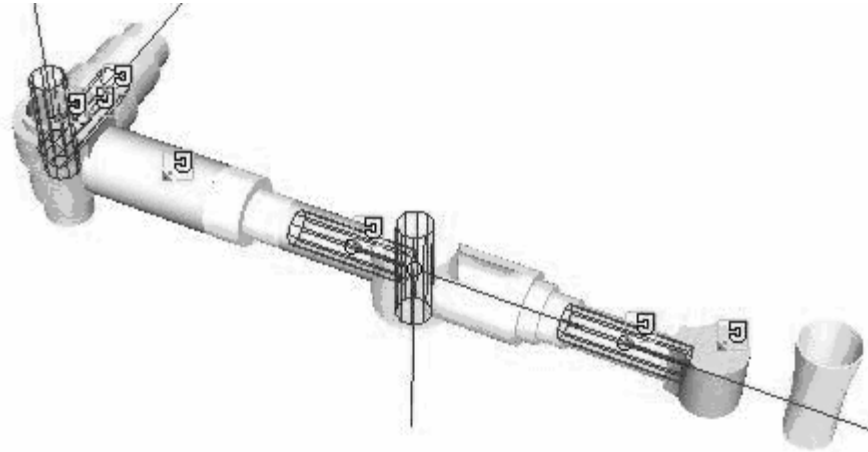
### 3.5. Protez Kolun Animasyonu

Robot kol tasarımında simülasyon yapılması ile kolun hareket edebileceği alan tespit edilebilir. Ters kinematik neticesinde elde edilen açı değerlerinin girilmesiyle kolun herhangi bir hareketinin nasıl yapabileceği belirlenebilir. Tabii mafsalsal yapısı daha

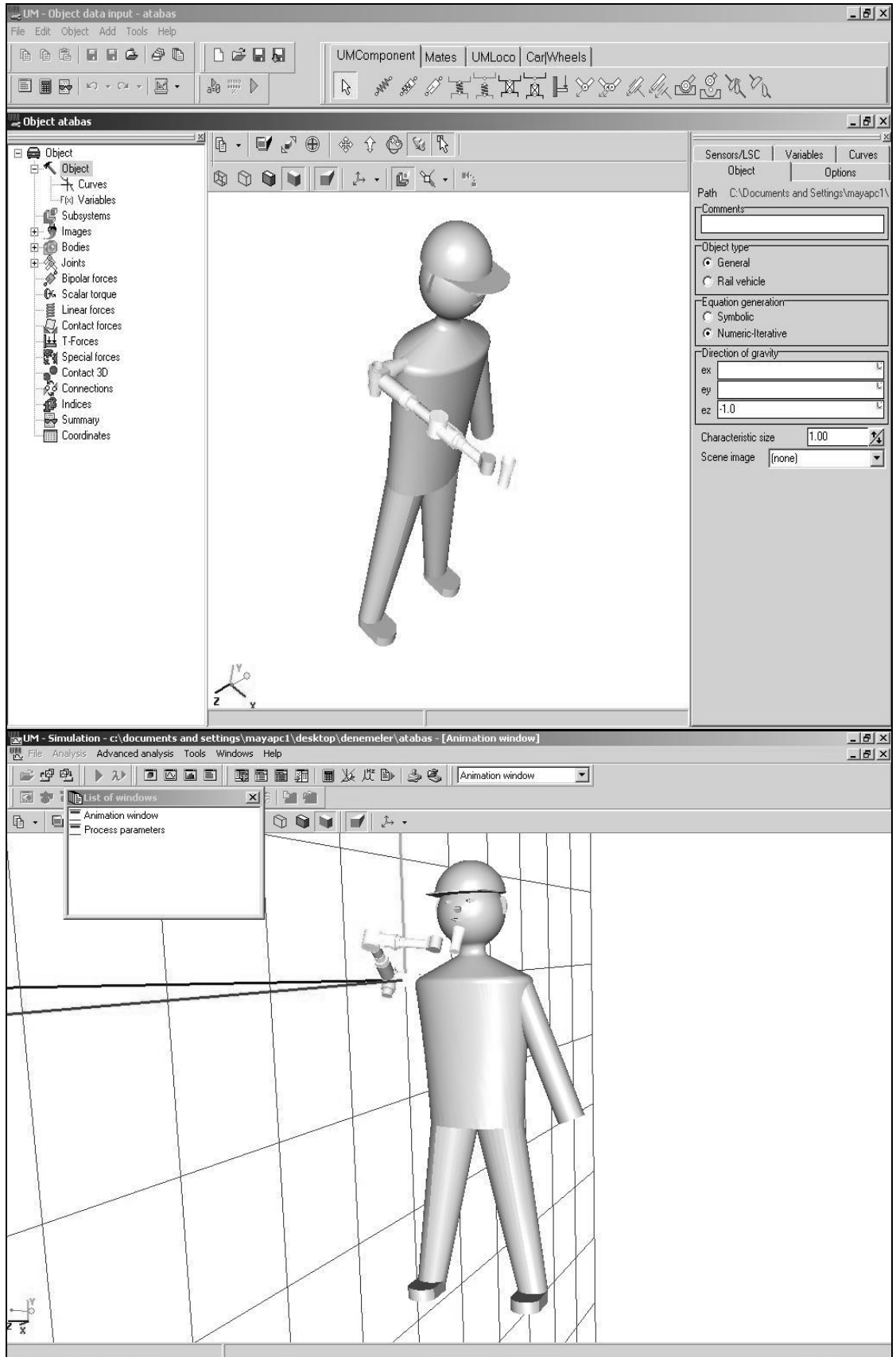
önceden belirlendiği için mafsal dönme açısı dizayn kriterlerinden biridir ve sınırlıdır. Ters kinematik neticeleri irdelenirken mafsalın hareket serbestliğine dikkat edilmesi gerekir. İnsan kolunun serbestliği belirli sınırlar içerisindedir, örneğin dirsekte 135 derece gibi bir değerdedir. Yapılacak protez kolda da bu değere dikkat edilmesi gereklidir. Çünkü bu değer aşıldığı anda kişi kolu kullanmakta zorlanacaktır. Ayrıca görünümün de bozulmasına sebebiyet verecektir.

Mekanizmalar, robotlar, otomotiv gibi alanlarda dinamik simülasyon desteği veren çeşitli programlar vardır. Bizim çalışmamızda bu tür bir programdan beklediğimiz mafsal açılarını verdiğimiz anda son konumu bize verebilen yani son eksen takımının ilk eksen takımına göre pozisyonunu verebilen bir programın olmasıdır. Bu amaçla çalışmamızda Universal Mechanism yazılımını kullanacağız.

Universal mechanism programı temel olarak makine mühendislerine tasarım aşamasında yardımcı olmak amacıyla yazılmış bir programdır. Program matlab, c ve basic programlama dillerini desteklemektedir. UM iki bölümden meydana gelmektedir. 1. bölüm input yani simülasyon parametrelerinin girildiği ikinci kısım ise animasyon neticesinin gösterildiği kısımdır. UM programında diğer simülasyon programlarından farklı olarak açısal anlamda mafsal yer değiştirmesini gerçek zamanlı kontrolü için kontrol paneli oluşturulabilmektedir. Aynı zamanda mafsalın belirli bir anda ne kadar döneceği de programda verilebilir. İlk olarak UM’de modellenen kola eksen takımları yerleştirilir (Şekil 3.18). Daha sonra mafsal açıları belirlenerek programın input penceresinde girilir ve animasyon bitirilir (Şekil 3.19).



Şekil 3.18. Universal Mechanism programında protez kolun çizimi ve mafsalları



Şekil 3.19. Protez kol kullanarak su içme işleminin animasyonu.

## 4.BÖLÜM

### SONUÇLAR

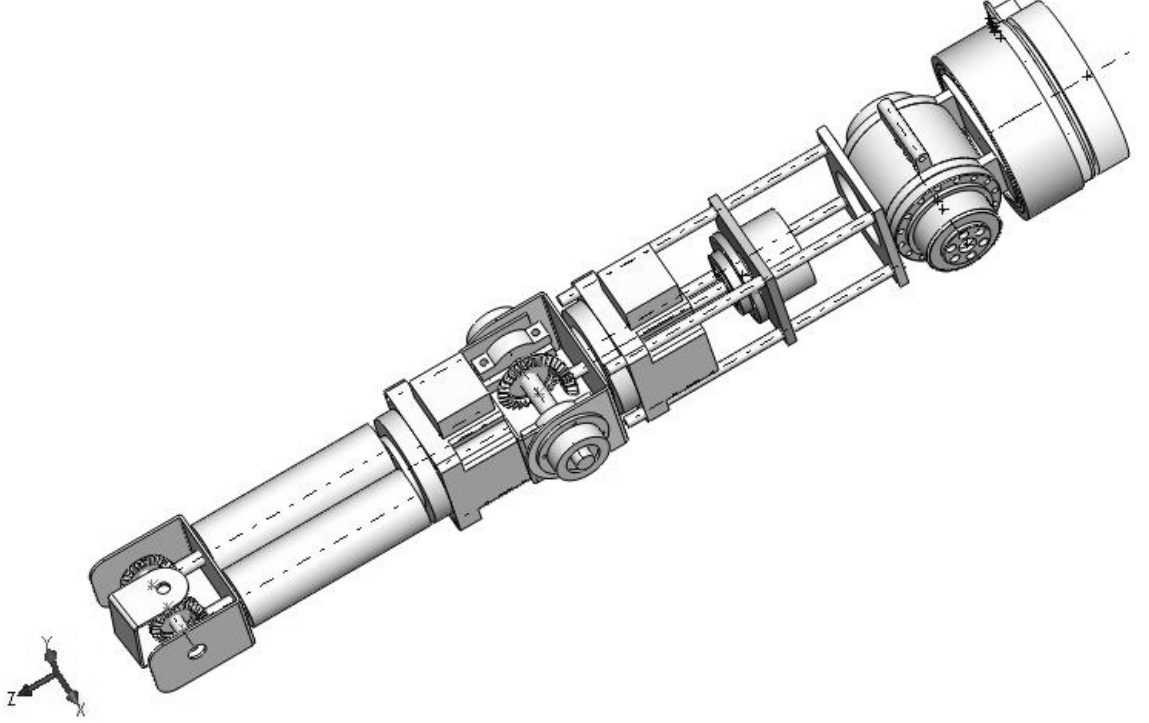
#### 4.1. Giriş

Robot kollar gelişen teknolojiyle birlikte gün geçtikçe daha da gelişmektedir. Günümüzde hafif ağırlıklı motorların ve dişli kutularının imaliyle birlikte robot manipülatörleri de daha hafif ve güçlü hale gelmektedir. Protez kollar genel yapısı itibariyle robot kollardan çok büyük farklılık göstermemekle birlikte ana hatları itibariyle benzerdir. Robot kollarda istenen genelde yapacağı işe göre yüksek hassasiyet ve yüksek mafsal torklarıdır. Bunun yanında robot kollarda yapay zeka yeterince gelişmemiş olduğundan kontrolü için çeşitli algoritmaların geliştirilip yapacağı her farklı işe göre ayrı ayrı programlanması gereklidir. Protez kolların diğer robot kollardan en büyük farklılığı da bu ayrıntı da gizlidir. Protez kollarda kullanıcı tamamen kendi kontrolü ile kullanacağı için programlanmaya gerek yoktur. Dolayısıyla herhangi bir hareket için bir ters kinematik hesabına da gerek yoktur. Protez kolların normal robot manipülatörlerden diğer önemli bir farklılığı ise ağırlık problemi.

#### 4.2. İrdeleme

Bu çalışmada iki adet tasarım yapılmıştır. İlk yapılan tasarımda ikincisinden farklı olarak bilekteki ikinci serbestlik derecesi de işlevsel hale getirilmiştir (Şekil 3.20). daha önce yapılan çalışmalarda mekanik ellerin parmak köklerinde 6 konik dişliyle 2 serbestlik derecesi verilmesi başarılmıştır[14]. Birinci tasarımda bilekte bu 6 konik dişli sistemi kullanılarak bilekteki 2 serbestlik derecesi verilmesi başarılmıştır. Birinci tasarımda kullanılan motorlar harmonik dişli, servo motor, yatak elemanının birlikte tek bir ünitenin içinde birbirlerine birleştirilmiş şekilde satılan motorlardır. Bu motorların avantajı uçlarına direkt olarak uzuvların bağlanabilmesidir. Dezavantajı ise yüksek değerlerdeki ağırlıklarıdır. Estetik olarak ve ağırlık kaldırma kapasitesi olarak düşük bir

değerde olması ve kolun ağırlığının yüksek bir değerde olmasından dolayı ilk tasarım göz önünde bulundurulmamıştır.



Şekil 4.1. İlk yapılan protez kol tasarımı

Protez kol tasarımında en önemli parametrelerden biri de kolun ağırlığıdır. Araştırmalar bir insan kolunun ağırlığı ortalama 3,5 kg civarı bulunmuştur. Yapılan tasarımımızda ise bu değer 5,8 kg civarı olduğu için oldukça yüksek bir değerdedir. Çalışmada motorlar ve redüktörler uzun süren bir araştırma sürecinden sonra bulunan en hafif motorlar ve redüktörler arasından seçilmiştir, yine hafiflik açısından alüminyum 1060 alaşımı kullanılmasına rağmen hedeflenenden daha fazla bir ağırlık elde edilmiştir. Ayrıca sistemin toplam güç sarfiyatı da yüksektir. Bu gücü sağlayabilmek için kişinin ayrıca bir batarya taşıması da gereklidir. Kontrol sisteminin toplam ağırlığı da 0.2 kg dır. Tasarlanan kolun artıları ise mafsallardaki motorların elin 2 kg lık bir ağırlığı kaldırarak şekilde hesaplanmasıdır. 10~20 sn gibi kısa süreler için bu değer motorun tepe tork değeri göz önüne alarak 3~4 kg olabilir. Diğer önemli bir artısı da mafsal hızları 30 d/d gibi bir değerdedir ki bu insan koluna oldukça benzerdir. Kontrol sistemi bu tez konusu dışında bırakılmıştır. İlerde CAD çizimleri ve animasyonları hazırlanmış olan bu kolun prototipinin üretilmesiyle hataları ve eksikleri analiz edilerek daha iyi bir sistem elde edilecektir.

## KAYNAKLAR

1. Mason M. T. and Salisbury J. K.. Robot Hands and the Mechanics of Manipulation. The MIT Press, Cambridge, MA, 2 edition, 1986.
2. Butterfass, J.; Grebenstein, M.; Liu, H. & Hirzinger, G. (2001). DLR-Hand II: Next Generation of a Dextrous Robot Hand, *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 109-114.
3. <http://www.touchbionics.com/professionals.php?section=4>
4. Pons J. L. , Ceres R. , Rocon E. , Reynaerts D. , Saro Levin B. , Moorleghem W.” Objectives and technological approach to the development of the multifunctional MANUS upper limb prosthesis” *Robotica*, (2005)vol. 23,pp.301-310
5. Richard F. ff. Weir, Phil R. Troyk, Glen A. DeMichele, Douglas A. Kerns, Jack F. Schorsch, Glen A. DeMichele, Huub Maas, “Implantable Myoelectric Sensors (IMESs) for Intramuscular Electromyogram Recording” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*,vol. 56, no. 1,pp.159-171 Jan. 2009.
6. <http://frostedglass.wordpress.com/2006/06/06/dof-and-the-human-arm/>
7. <http://ligwww.epfl.ch/~maurel/EGCAS96.html>
8. [http://www.maxonmotor.com/product\\_overview.html](http://www.maxonmotor.com/product_overview.html)
9. <http://www.harmonicdrive.net/reference/operatingprinciples/>
10. <http://www.ogura-clutch.com/products/industrial/howtheywork/electromagnetic-brake.html>
11. [http://www.fag.de/content.fag.de/en/ina\\_fag\\_products/productinformation/rotativ\\_products/index.jsp](http://www.fag.de/content.fag.de/en/ina_fag_products/productinformation/rotativ_products/index.jsp)
12. <http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&newlink=first&lang=en>
13. Craig,J., Introduction to robotics: Mechanics and Control.1989.
14. Kawasaki H. and Komatsu T., "Mechanism Design of Anthropomorphic Robot Hand: Gifu Hand I", *J. of Robot. and Mechatronics*, Vol. 11, No.4, pp. 269-273, 1999.1215

## ÖZGEÇMİŞ

Seyit Kalınkara 1983 yılında Kayseri’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Nevşehirde, üniversite eğitimini Erciyes Üniversitesinde tamamladı. Halen Erciyes Üniversitesi Makina Mühendisliği Ana Bilimdalında yüksek lisans yapmaktadır