

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ ROBOT EL
TASARIMI VE GERÇELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgisayar Müh. Musa DEMİRCİOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR BİLİŞİM MÜH

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erol Emre

Haziran 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ ROBOT EL
TASARIMI VE GERÇELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgisayar Müh. Musa DEMİRCİOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR BİLİŞİM MÜH

Bu tez 14/06/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr.
Erol EMRE
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr.
Osman ÇEREZCİ
Jüri Üyesi**

**Yrd. Doç. Dr.
Numan ÇELEBİ
Jüri Üyesi**

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aşamasında bana her tŸrlŸ desteği veren danıŐman hocam sayın Prof. Dr. Erol EMRE'ye, her tŸrlŸ maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme, ve yine her tŸrlŸ yardımını esirgemeyen sevgili dayım Yrd. Doç. Dr. Murat ŐZSOY'a, yardımlarını esirgemeyen makine teknikeri sevgili dostum Metin GŸNAY'a, elektronik konusunda her tŸrlŸ yardımı eden Elektrik Elektronik MŸhendisi sevgili dostum Orkun AKPINAR'a, insan anatomisinde sŸrekli fikir danıŐtıęım sevgili dostum Dr. CoŐkun SAF'a ve her tŸrlŸ maddi ve manevi yardımları için tŸm arkadaşlarıma teŐekkŸrŸ bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ANATOMİK ARAŞTIRMA	4
2.1. Giriş.....	4
2.2. Kemik Yapısı.....	4
2.3. Elde Bulunan Kemikler.....	5
2.3.1. El tarağı kemikleri.....	7
2.3.2. El parmağı kemikleri.....	8
2.4. Eklemler.....	8
2.4.1. Tek eksenli eklemler	9
2.4.2. Çift eksenli eklemler.....	10
2.4.3. Çok eksenli eklemler.....	10
2.5. Kas Yapısı.....	10
2.6. Ölçümler.....	13
BÖLÜM 3.	
MEKANİK ARAŞTIRMA.....	16

3.1. Giriş.....	16
3.2. Kemik İçin Uygun Malzeme Seçimi.....	16
3.2.1. Alüminyum.....	17
3.2.2. Kestamid.....	18
3.3. Eklem Yapısı Seçimi	20
3.4. Kas ve Tendon Yapıları Seçimi.....	20
3.5. Prototipin Tasarımı.....	24
BÖLÜM 4.	
ELEKTRONİK ARAŞTIRMA.....	30
4.1. Giriş.....	30
4.2. Elektrik Motorları	30
4.2.1. AC motorlar.	31
4.2.2. DC motorlar.	32
4.3. Step Motorlar.....	36
4.3.1 Step motorun üstünlükleri.....	37
4.3.2. Genel yapısı.....	39
4.3.4.Çalışma prensibi.....	40
4.3.5 Terimler.....	40
4.3.6. Step motor çeşitleri.....	41
4.3.6.1. Sabit mıknatıslı step motor.....	41
4.3.6.2.Değişken relüktanslı (VR) step motorlar.....	42
4.3.6.3. Hybrid step motorlar (HSM)	43
4.3.6.4. Hidrolik step motorlar.....	45
4.3.6.5. Lineer step motorlar.....	46
4.4. Kullanılan Step Motor Sürücüsü.....	48
BÖLÜM 5.	
YAZILIM.....	54
5.1. Giriş.....	54
5.2. Elektronik Yapı ile Haberleşme Modülü.....	55
5.2.1. Bilgisayar yazılımı.....	55
5.2.2. PIC yazılımı.....	57

5.3. Ana Yazılım.....	59
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	68

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	El kemikleri önden ve arkadan görünüm.....	5
Şekil 2.2.	Kol uzvu kemikleri.....	5
Şekil 2.3.	El röntgeni ve elde bulunan kemikler.....	6
Şekil 2.4.	El kemik ölçülendirilmesi.....	7
Şekil 2.5.	El tarağı kemikleri.....	7
Şekil 2.6.	El parmak kemikleri.....	8
Şekil 2.7.	Parmak kemikleri ve eklemleri.....	9
Şekil 2.8.	Parmakların hareketleri.....	9
Şekil 2.9.	Kasların kemiklere bağlantı noktaları.....	11
Şekil 2.10.	Eldeki kaslar ve tendonlar.....	12
Şekil 2.11.	El röntgen filminden ölçülerin alınması.....	13
Şekil 3.1.	Ketamid kasnak, dişli ve yataklar.....	18
Şekil 3.2.	Ketamid örnek uygulamalar.....	18
Şekil 3.3.	Eklem yapılarının ön çizimleri.....	20
Şekil 3.4.	Shadow Robot Company tarafından üretilmiş hava kasları.....	21
Şekil 3.5.	Örnek bir insansı robot tasarımı.....	22
Şekil 3.6.	Muscle-Wire.....	23
Şekil 3.7.	Örnek muscle-wire uygulaması.....	23
Şekil 3.8.	Yapılan prototip.....	24
Şekil 3.9.	Geri açılma sınırlayıcıları eklenmiş çizim.....	25
Şekil 3.10.	Son Tasarım.....	25
Şekil 3.11.	Parçanın dik işlemede işlenmesi.....	26
Şekil 3.12.	Parçaya üzerinde bulunan ip kanallarının açılması.....	27
Şekil 3.13.	Parçaya deliklerinin delinmesi.....	27
Şekil 3.14.	Parmak prototip.....	28
Şekil 3.15.	Parmak ve motorların sac levhaya montajlanmış hali.....	28

Şekil 3.16. Yapılan step motor sürme devresi.....	29
Şekil 3.17. Tüm parçaların kontrplak üzerine montajlanmış hali.....	29
Şekil 4.1. Elektrik motoru bir tur.....	31
Şekil 4.2. Elektromıknatıslı doğru akım motorlarının parçaları.....	33
Şekil 4.3. Sabit mıknatıslı doğru akım motoru yapısı ve parçaları.....	33
Şekil 4.4. Adım motorunun çalışması.....	37
Şekil 4.5. Tipik step motor yapıları.....	40
Şekil 4.6. Sabit mıknatıslı iki fazlı step motor.....	42
Şekil 4.7. VR Step [adım] motor.....	43
Şekil 4.8. Hybrid step motorun yapısı.....	44
Şekil 4.9. Hybrid step motorun A — B kesitlerinin görünüşü.....	44
Şekil 4.10. Hidrolik step motor.....	45
Şekil 4.11. 2 fazlı lineer step motorun prensip şeması.....	46
Şekil 4.12. 2 fazlı lineer step motorun hareketi.....	47
Şekil 4.13. Transistörlü step motor sürücü devresi.....	49
Şekil 4.14. L297 iç mimarisi.....	51
Şekil 4.15. L297 bacak bağlantıları.....	51
Şekil 4.16. L298 entegresi ve bacak bağlantıları.....	52
Şekil 4.17. L298 entegresi iç mimarisi.....	52
Şekil 4.18. SGS-THOMSON Microelectronics firması tarafından tavsiye edilen L297-L298 entegreli step motor sürme devresi şeması ve baskı devresi.....	53
Şekil 5.1. PIC 16F877 oluşturulan bacak bağlantıları.....	57
Şekil 5.2. Görsel olmayan arayüz.....	61
Şekil 5.3. Görsel arayüz.....	62

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Serçe parmak.....	14
Tablo 2.2. Yüzük parmağı.....	14
Tablo 2.3. Orta parmak.....	14
Tablo 2.4. İşaret parmak.....	14
Tablo 2.5. Başparmak.....	15
Tablo 3.1. Üretici firma kestamid fiziksel özellik tablosu.....	19
Tablo 4.1. Tam adım sürüm için gerekli transistör tetiklemeleri.....	49
Tablo 4.2. Yarım adım için gerekli transistör tetiklemeleri.....	50
Tablo 4.3. Dalga sürüm için gerekli transistör tetiklemeleri.....	50
Tablo 5.1. PIC için belirlenmiş motor sürücü adresleri.....	60

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Robot, Robot El, Anatomi, El Anatomisi, Parmak, Eklem, Yapay Kas, Step Motor, Adım Motor, Sürücü, Step Motor Sürücü, L297, L298

Bu tezin hazırlanma amacı insansı robot gelişimine ufak da olsa bir katkıda bulunmaktır. İnsanın en kompleks organlarından biri olan ele, fiziki olarak mümkün olduğunca yaklaşılmaya çalışılmıştır. Amaç elin hareket kapasitesinin bilgisayar kontrolü altında gösterilebilmesidir. Bunun için gerekli araştırmalar yapıldıktan sonra - ki bu araştırmalar mekanik, elektronik ve bilgisayar olarak üçe ayrılabilir - sistem tasarlanılmıştır. Bundan bir sonraki aşamaya da geçilmiş ve prototip oluşturulmuştur. Fakat gerek kısıtlı zaman, gerekse yüksek maliyetlerden kaçınmak için tüm elin prototipinin yapılması yerine temsili bir parmak prototipi yapılmıştır.

COMPUTER CONTROLLED ROBOT HAND DESIGN AND APPLICATION

SUMMARY

Key words: Robot, Robot Hand, Robohand, Anathomy, Hand Anathomy, Finger, Joint, Artificial Muscle, Step Motor, Driver, Step Driver, L297, L298

The aim of this thesis is to contribute to develop of humanoid. It's tried to close to physical feature of one of the most complex organ, Hand. The aim is controlling hands movement with computer based systems. For this, after making necessary researchs, that are mechanical, electronical and medical resaerchs, system planned and prototype formed. But whether short time or high costs, one finger prototype prefered instead of all hand.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanoğlunun hayatı kolaylaştırma çabaları ilk var oluş yıllarına kadar dayanmaktadır. Taş devrinde yeni avlanma araçları tasarımı olarak karşımıza çıkan bu uğraşlar; makineleşme olarak devam etmiş, günümüzde de robotlarla üretime ve bilgisayar destekli otomasyona ulaşmıştır. Öyle ki insanlar kendi yaptıkları işleri yapabilecek makineler tasarlamış ve bu sayede hem kendi üzerlerindeki yükü hafifletmiş hem de kaliteli, hızlı bir üretim sağlamışlardır.

Üretimde robotlaşmadan sonraki adım insansı robotlar üretimidir. İnsanoğlunun çok uzun zamandır düşlediği bu büyük hayal günümüzde adım adım gerçekleşmeye başlamıştır. Birçok büyük firma ve devlet kurumu bu hayal peşinde yıllarca koşmuş ve yavaş yavaş meyvelerini toplamaya başlamışlardır.

Birçok üniversitenin robot topluluklarına sahip olması, firmaların ve devletlerin bu amaç uğruna milyar dolarlar harcaması, birçok bilim kurgu filminin insansı robotlar üzerine kurulması ya da onlara da yer verilmesi bu konuya verilen önemi açıkça gözler önüne sermektedir.

Şimdilik; insanın günlük hayatta sıkça, düşünmeden ve güç harcamadan kullandığı birçok sistemin kopyalanması çok zor olduğundan yapılan robotlar kısa boylu ve kısıtlı hareket sistemlerine sahiptirler. Fakat; bundan - çok değil – 4 veya 5 yıl öncesiyle, günümüz karşılaştırıldığında hızlı gelişim rahatlıkla fark edilebilmektedir.

Nano teknolojinin gelişimiyle çok daha sağlam ve hafif metaller geliştirilebilmektedir. Birden fazla bilim dalının bir araya getirilmesiyle birçok yenilik çıkmaktadır. Tabi ki bu gelişimlerde yakın gelecekte, tüm alanlara olacağı gibi, insansı robot geliştirme çalışmalarına da yansacaktır.

Bu tezin hazırlanma amacı insansı robot gelişimine ufak da olsa bir katkıda bulunmaktır. İnsanın en kompleks organlarından biri olan ele, fiziki olarak mümkün olduğunca yaklaşılmaya çalışılmıştır. Amaç elin hareket kapasitesinin bilgisayar kontrolü altında gösterilebilmesidir. Bunun için gerekli araştırmalar - ki bu araştırmalar mekanik, elektronik ve bilgisayar olarak üçe ayrılabilir - yapıldıktan sonra sistem tasarlanılmıştır. Bundan bir sonraki aşamaya da geçilmiş ve prototip oluşturulmuştur. Fakat gerek kısıtlı zaman, gerekse yüksek maliyetlerden kaçınmak için tüm elin prototipinin yapılması yerine temsili bir parmak prototipi yapılmıştır.

Bir projenin hem başlangıç noktası hem de en önemli kısmı araştırma safhasıdır. Araştırma safhası aslında sanıldığı gibi aksine proje yapım aşamasına geçmeden önce yapılan ve biten bir safha değildir. Bu safha aslında tüm proje boyunca devam eder. Fakat büyük bir kısmı projeye başlamadan önce yapılır. Araştırma safhası projenin yapılabirlik kontrolünün yapıldığı safhadır.

Bu tezdeki araştırma safhası çok uzun süren bir süreçtir. Bunun nedeni projenin birden çok bilim dalına hitap etmesidir. Bu bilim dallarından bir kaçını mekanik, elektronik, elektrik, metalürji ve bilgisayardır. Aslında bu projenin yelpazesi çok daha geniş olmasına rağmen; içinden çıkılamayacağından, araştırmaya başlamadan; proje sınırları çizilmiş, amacı net olarak belirlenmiş ve konuya bir başlangıç yapılmıştır. Tezin amacı 1. bölümde de belirtildiği gibi eldeki hareket yeteneğine, imkanlar dahilinde, mümkün olduğunca yaklaşabilmektir.

Unutulmamalıdır ki bu konu birçok firmanın üzerinde yıllar ve milyar dolarlar harcadığı bir konudur. Dolayısıyla araştırmalar da önceden belirlenmiş bir bütçeyi aşmayacak ve diğer bilim dallarına yüzeysel seviyede değinilerek yapılacaktır. Araştırma safhasında, konuları derinlemesine araştırmak çok uzun yıllar alacağından; konusunda uzman kişilerden direk veya yayınları vasıtasıyla bilgiler edinilmiş, bu bilgiler derlenmiş ve araştırmalara öncülük edecek ana başlıklar ve bunlara bağlı alt başlıklar belirlenmiştir. Tezin araştırma safhasının ana başlıklarını anatomik araştırma, mekanik araştırma ve elektronik araştırma olarak belirleyebiliriz.

Anatomik araştırmada en büyük kaynak olarak internet kullanılmıştır. Yazılı kaynaklar olarak da bir çok tıbbi kitap incelenmiştir. Fakat bu kaynaklardan en önemlileri; ana yapıların oluşturulmasında kullanılan yazılı kaynak olarak ‘‘Sobotta Anathomy Atlas’’ ve online kaynak olarak da ‘‘Anatomy.tv’’ ve ‘‘Gray’s Anathomy Atlas’’ çoğunlukla kullanılmıştır. Bunların yanında açık ğretim fakültesinin yayınlardan da faydalanılmıştır. Anatomik araştırma genel olarak kemik, eklem ve kas yapılarının, şekillerinin ve de bağlanma şekil ve yerlerinin araştırılmasıdır.

Mekanik araştırma; anatomik araştırma sonuçlarının gerçek hayata nasıl geirilebileceğinin araştırılmasıdır. Burada gerekli malzemelerin araştırılmasından, bu malzemelerin nasıl ve hangi makinelerde, hangi programlar vasıtasıyla işlenmesi ve esas olarak da fiziksel yapının nasıl oluşturulabileceği araştırılmıştır.

Elektronik araştırma; oluşturulmuş yapıya hareket verme aşamasında gerekli olacak elemanların araştırılmasıdır. Burada kemiklere hareket vermek için gerekli yapılar araştırılmıştır. Tabi ki bunun yapılabileceği en kolay yapı motorlardır ve buna yoğunlaşılmıştır. Motorlara alternatif olabilecek ve hata proje için çok daha randımanlı olabilecek birçok yapı olmasına rağmen bu yapıları oluşturmak çok daha teknik bilgi gerektireceğinden tercih edilmemiştir.

Bilgisayar, kendi bilim dalımız olduğundan bu konu hakkında herhangi bir ön araştırma yapmaya gerek duyulmamıştır. Tezin hazırlanması aşamasında karşılaşılabilecek sorunlara, ilerleyen bölümlerde değinilecek ve çözümleri sunulacaktır.

Bu tez konuyla ilgilenen veya motor kontrolü, temel elektronik, bilgisayar ve mikroilemcinin haberleştirilmesi ve bunların alt konularıyla ilgilenen kişiler için iyi bir kaynak temsil edecektir.

BÖLÜM 2. ANATOMİK ARAŞTIRMA

2.1 Giriş

Bu bölümde temel olarak kemik, eklem ve kas yapılarıyla onların diziliş ve bağlantı şekillerinden bahsedilmiştir. Genel olarak yapılardan bahsedildikten sonra prototip oluşturma aşamasında gerekli olan esas alt yapılara geçilmiştir. Tez boyunca mümkün olduğunca tıbbi terimlerden kaçınmaya özen gösterilmiştir.

2.2 Kemik Yapısı

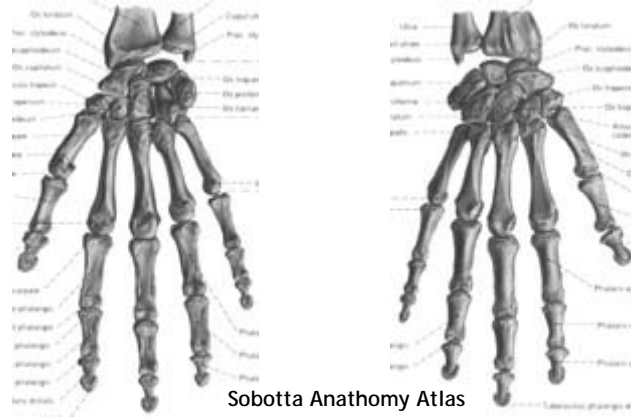
Kemikler insan vücudunda; koruma, destek olma, hareketler için mekanik bir temel oluşturma, iç organlara ve kaslara bağlanma yüzeyi sağlamak, kan hücrelerinin üretimi ve tuzları depolamak gibi görevleri üstlenmiş organik(%35) ve inorganik(%65) maddelerden oluşan dokulardır.

Kemikleri fiziksel görünüşlerine göre genel manada uzun kemikler, kısa kemikler, yassı kemikler, düzensiz kemikler olarak sınıflandırmamız mümkündür.

Uzun kemikler; isimlerinden de anlaşıldığı gibi kol, uyluk ve bacak kemikleri gibi boyları enlerinden daha büyük olan kemiklerdir. Kısa kemikler; el ve ayak iskeleti, omurga içerisinde bulunan kemikler gibi; en, boy ve kalınlıkları hemen hemen birbirine eşit kemiklerdir. Yassı kemikler; Kürek kemiği (scapula), kafatası kemikleri ve leğen (pelvis) kemikleri gibi yassı ve geniş bir şekle sahip olan kemiklerdir. Düzensiz kemikler; kimi yerde şekilsiz kemikler olarak da adlandırılan kemiklerdir. İsimlerinden de anlaşılacağı gibi bu kemikleri anlatabilecek standart bir tarif şekli yoktur. Yüz çevresinde bulunan bazı kemikler buna güzel bir örnektir. Elde yaygın olarak görülen kemik çeşidi, yassı kemiklerdir[1].

2.3. Elde Bulunan Kemikler

İnsan elindeki kemik yapıları, boyları, genişlikleri, birbirlerine bağlanma şekilleri ve hareket kapasiteleri araştırılmıştır.



Şekil 2.1. El kemikleri önden ve arkadan görünüm

El kemikleri fiziksel olarak benzer karakterlere sahiptirler. Tezde mümkün olduğunca bu yapılara yaklaşılmaya çalışılacaktır. Elde toplam 21 kemik bulunmaktadır. Bu kemikleri irili ufaklı 8 adet bilek kemiği takip eder. Bunlar da 3 adet kol kemiğiyle omuza bağlanır. Bu kemikler kol uzvunda bulunan en uzun ve en güçlü kemiklerdir[2].

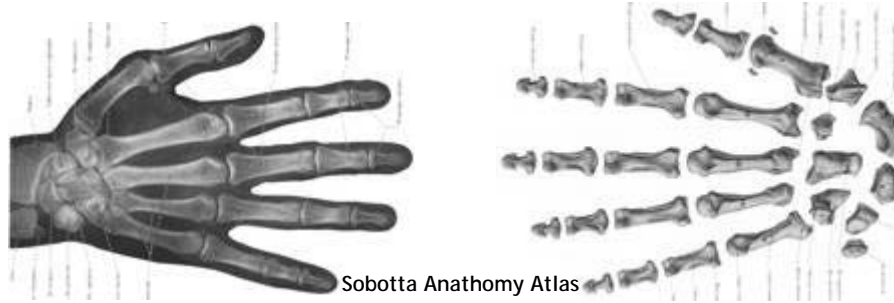


Şekil 2.2. Kol uzvu kemikleri

Tezin başlangıç noktası olarak eli oluşturmak seçilmiştir. Elin seçilmesindeki en büyük neden insan vücudunda en kompleks hareket sisteminin el olmasıdır. Ayrıca el insan vücudunda kavrama, tutma gibi çok önemli işlevleri üstlenmektedir. Bu

sebeplerden insan kol uzvunun oluşturulması daha doğru bir deyişle kol uzvuna mümkün olduğunca yaklaşıarak bir prototipin oluşturulması için ilk başta en önemli kısım olan elin üzerine yoğunlaşılması uygun görülmüştür.

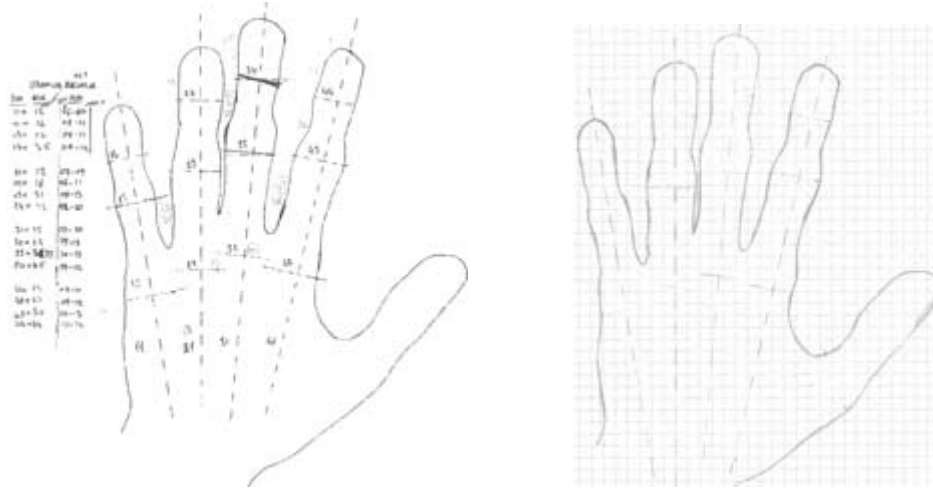
Yukarıda bahsedildiği gibi insan elinde 3 adet baş parmakta ve 4'er adet de diğer parmaklarda 19 kemik vardır. Ayrıca baş parmakta 2 adet çok ufak kemik de bulunmaktadır. Bunlarla beraber 21 kemik olmasına rağmen bu kemikler , bu projede hassaslık çok önemli olmadığından , ihmal edilmiştir. Tezde bundan sonra elde 19 kemik varmış gibi düşünülecek, hesaplamalar ve prototip buna göre geliştirilecektir.



Şekil 2.3. El röntgeni ve elde bulunan kemikler

Şekilde de görüldüğü gibi değişik boyutlarda olmalarına rağmen birbirlerine çok benzemektedirler. Ortalama bir iskelet yapısından ölçüm yapıldığında eşdeğer kemiklerin yaklaşık olarak aynı boylarda oldukları görülmüştür. Bu tez boyunca bütün hesaplamalar hep bu ortalama ölçümlere göre yapılacaktır ve yine prototipte bu ölçümlere göre oluşturulacaktır.

İnsan vücudundaki bütün kemiklerde olduğu gibi eldeki kemiklerde de hareket kapasitelerini sağlayan ve sınırlayan yapılar vardır. Bu kapasiteler daha çok eklemlerin şekilleri ile ayarlanmış olsa da, kemiklere hem hareket verme hem de birbirlerine bağlama görevlerini üstlenmiş kas, tendon ve de lif gibi yapıların da önemi büyüktür.



Şekil 2.4. El kemik ölçülendirilmesi

Kemiklerin ortalama hareket kapasitelere de ölçülmüş ve prototip için ölçülendirilmiştir. Prototip oluşturma esnasında mümkün olduğunca bu kapasiteler sağlanmaya ve de sınırlanmaya çalışılacaktır.

2.3.1. El tarağı kemikleri

Ossa metacarpi olarak adlandırılan bu kemikler, el tarağını oluşturan kısa yapılı ve içi boşluklu kemiklerdir. Alt uçları ile bilek kemiklerine, baş kısımları ile de parmak kemiklerinin tabanlarına eklenişirler. Beş adet olan bu kemikler, elin fonksiyonel yapısında önemli rol almaktadırlar[1].



Şekil 2.5. El tarağı kemikleri

2.3.2 El parmak kemikleri

Ossa phalanges olarak da adlandırılan bu kemikler, aynı el tarağı kemikleri gibi kısa ve içi boşluklu bir yapıdadırlar. Parmak kemikleri başparmakta 2, diğer parmaklarda 3'er adet bulunur. Her Elde toplam 14 tane vardır[1].



Şekil 2.6. El parmak kemikleri

2.4. Eklemler

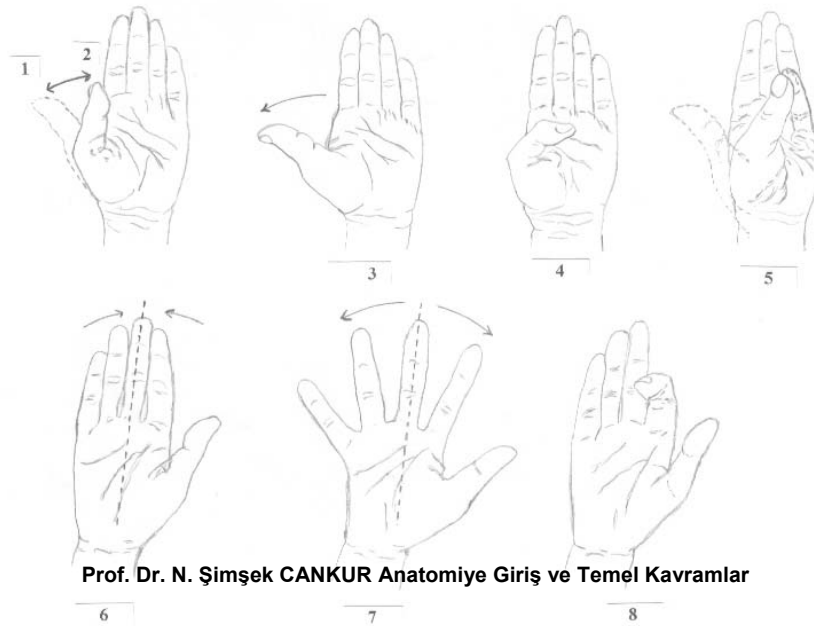
Eklemler, kemikler arasındaki, kemiklerin hareketini sağlayan yapılardır. 2 kemik arasındaki eklem anahtar-kilit gibidir. 2 kemik belirli oranda birbirlerine geçerek eklemleri oluştururlar. Eklemler hakkında ayrıntılı anatomik bilgiyi eklemlerde bulabilirsiniz. Burada eklemün tezi ilgilendiren bölümü olan “Eksen hareketlerine göre eklemler” incelenecektir.

İnsan elindeki 19 kemikte 19 eklem bulunmaktadır. Bu eklemler üst kemikleri alt kemiklere bağlayan ve de alt kemikleri bileğe bağlayan eklemlerdir. Bu eklemlerin bazıları yarı bazıları ise tam hareketlidir. Tam hareketli eklemler en alt kemiklerin bileğe, üst kemiklerin de en alt kemiklere bağlandığı eklemlerdir. Diğer eklemler hep yarı hareketli eklemlerdir. Özetlersek baş parmakta 2 adet tam 1 adet yarı hareketli, diğer dört parmakta ise 2 şer adet tam 2 şer adet de yarı hareketli olmak üzere toplam 19 eklem vardır[2].



Şekil 2.7. Parmak kemikleri ve eklemleri

Eklemler hareket eksenlerine göre; tek eksenli, çift eksenli ve çok eksenli olmak üzere 3 çeşittir.



Prof. Dr. N. Şimşek CANKUR Anatomiye Giriş ve Temel Kavramlar

Şekil 2.8. Parmakların hareketleri 1- Extention, 2- Adduction, 3- Abduction, 4- Flexion, 5- Opposition, 6- Adduction, 7- Abduction, 8- Flexion

2.4.1 Tek eksenli eklemler

Tek bir düzlemde hareket eden eklemlerdir. Bu eklemler yapı itibariyle menteşeleri andırırlar. Parmaklardaki eklemlerin çoğu bu türdür.

2.4.2. Çift eksenli eklemler

Çift düzlemde hareket edebilen eklemlerdir. Bu eklemlere örnek olarak, el parmak kemiklerinin en altındakilerle el tarak kemiklerinin yaptığı eklemler verilebilir. Başparmağın bilek kemikleriyle yaptığı eklem de bu türdendir.

2.4.3. Çok eksenli eklemler

Bu eklemler en az üç eksenle hareket edebilen eklemlerdir. Örnek olarak omuz kemikleri verilebilir.

2.5 Kas Yapısı

Kaslar kemikleri birbirine bağlayan, onlara hareket veren yapılardır. Kasların esas olarak koruma, ısıtma ve bunlar gibi birçok işlevi olmasına rağmen tezde gerekli olan hareket fonksiyonu ile ilgilenilecektir.

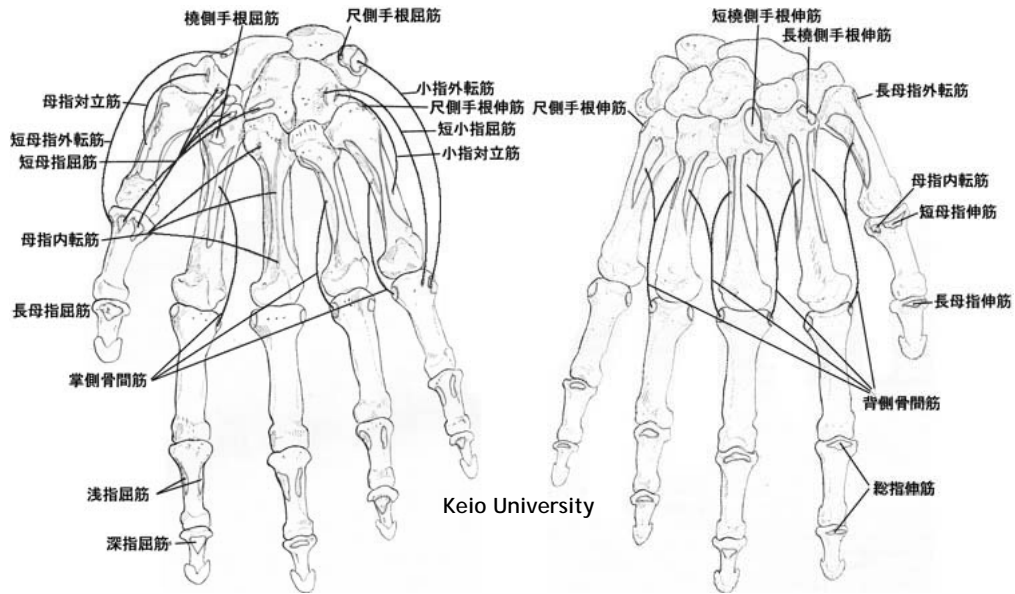
Yapısal olarak kas düz, çizgili ve kalp kası olmak üzere 3'e ayrılır. Düz kas ve kalp kası istemsiz olarak çalışan kaslardır. Tezde esas olarak ilgilenilecek konu istemli olarak çalışan çizgili kaslar, onların kasılma şekilleri ve kemiklere bağlantı şekilleridir.

Çizgili kaslar diğer 2 çeşit kasın aksine istemli olarak çalışan kaslardır. Beyinden gelen sinyallere göre kasılır ve sinyallerin durması durumunda gevşerler. Kasların en büyük özelliklerinden birisi de elastik olmalarıdır. Yani kasılma sonrasında gevşer ve ilk formuna geri dönerler. Kasların kasılma mekanizması elektrostatik, kimyasal ve mekanik aktiviteler birleşimidir[3]. Projede gerekli esas konu bu aktivitelerden ziyade kasların kasılma tipleridir. Kasılma tipinden kasıt, kasılmanın etkileridir de denilebilir. Yani bir kasın kasılmasının uzuv kemiklerinin açılarını değiştirip değiştirmediği ya da kasılmanın ne gibi bir etkisi olduğudur.

Kas kasılma tiplerinin ilgili alana göre değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. Örneğin tıbbi olarak kasılmalar mekanizmalarına göre sınıflandırıldığı halde, beden

eğitimi branşında ise kas boyutlarındaki değişime göre sınıflandırılmıştır. Tezin kasılmaya bakış açısı ise mühendislik aısındanır : mekanik. Tezde önemli olan konu uzuvlarda kasılmaların nasıl harekete yol açtığıdır. Kasılma tonusundaki artış veya azalış ilgilenilen bir konu değildir. Kasılma tonusu, daha kuvvetli kasılma sistemleri kurularak halledilebilir. Bundan sonra tezde kasılmadan kasıt kasın bağlı olduğu iki kemik arasındaki aıların değişimidir.

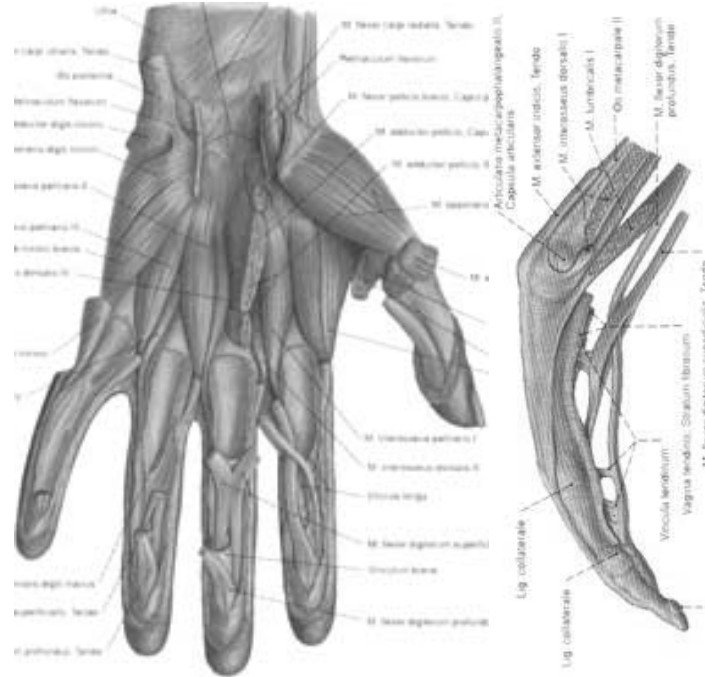
Tezde önemli olan bir diğer konu ise kasların bağlantı şekilleridir. Kaslar ardışıl yani aralarında tek eklem olan iki kemiğe bağlanabileceği gibi, birkaç eklem ötedeki kemiğe de bağlanabilir. Tabiki kasların esas olarak kemikten kemiğe bağlanma gibi bir şartı da yoktur. Kemik, deri, iç organ, kıkırdak veya bir bağ dokusuna da bağlanabilir. Tezi ilgilendiren, yukarıda sayılanlardan, kasların iki kemik arasındaki bağlantı şekilleridir.



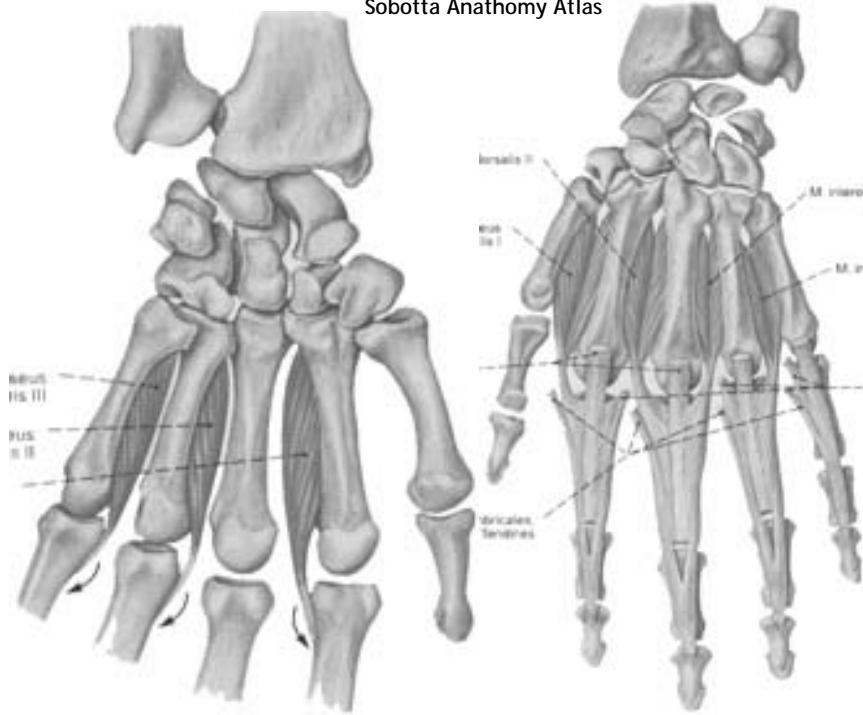
şekil 2.9. Kasların kemiklere bağlantı noktaları

şekilde de görüldüğü gibi parmaklardan her biri hem nden hem arkadan ikişer tendonla hareket etmektedir. Prototip yapımına en kolay parmak olan orta parmaktan başlanmıştır. Bu parmak hem diğerlerine örnek teşkil edecektir hem de yapımı aşamasında çıkacak sorunlar gözlenecektir. Bu sayede daha kompleks olan diğer parmakların yapımı için de tecrübe sahibi olunacaktır.

Orta parmakta ana hareketi veren 4 tendon bulunmaktadır. Bu tendonlar sayesinde açılma ve kapanma işlemleri kolaylıkla yapılır. Yanlarda da hem bu hareketlere yardımcı hem de parmağın sağa ve sola doğru hareketini sağlayan ikişer kas bulunmaktadır. Tezde, biraz daha kolaylaştırmak için, yanlara ikişer kas yerine birer kas kullanılacaktır.

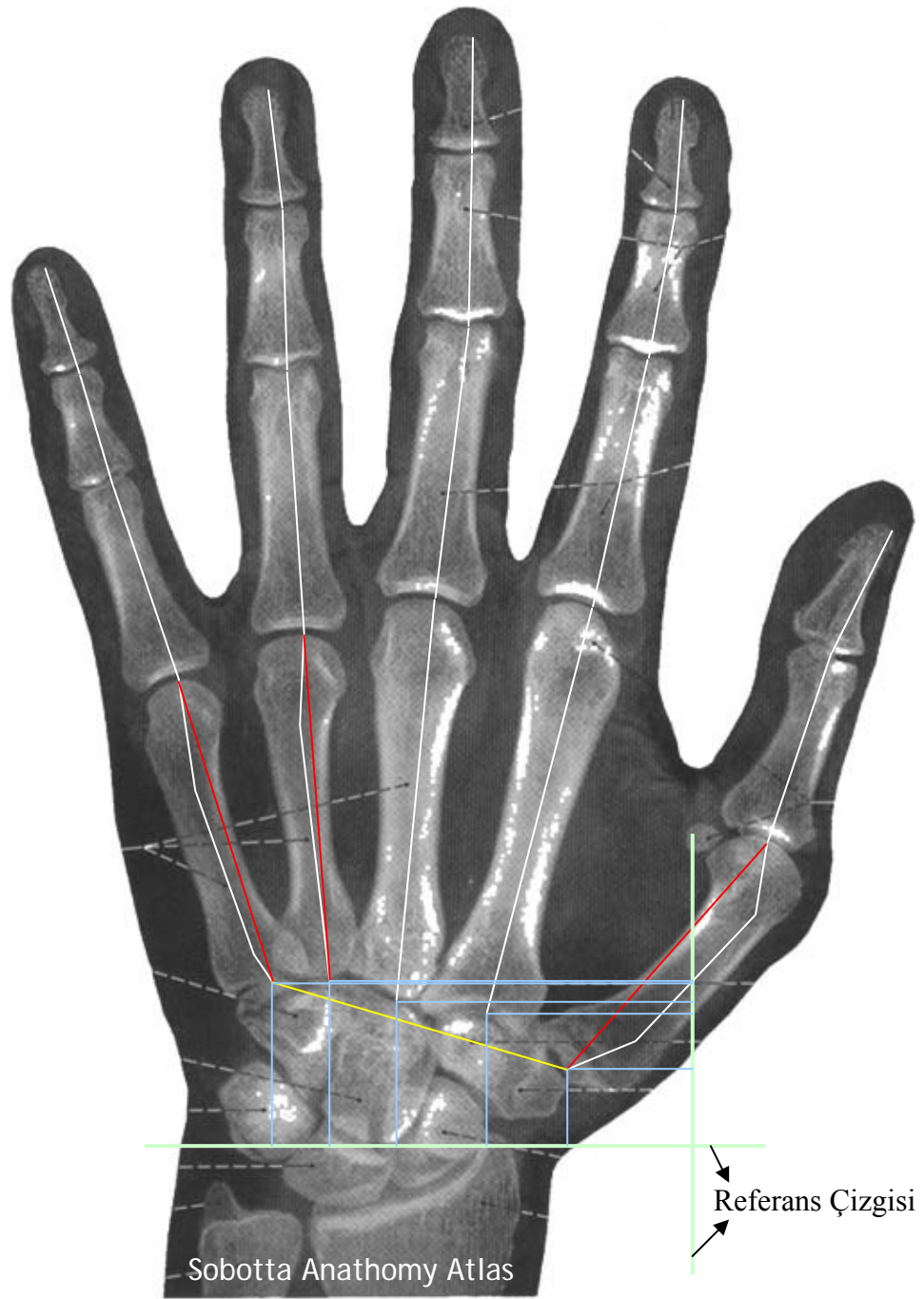


Sobotta Anatomy Atlas



Şekil 2.10. Eldeki kaslar ve tendonlar

2.6. Ölçümler



Şekil 2.11. El röntgen filminden ölçülerin alınması

Kemik Boyutları (yukarıdan aşağıya)

Tablo 2.1. Serçe parmak

Yükseklik	Genişlik	Uzunluk	Açı
1,81	0,59	1,904	
1,88	0,57	1,965	
3,35	1,41	3,635	
5,17	1,64	5,424	72,40 _\

Tablo 2.2. Yüzük parmağı

Yükseklik	Genişlik	Uzunluk	Açı
2,03	0,24	2,044	
2,75	0,08	2,751	
4,51	0,30	4,520	
5,96	0,46	5,978	85,59 _\

Tablo 2.3. Orta parmak

Yükseklik	Genişlik	Uzunluk	Açı
1,99	0,02	1,990	
2,94	0,06	2,941	
4,65	0,58	4,686	
6,92	0,66	6,951	84,55 _\

Tablo 2.4. İşaret parmak

Yükseklik	Genişlik	Uzunluk	Açı
1,95	0,14	1,955	
2,46	0,46	2,503	
4,26	0,95	4,365	
6,99	1,83	7,226	75,33 _/

Tablo 2.5. Başparmak

Yükseklik	Genişlik	Uzunluk	Açı
2,09	1,04	2,335	
3,26	1,10	3,440	
3,88	3,45	5,192	131,64 _\

BÖLÜM 3. MEKANİK ARAŞTIRMA

3.1. Giriş

Tezde şimdiye kadar, mekanik yapının tasarımı için gerekli anatomik araştırma yapılmıştır. Bu araştırmadan, oluşturulacak yapının fiziksel şekilleri hakkında bilgi edinildiği gibi, aynı zamanda hareket kapasiteleri ve gerekli güçler hakkında da bilgi edinilmektedir. Bu aşamada gerek sistemin hızını belirlemek bakımından, ki bu sistemin aşınması üzerinde büyük bir etki sahibi olacaktır, gerekse oluşabilecek kuvvetin belirlenmesi açısından, kas sistemlerinin belirlenmesi ve yine uygun malzemenin seçilmesi gerekmektedir. Tezde, bu yapılardan seçim aşamasında tüm bu yukarıda sayılanların yanında, kolay işlenebilirlik ve ucuz maliyet konuları esas alınmıştır. Bu insansı yeteneklere sahip bir prototipin, mümkün olduğunca kolay ve masrafsız hazırlanabilmesi içindir. İleride kullanım aşamasına gelindiğinde, kullanım alanına göre, uygun malzeme seçimi yapılmalıdır.

Burada ilk olarak, kemik ve eklem yapılarının nasıl oluşturulması gerektiği kararı verildi. Sonra kemik ve eklemlerin oluşturulacağı metal seçimi yapıldı. Olası malzemeler belirlendikten sonra, bunlara göre uygun kas yapısı seçildi. Sonra da bütün bu seçimlere göre tasarıma geçildi. Tasarımda Pro-Engineer Wildfire 2.0 kullanıldı.

3.2. Kemik Yapısı İçin Uygun Malzeme Seçimi

Kemik yapısında kullanılmak üzere metaller ve plastikler; kolay işlenebilirliği, dayanıklılığı, esnekliği ve maliyetleri yönünden araştırıldı. Yüzeysel olarak yapılan incelemeler sonucunda metallerden alüminyumun kolay işlenebilirlik açısından en uygun metal olduğuna; kestantidin de plastiklerden en uygun malzeme olduğuna karar verildi. Burada yapılan araştırmada malzemelerin yapısal özelliklerinin yanı

sıra kolay bulunabilmeleri de göz önüne alındı. Tezde araştırma süreci kısıtlı olduğundan ve de uzmanlık alanına girmediğinden, bu konu derinlemesine araştırılamamıştır. İleride kullanım aşamasına geçilmesi durumunda; uzmanlar, kullanım sahasına göre, uygun malzeme seçimini yapacaklardır.

3.2.1. Alüminyum

Alüminyum (veya aluminyum, Simgesi Al). Gümüşümsü renkte sünek bir metaldir. Atom numarası 13 tür. Doğada genellikle boksit cevheri halinde bulunur ve oksidasyona karşı üstün direnci ile tanınır. Bu direncin temelinde pasivasyon özelliği yatar. Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup dünya ekonomisi içinde çok önemli bir yeri vardır. Alüminyumdan üretilmiş yapısal bileşenler uzay ve havacılık sanayii için vazgeçilmezdir. Hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri gerektiren taşımacılık ve inşaat sanayiinde geniş kullanım alanı bulur.

Alüminyum, yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renktedir. Bu renk, havaya maruz kaldığında üzerinde oluşan ince oksit tabakasından ileri gelir. Alüminyum, zehirleyici ve manyetik değildir. Kıvılcım çıkarmaz. Yoğunluğu, çeliğin veya bakırın yaklaşık üçte biri kadardır. Kolaylıkla dövülebilir, makinede işlenebilir ve dökülebilir. Çok üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır.

Dünyadaki kullanımı, hem miktar hem de değer olarak demirden sonra gelir. Saf alüminyumun çekme dayanımı düşük olmakla birlikte, bakır, çinko, magnezyum, manganez, ve silisyum gibi pek çok elementle alaşımlandırılarak mekanik özellikleri geliştirilebilir. Yüksek dayanım/ağırlık oranlarından ötürü alüminyum alaşımları, uçak ve uzay araçlarının vazgeçilmez bileşenleridir.

Kullanım alanlarından bazıları; ulaşım (otomobil, uçak, kamyon, tren vagonları, deniz araçları, vs.), ambalaj (alüminyum kutular, folyolar, vs.), su arıtma, İnşaat (cam, kapı, duvar, bina, vs.), dayanıklı tüketim aletleri (cihazlar, mutfak araç gereçleri, vs.), elektrik iletim hatları ve makine imalatı olarak sıralanabilir[4].

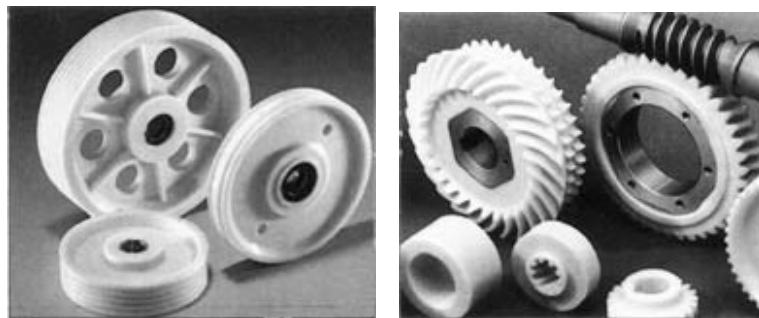
3.2.2. Kestamid

Kestamid, Döküm Poliamid, Döküm Naylon adları ile de tanımlanır. Üstün mekanik, fiziksel, kimyasal ve elektriksel özelliklerden dolayı her türlü sanayide çok kullanılan bir mühendislik plastiğidir. Darbe ve yorulma dayanımı iyi, aşınma mukavemeti yüksektir. Isı dayanımı iyi, sürtünme katsayısı düşüktür. Muhtelif makine parçaları ve plastik dişli ve yatak yapımında kullanılır.



Şekil 3.1. Ketamid kasnak, dişli ve yataklar

Üretimine özgü teknik ve metallerin mekanik dayanımlarından yararlanarak göbeği çelik burçlu dişli, makara, karıştırıcı pervanesi yapmak veya çelik milli naylon silindir üretmek mümkündür. Bu ve benzeri çelik takviyeli ketamid makine aksamı; kağıt, tekstil, kimya, matbaa ve gıda sanayisinde yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır.



Şekil 3.2. Kestamid örnek uygulamalar

Kestamid; hafif oluşu, korozyona, darbeye, aşınmaya dayanıklılığı, yağsız ve sessiz çalışabilmesi nedenleri ile döner ve kayar hareketli makine parçalarının ve ekipmanların yapılmasında demir, çelik, alüminyum, bronz ve birçok plastiğin yerini almıştır.

Üretim tekniği her ölçü ve miktardaki yatak, dişli, aşınma plakası ve makara gibi mamullerin üretimini sağlaması bakımından son derece ekonomiktir.

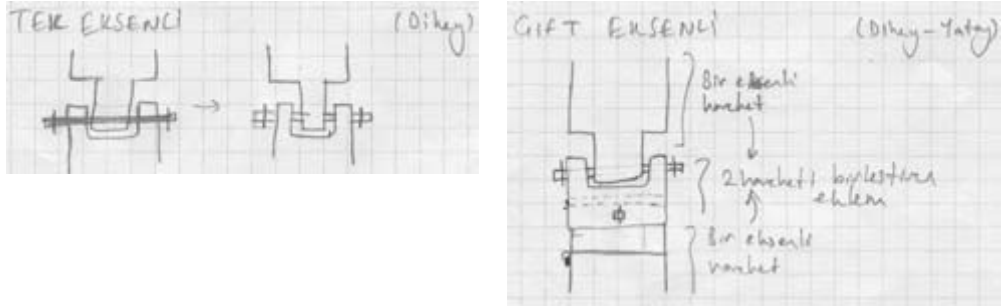
Kestamid, kimyasal yönden bir Nylon türü olmakla beraber belli ölçüde (crosslinked) çapraz bağlı moleküler yapısı nedeni ile daha üstün bazı özelliklere sahip bir poliamid türüdür. Poliamidler üstün mekanik, fiziksel, kimyasal ve elektriksel özelliklerden dolayı sanayide en çok kullanılan mühendislik plastikleridir. Çok yüksek molekül ağırlığı, yüksek kristal yapı çapraz bağlara sahip olma özelliklerinden dolayı sert, aşınmaya ve bükülmeye dayanıklı sağlam bir plastiktir. Metal ve ağaç işleme tezgahlarında kolaylıkla işlenebilir[5].

Tablo 3.1. Üretici firma kestamid fiziksel özellik tablosu

ÖZELLİKLER	TEST METODU (DIN)	BİRİM	DEĞER
YOĞUNLUK	53479	gr/cm ³	1.15
SÜRTÜNME KATSAYISI	POLİKİM		0.15
BASMA DAYANIMI	53454	Kg/cm ²	1100
SERTLİK	53505	Shore D	85
DARBE DAYANIMI	53453	KJ/cm ²	Kırılmaz
ÇEKME DAYANIMI	53455	Kg/cm ²	800
KOPMA UZAMASI	53455	%	40
DİELEKTRİK DAYANIMI	53481	KV/mm	30
ERGİME NOKTASI	53736	°C	220
MAKSİMUM KULLANIM SICAKLIĞI	SÜREKLİ °C		+ 120
	KISA SÜRELİ °C		+ 160

3.3. Eklem Yapısı Seçimi

İnsanda eklemler iki kemik arasındaki yapılardır. Bu yapılar birbirlerine, bağ doku ve kas gibi yapılarla bağlanırlar. Günümüzde gelişen teknoloji ile bu yapıların oluşturulması mümkün olmaya başlamıştır. Fakat bu yapıların gerçekleşmesi çok maliyetli olacaktır. Bunun yerine prototip oluştururken daha basit sistemlerin kurulması tercih edilmiştir. Bunun için mafsal, menteşe yapısı seçilmiştir. Bu yapılarla tek eksenli hareket rahatlıkla oluşturulmuştur. Çift eksenli hareket ise iki mafsalın birleştirilmesiyle oluşturulmuştur.



Şekil 3.3. Eklem yapılarının ön çizimleri

Yukarıdaki Şekillerde de görüldüğü gibi bu tarz bir eklem yapısı prototipin her türlü hareket kabiliyetine yanıt vermektedir. Tek eksenli hareketlerde tek eksenli eklem yapısı, çift eksenli hareketlerde ise birbirine çapraz bağlanmış 2 adet tek eksenli eklem yapısı kullanılmıştır. Burada önemli olan husus çift eksenli ekleme, mafsalların birbirlerine yakın olmasıdır. Bunları mümkün olduğunca birbirlerine yaklaştırmak eklemin hareket kalitesini arttıracaktır.

3.4. Kas ve Tendon Yapıları Seçimi

Bu yapılar oluşturulmak istendiğinde birçok olasılıkla karşılaşılır. Prototip oluşturma aşamasında, amaç, sadece hareket kapasitesine yaklaşmak olduğundan; bu olasılıklardan en basit gerçekleştirilebilecek olan yapı seçilmiştir.

Yapılabilecek sistemlere örnek olarak, pinomatik veya hidrolik kas yapıları verilebilir. Bunun yanında, teknolojinin gelişimine paralel olarak, her geçen gün çok daha performanslı sistemler bu konuya da uyarlanabilecek duruma gelmektedir. Örneğin nano teknoloji sayesinde, carbon molekülleriyle oynanarak, hidrojen ve alkolle çalışan yapay kas üretilmiştir[6]. Henüz pratik olarak uygulamaya geçmiş olmasa da; bu kas yapılarının gelecekte insansı robot üretiminde büyük bir rol oynayacağı kesindir.

Hidrolik ve pinomatik kas yapıları incelendiğinde bunların birbirlerine çok yakın yapılar olduğu rahatlıkla fark edilir. Temel çalışma mantıkları aynıdır. İki sistemde de kas torbaları şişirilerek kasın boyunun kısalması hedef alınmıştır. İlk bakışta bu sistemin insanda bulunan kas sistemine çok yakın olduğu düşünülse de aslında bu büyük bir yanılgıdır. İnsanda kasın kısalması esnasında da kas şişmektedir. Fakat bu şişme hücreler içindeki yapıların birbirlerine yaklaşmalarından kaynaklanmaktadır. Bu da kasın, kasılma anında dayanıklılığını maksimum seviyeye getirmektedir. Halbuki pinomatik ve hidrolik kaslarda bu mantığın tersine kasın yapıldığı malzemenin şişirilmesi esas alınmıştır. Bu da malzeme üzerindeki gerilimi arttırmakta ve de dayanıklılığını azaltmaktadır. Her ne kadar güç gerektirmeyen uygulamalarda, sistem faydalı gibi gözükse de, bu aslında üzerinde önemle durulması gereken bir konudur.



Şekil 3.4. Shadow Robot Company tarafından üretilmiş hava kasları

Pinomatik ve hidroliği kendi içinde karşılaştırdığımızda da hidrolik sistemlerin daha üstün sistemler olduğunu gözlemleriz. Bunun nedeni yağın hava gibi sıkışmamasıdır. Havanın basınca göre hacmi değişmekte bu da sistemlerin kararsızlaşmasına neden olmaktadır. Yağda ise böyle bir durum yoktur. Fakat bu sistemler de, kas üretimi açısından bakıldığında, düşünüleceği gibi randımanlı çalışmayacaktır. Bunun nedeni

ise yukarıda anlatılan hava kaslarının yapımında kullanılan malzemelerdeki esnemelerdir. Malzeme elastik bir yapıya sahip olduğundan, hassa pozisyonlama yapmak bu sistemle de zor olacaktır. Ama tabii ki doğru olan denemelerden ve araştırma geliştirme çalışmalarından sonra bu konu hakkında yorum yapmaktır. Tüm dezavantajlarına rağmen, günümüz teknolojisi ile ideal yöntemin hidrolik sistemler olduğuna karar verilse de; tezde, sınırlı bütçeden ve kısıtlı süreden dolayı bu sistemler seçilmemiştir. Bu sistemlerin geliştirilmesi çok uzun ve masraflı bir süreçtir.



Şekil 3.5. Örnek bir insansı robot tasarımı

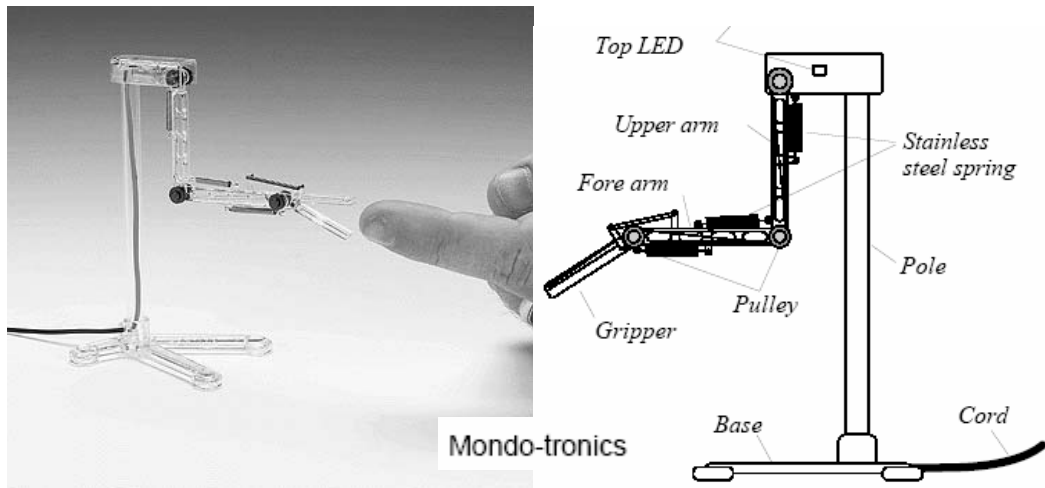
Teknolojik olarak yapılabirlik araştırması yapıldığında, sayılan yöntemlere ilave olarak elektrik verildiğinde kısalan teller de mevcuttur [7]. Fakat bu teller hem yüklenmeye gelememektir. Hem de tepki süreleri çok uzundur. Ayrıca ömürleri de kısadır.

Ayrıca bir diğer dezavantajı da ısınmasıdır. 60-70° C arasında çalışmaktadırlar. Yapı olarak diğer metallere farklıdır. Sıcaklıkları arttıkça, metallere aksine, boyları kısalır. Zaten çalışma mantıkları da bu kanuna dayanır. Tepki zamanlarının uzun olması da soğuma sürelerinin uzun olmasındandır. Bu harici bir soğutma sistemiyle

aşılacak bir sorun gibi görünse de, pratikte yapılarının bozulmasına neden olduğundan ömrünü kısaltmaktadır. Tüm bu sayılan nedenlerden dolayı kullanılması, bu aşamada uygun görülmemiştir.



Şekil 3.6. Muscle-Wire

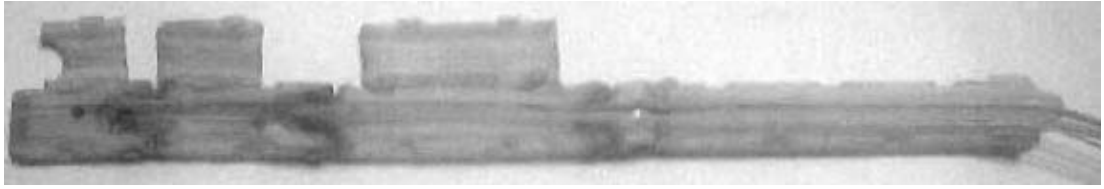


Şekil 3.7. Örnek muscle-wire uygulaması

Burada kullanılacak bir diğer yapı ise ip-motor sistemidir. Bu sistem ipin hareket noktalarına bağlandığı ve hareketin de ipin çekilmesiyle oluştuğu bir sistemdir. İpi çekmek için motor kullanılmıştır. Motor miline bağlı kasnağın çevresine oranla ip kasnağa sarılmaktadır. Tez de gerçekleştirme açısından en kolay yapı budur. Motor

olarak step motor seçilmiştir. Motor çeşitleri ve yapıları elektronik araştırma kısmında anlatıldığından burada değinilmeyecektir.

Bu aşamada kullanılacak ip çeşidi çok fazladır. İlk olarak akla misine kullanmak uygun gibi gelse de esnemesinden dolayı, hesapları zorlaştıracığından ve kararlılığı azaltacağından, burada kullanılması uygun görülmemiştir. Onun yerine tekstil sektöründe örme makinelerinde yaygın olarak kullanılan ve esnemeyen bir ip türü kullanılmıştır. Bu ipin en büyük özelliği esnememesidir. Bu sayede hassas pozisyonlama yapılabilmektedir. Büyük bir dezavantajı ise çok çabuk aşınmasıdır. Prototip yapım aşamasında bu sorun da yağlama yapılarak engellenmeye çalışıldı.



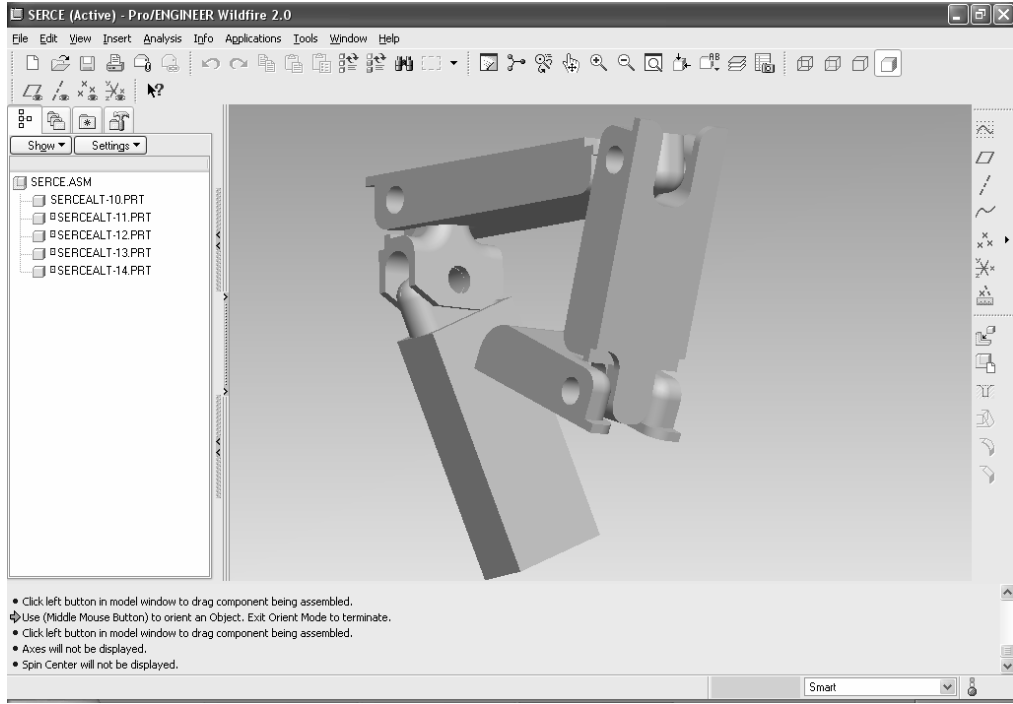
Şekil 3.8. Yapılan prototip

Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi bu konuda da en uygun seçim, kullanım alanına göre uzmanların yapacağı seçim olacaktır. Prototip oluşturmada ip-motor yapısının seçilmesindeki mantık hem hareket kapasitesi olarak yetenekli olması, hem kolay kontrolü, hem de ucuz maliyetindedir.

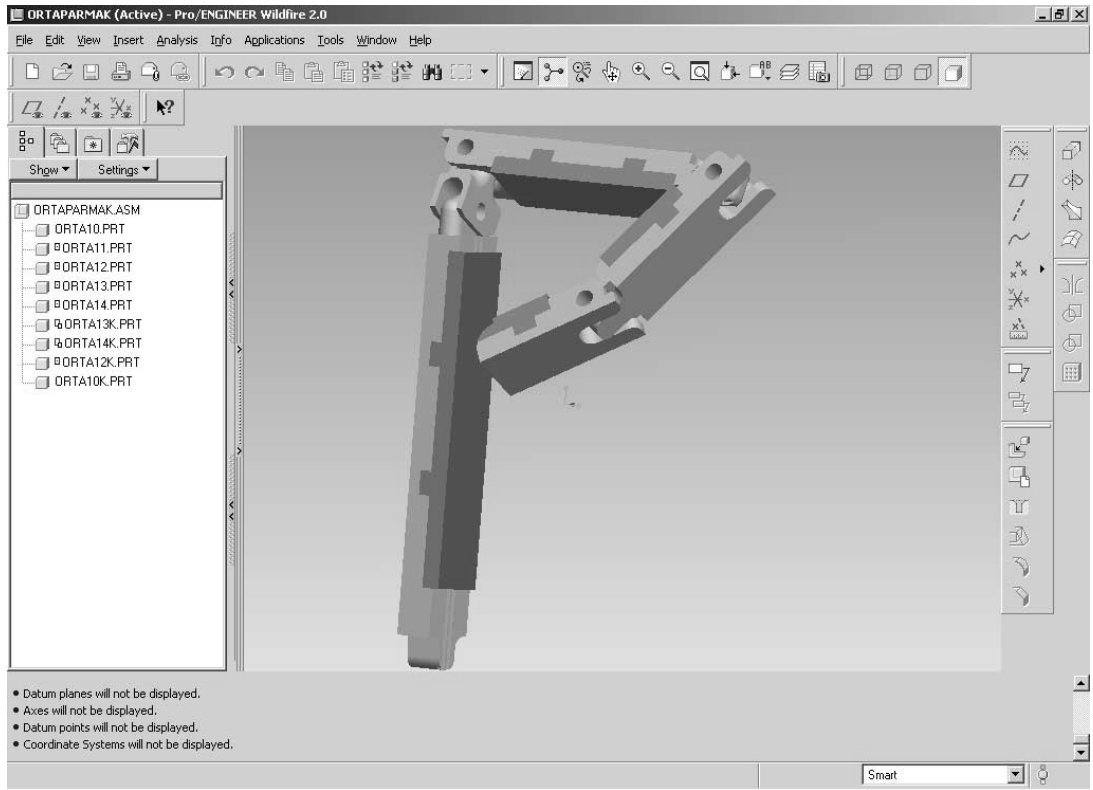
3.5 Prototipin Tasarımı

Prototip çiziminde Pro/Engineer Wildfire 2.0 kullanıldı. Çizim aşaması bu tezin en uzun süren aşamalarından biridir. Prototip yapımından defalarca tekrar bu aşamaya dönülüp görülen eksikler giderilmiş ve tekrar prototip yapımına geri dönmüştür. Yani aslında bu aşama prototip tam manasıyla tamamlanana kadar sürmüştür.

İlk çizimlerde sadece hareket kapasiteleri hesaplanmış ve görülmek istenmiştir.



Şekil 3.9. Geri açılma sınırlayıcıları eklenmiş çizim



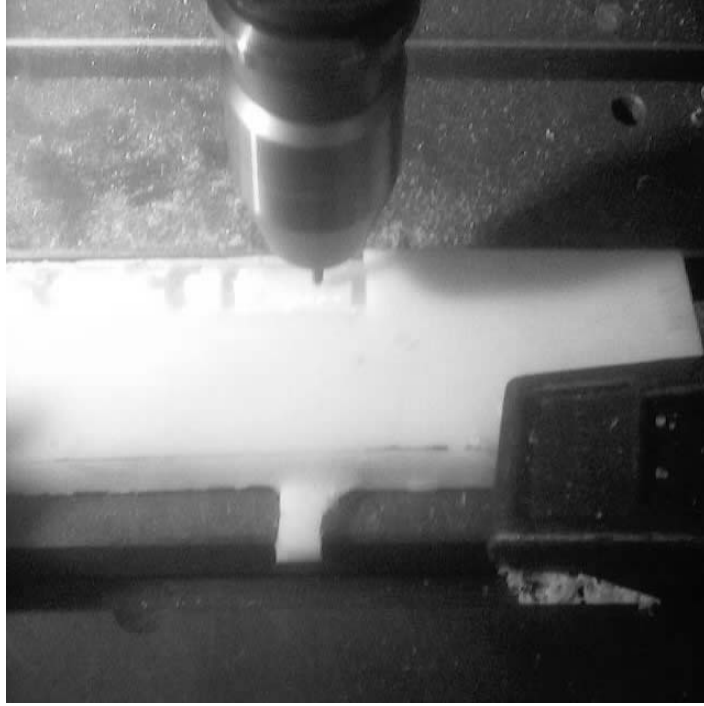
Şekil 3.10. Son Tasarım

Son çizimlerle prototip son halini almıştır. Tüm hareket kapasiteleri Pro-Engineer Animation uygulaması kullanılarak gözlemlenmiştir. Çıkan sonuçlara göre eklem yapıları tam manasıyla oluşturulmuştur. Kemik ve eklem uzunlukları mümkün olduğunca ortalama insan uzuv değerlerine yaklaştırılmıştır. Böylece insan hareket kapasitesi mümkün olduğunca yakalanmaya çalışılmıştır. Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi bu tezin nihai amacı insan hareket kapasitelerine mümkün olduğunca yakın olan bir el tasarlamak ve onu temsilen bir parmağı hayata geçirmektir.

Şimdiki aşama ise prototipin yapılmasıdır. Prototipin yapılmasında dik işleme merkezi kullanılmıştır. Çizimler Powermill programı kullanılarak CNC kodlarına çevrilmiştir. Sonra dik işleme merkezine aktarma programı ile aktarılmıştır. Tezin genel akışıyla alakalı olmadığı için Pro Engineer, Powermill ve de aktarma programlarına burada değinilmemiştir. Aşağıda işleme anında çekilmiş olan resimler ve oluşturulmuş prototipin montajlı hali verilmektedir. Prototip parmak ve motorlar metal bir levha üzerine ve de bu levha ve oluşturulmuş olan devreler de bir kontrplak parçası üzerine monte edilmiştir.



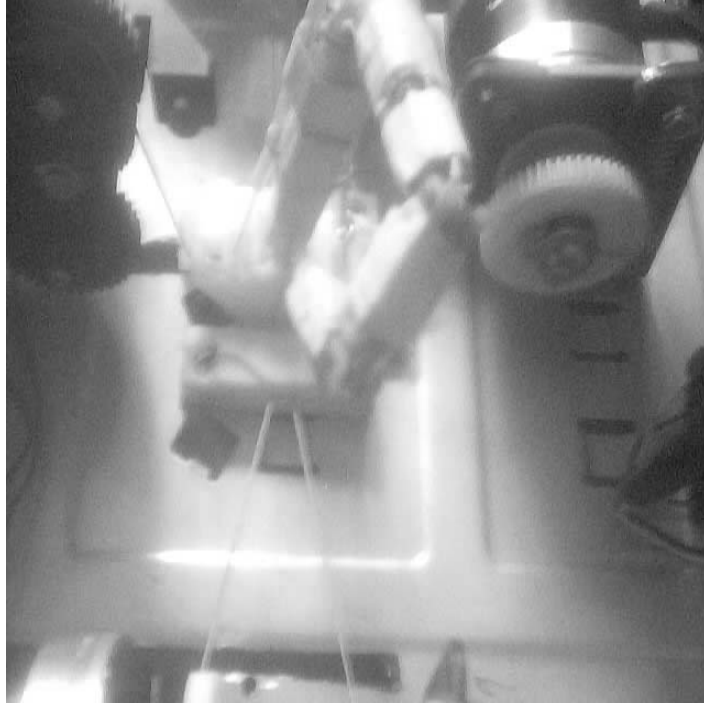
Şekil 3.11. Parçanın dik işlemede işlenmesi



Şekil 3.12. Parçaya üzerinde bulunan ip kanallarının açılması



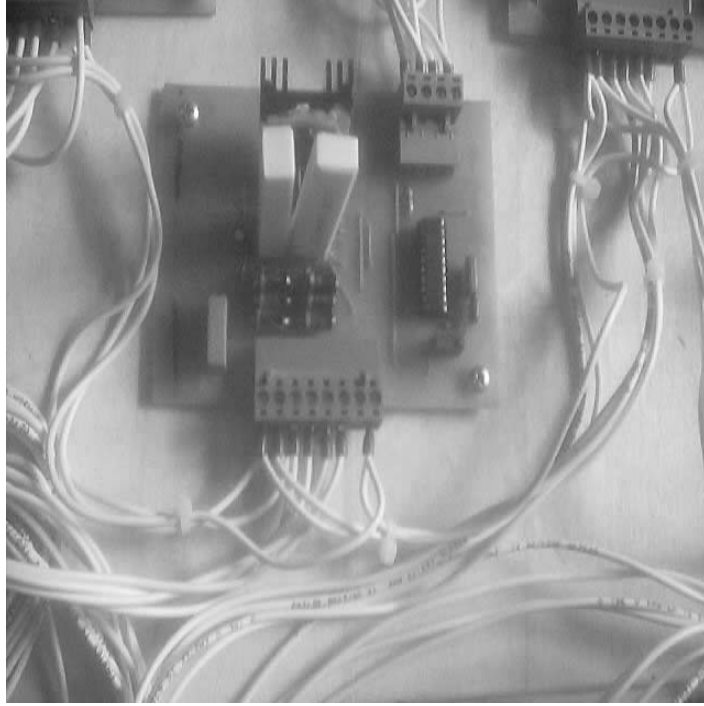
Şekil 3.13. Parçaya deliklerinin delinmesi



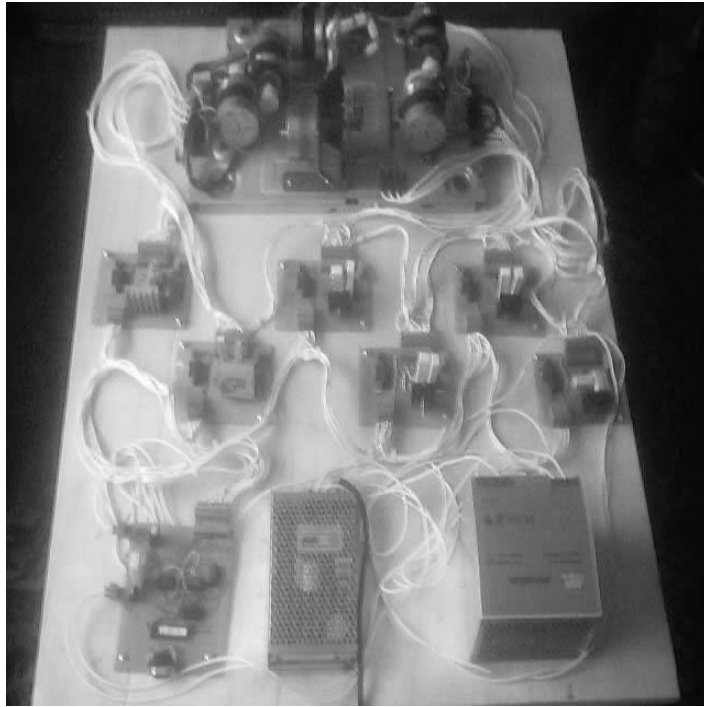
Şekil 3.14. Parmak prototip



Şekil 3.15. Parmak ve motorların sac levhaya montajlanmış hali



Şekil 3.16. Yapılan step motor sürme devresi



Şekil 3.17. Tüm parçaların kontrol plak üzerine montajlanmış hali

BÖLÜM 4. ELEKTRONİK ARAŞTIRMA

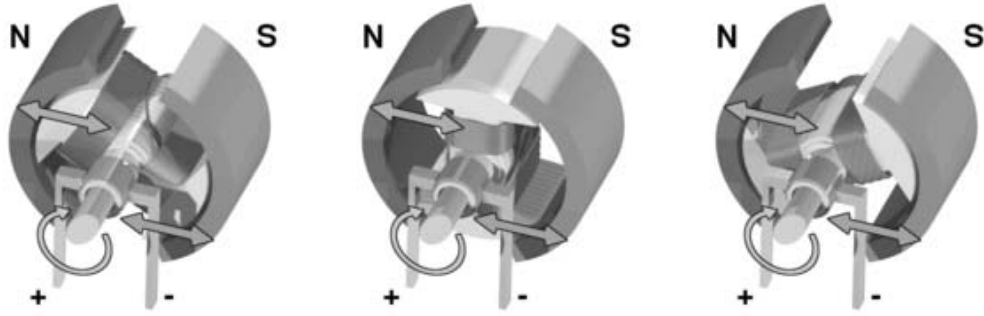
4.1. Giriş

Bu bölümde kas yapılarını oluşturacak olan step motorlar ve sürücüleri araştırılmış ve hakkında bilgi sahibi olmak amaçlanmıştır. Ayrıca PIC hakkında da bilgi verilecektir.

4.2. Elektrik Motorları

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren aygıtlara elektrik motorları denir. Her elektrik motoru biri sabit (Stator) ve diğeri kendi çevresinde dönen (Rotor ya da Endüvi) iki ana parçadan oluşur. Bu ana parçalar, elektrik akımını ileten parçalar (örneğin: sargılar), manyetik akıyı ileten parçalar ve konstrüksiyon parçaları (örneğin: vidalar, yataklar) olmak üzere tekrar kısımlara ayrılır[8].

Elektrik motoru bir mıknatıs, bu mıknatıs içinde eksen etrafında dönebilen sargılar ile uçlarının bağlı olduğu bileziklerden ve bu bileziklerin temas halinde bulunduğu fırçalar ve üreteçten oluşmuştur. Mıknatıs kutupları arasında yer alan sargıların bulunduğu çerçevenin dönmesinin nedeni, sargılardan akım geçince sargıların mıknatıslanmasıdır. Sargıların N kutbu ile mıknatısın S kutbu aynı hizaya gelinceye kadar döner. Bu noktada akımın girdiği bilezik değişir. Akım ters yönden sargılara girer. Böylece sargıların kutupları değişir. Aynı isimli kutuplar (mıknatıs ve bobin kutupları) tekrar karşı karşıya gelerek itme kuvvetiyle çerçeveye döner.[9]



Şekil 4.1. Elektrik motoru bir tur

Doğru akım elektrik motorları; doğru akım elektrik enerjisini, mekanik enerjiye çeviren elektrik motorlarıdır. Faraday'ın bulduğu doğru akım motorlarının çalışma prensibi; "Manyetik alan içerisinde bulunan bir iletkenin elektrik akımı geçirilirse iletken hareket eder." şeklinde ifade edilebilir. N-S kutuplarından meydana gelen mıknatısın manyetik hatlarının yönünün N' den S' ye doğru olduğu kabul edilir. Diğer taraftan, bir iletkenin elektrik akımı geçerse bu iletkenin etrafında bir manyetik alan meydana gelir. Doğru akım motorlarının çalışma prensibi, mıknatısın ve üzerinden elektrik akımı geçen iletkenin etrafında meydana gelen manyetik hatların birbirini itmesi ile gerçekleşmektedir.[9]

Alternatif akım elektrik motorları ise; alternatif akım elektrik enerjisini, mekanik enerjiye çeviren elektrik motorlardır. Bu motorlarda manyetik döner alan oluşur. Bu da motorun içinde bulunan rotor olarak adlandırılan mile hareket verir. Böylece motorda dönme hareketi oluşur.

4.2.1. AC motorlar

Dalgalı (alternatif) akım motorları, gerek evlerde, gerekse sanayide en çok kullanılan elektrik motorlarıdır. Bu motorların küçük güçlerinin rotorlarında genel olarak sargı yoktur. Yalnız statorlarında sargı vardır. Alternatif akım motorlarının rotorlarında sargı görevini gören kısa devreli iletkenler bulunmaktadır. Küçük güçlü alternatif akım motorlarına kısa devre rotorlu motorlar da denilmektedir. Rotor ile stator arasında herhangi bir elektrik bağlantısı olmadığından bu motorlar daha arıza yapar.

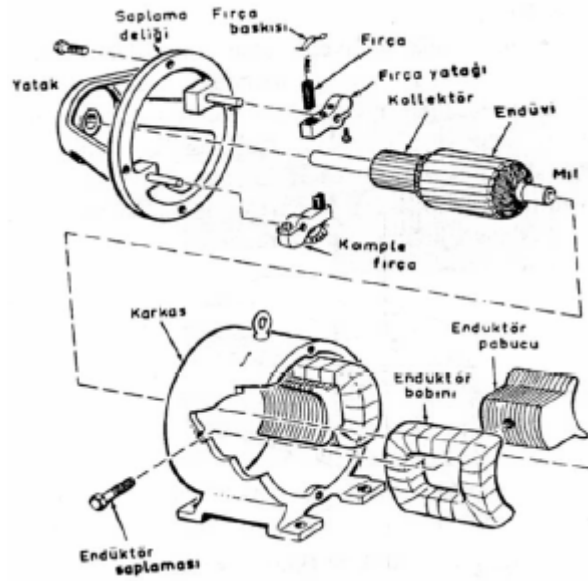
Alternatif akım motorları, çalıştırıldıkları tesise göre iki grupta incelenebilir: bir fazlı (monofaze) motorlar ve üç fazlı (trifaze) motorlar. Monofaze motorlar, 220 volt gerilimle çalışan motorlardır. Güçleri azdır. Trifaze motorlar, üç fazlı tesisatlardan alınan 380 volt gerilimle çalışan motorlardır. Motorların güçleri, bir fazlı motorların güçlerinden daha çoktur[10].

4.2.2. DC motorlar

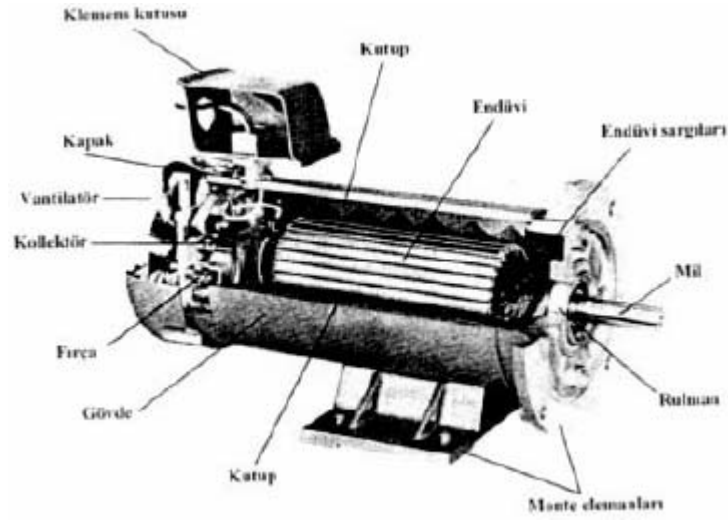
Hareketleri düzgün, kesin ve güçlüdür. Hızları kolaylıkla değiştirilebilir. Bu tip motorun en büyük kusuru, bir kolektörü akımla besleyebilmek için fırçaların kullanılması zorunluluğudur; fırçalar bu işi kolektöre sürtünerek gerçekleştirir, dolayısıyla da kolektörü hem aşındırır, hem de kıvılcım üretir. Bu nedenle doğru akım motorları tümüyle kapalı bir çerçevenin içinde bulundurulur ve içeriye toz veya nem girmesine izin verilmez. Akaryakıt deposu gibi patlama tehlikesinin bulunduğu yerlerde bu tip motorlar kullanılmaz. Buna karşılık, doğru akım motorlarının çok geniş bir çalışma düzenine sahip olma gibi bir üstünlüğü vardır. Bu motorların hızı, bağıl değer olarak 1 ile 300 arasında değişebilir, oysa aynı güçteki bir asenkron motorun çalışma aralığı üç kez daha dardır.

Doğru akım motorları endüktörün yapısına bağlı olarak elektromıknatıslı ve sabit mıknatıslı olmak üzere iki şekilde imal edilirler. Bu ikisi arasında endüktör haricinde yapı bakımından aynı özellikleri gösterirler.

Kısaca doğru akım motorlarının yapısı endüktör, endüvi, kolektör, fırçalar yataklar ve diğerleri olarak bahsedilebilir.



Şekil 4.2. Elektromıknatıslı doğru akım motorlarının parçaları



Şekil 4.3. Sabit mıknatıslı doğru akım motoru yapısı ve parçaları

Endüktör (Kutup), doğru akım motorlarında manyetik alanın meydana geldiği kısımdır. Endüktöre kutup da denilmektedir. Kutup uzunluğu yaklaşık olarak endüvi uzunluğuna eşittir. Endüktörler tabii mıknatıslarla yapıldığı gibi, kutuplara sargılar sarılarak, bu sargıların enerjilendirilmesiyle mıknatıslık özelliği kazandırılmış elektromıknatıslardan da yapılabilir.

Endüvi, gerilim indüklenen ve iletkenleri taşıyan kısımdır. Endüvi, kalınlığı 0,30-0,70 mm arasında değişen dinamo saclarından yapılır. Dinamo sacları istenen şekil ve ölçüde preslerle kesildikten sonra tavllanır ve birer yüzeyleri yalıtılır. Yalıtma işleminde kağıt, lak kullanılır ve oksit tabakası oluşturulur. Endüvi sacları üzerine, iletkenleri yerleştirmek için oluklar açılır. Bu olukların şekil ve sayıları makinenin büyüklüğüne, sarım tipine, sarım şekline ve devir sayısına göre değişir. Oluklar, küçük güçlü makinelerde yuvarlak veya oval büyük güçlü makinelerde ise tam açık olarak yapılırlar.

Kolektör, doğru akım motorlarında endüviye uygulanacak gerilimin iletilmesini kolektörler sağlar. Kolektör dilimleri, haddeden geçirilmiş sert bakırdan pres edilerek yapılır. Bakır dilimleri arasına 0,5-1,5 mm kalınlığında mika veya mikanit yalıtkan konur. Bu kalınlık kolektörün çapına ve komşu dilimler arasındaki gerilim farkına göre değişir. Kolektör dilimleri ile bunlara temas eden fırçalar bağlama elemanlarını teşkil ederler.

Fırçalar, doğru akım motorlarında dış devredeki akımı endüviye iletebilmek için fırçalar kullanılır. Doğru akım makinelerinde aşınma ve iyi komütasyon elde etmek için saf bakır fırça kullanılmaz. Fırçalar makinenin akım şiddeti ve gerilimine göre sert, orta sert ve yumuşak karbon veya karbon alaşımından yapılır. Mümkün olduğu kadar bir motorda aynı cins fırçalar kullanılmalı ve fırça boyları da eşit olmalıdır. Fırçalar dik ve yatay olarak yapılırlar.

Yatakların görevi motorun hareket eden kısımlarının mümkün olduğu kadar az kayıpla gürültüsüz ve bir eksen etrafında rahatça dönmesini sağlamaktır. Doğru akım motorlarında bilezikli yataklar ve rulmanlı (bilyalı ve makaralı) yataklar kullanılır.

Doğru akım motorları, uyarı akım sargısının endüvi ile bağlantı türlerine göre sınıflandırılırlar: şönt motorları, seri motorlar, sabit mıknatıslı motorlar ve seri/şönt motorlar.

Şönt motorları uyarı akım sargısının endüviye paralel olduğu motorlardır. Bu motorlarda devir sayısının ayarı yol-verici ve ayarlayıcı dirençler ile yapılır. Şönt

motorlar yüksüz ve yüklü durumlarda dıştan uyarmalı motorlar gibi bir karakter gösterir. Yani yüksüz durumda kendi başlarına devir yükseltmezler ve yük altında çok az devir yitirirler. Bu tür bir karakter elektroteknikte şönt bağlantı karakteri olarak tanımlanır. Şönt motorlar dıştan uyarmalı motorların uygulandıkları sahalarda kullanılmaktadır.

Seri motorlar, uyarı sargısı endüvi ile seri bağlandığı motorlardır. Bir alan ayarlayıcı direncin uyarı sargısına paralel bağlanması suretiyle ana alanı zayıflatarak devir sayısını yükseltme işlemi bu motorlarda uygulanmaz. Uygulansa bile çok enderdir. Seri motorlarda endüvi akımının tümü uyarı sargısından geçer. Bu nedenle endüvi akımı yükseldikçe uyarı akımı da yükselir ve bu oluşum özellikle motorun yol alması sırasında büyük olur. Seri motorların yol alma momentleri bütün diğer motorlardan büyüktür. Yüksüz olarak yüksek devire geçme sırasında endüvi akımı ve buna bağlı olarak uyarı akımı giderek düşer. Uyarı akımı ile birlikte uyarı alan şiddeti azalacağından devir sayısı yükselir. Seri motorlar yüksüz durumda giderek devirlerini yükseltir.

Sabit mıknatıslı motorlar, dıştan uyarmalı motorlar olarak da bilinir. Bu motorlarda uyarı sargısı endüvi ile bağlanmaz. Uyarı akımı bağımsız bir gerilim kaynağından sağlanır. Yol-verme ve devir sayısının düşürülmesi için, örneğin, bir yol-verme direnci ile endüvi gerilimi ayarlanır. Devir sayısının yükseltilmesi için ise, örneğin, bir alan ayarlı direnç ile uyarı akımı düşürülmektedir. Dıştan uyarmalı motorların güç etiketlerinde endüvi gerilimine paralel olarak uyarı gerilimi ayrıca verilmektedir. Uyarı sargıları yerine sürekli - mıknatısları bulunan motorlar bir tür dıştan uyarmalı motor sayılabilir. Dıştan uyarmalı motorlar üç fazlı motorlar gibi karakter gösterir ve bunlar yüksüz halde iken giderek devirlerini yükseltmezler. Yüklenme anında devir sayısında çok az bir değişiklik olabilir.

Compound motor ya da bileşke alanlı motor da denilen seri/şönt motorlarda ana kutuplar üzerine bir seri sargı ve bir şönt sargı oturtulmuştur. Devir sayısının ayarlanması yol verici ve alan ayarlayıcı dirençler üzerinden yapılır. Bileşkelendirilmiş bir motorda, seri sargının manyetik alanı ile şönt sargının manyetik alanı aynı yönde olacak şekilde seri sargı tertiplenmiştir. Bileşkelendirilmiş

motor yüksüz durumda bir şönt motor gibi bir tutum gösterir ve yüklenme anında devir sayısı fazlaca düşer. Çünkü yüklenme anında endüvi akımı yükselmekte ve buna bağlı olarak ana alanın manyetik akısı kuvvetlenmektedir. Seri sargının manyetik alanı şönt sargının manyetik alanını zayıflatacak şekilde seri sargı bağlanırsa, bu motor “karşı bileşkelendirilmiş” olur. Şayet dönme yönünü değiştirme işlemi sırasında bağlantılar yanlış yapılırsa, istenmeden bir bileşkeli motordan karşı bileşkeli bir motor oluşturulmuş olur. Bunun sonucu bileşke alan zayıflayacağı için, yüklenme anında devir sayısı yükselir. Karşı bileşkeli motorların daima kendi başlarına devir yükseltmeye karşı eğilimleri vardır, kararsız olduklarından uygulamada kaçınılmaktadır. Bir şönt motorda yardımcı bir sargı bulunuyorsa, bunlar seri/şönt motor gibi bir tutum gösterir. Bu tür motorlara yardımcı bir seri sargı döşenmesinin nedeni, yüklenme anında endüvi alanının ana alanı zayıflatması sonucu oluşan devir artışlarından kaçınabilmektir[10].

4.3. Step Motorlar

Step motorlar hakkında bu kısımda verilen tüm bilgiler [10] ile belirtilen kaynaktan alınmıştır.

Belirli bir adım açısı kadar adımlar halinde (örneğin: her $7,5^\circ$ için bir adım boyu) rotorun döndüğü motorlara adım motoru denilir. Adım frekansı (= bir saniyedeki adım sayısı) bu motorlarda 10000 Hz'in bir kaç katına çıkabilmekte ve devir sayıları dakikada 1000 devire kadar yükselebilmektedir.

Devir sayısı aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$n = \frac{\alpha \cdot f_a}{360^\circ}, \text{ Burada;}$$

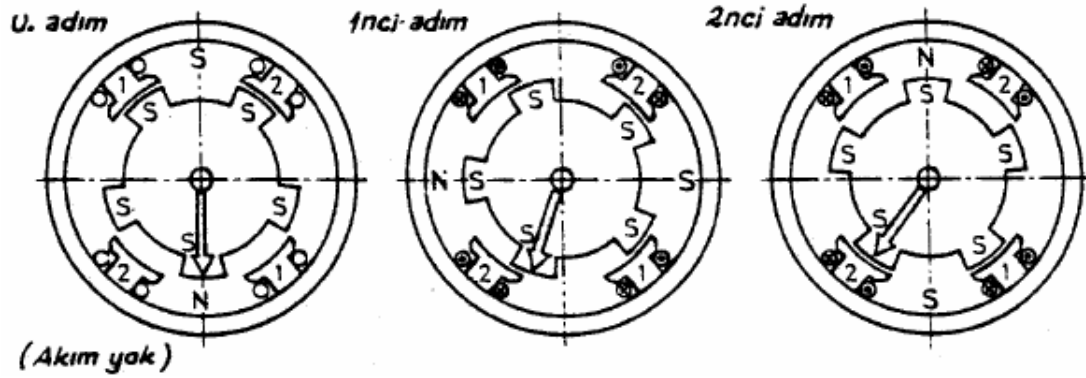
n = devir sayısı (dev./san.)

α = adım açısı ($^\circ$)

f_a = adım frekansı (Hz)

göstermektedir.

Adım motorlarının stator sargıları genellikle 4 parça sargıdan oluşur (Şekil 1-56). Bu sargılar mekanik ya da elektronik komuta şalteri üzerinden birbiri ardına ve belirli bir düzen içinde akım devresine sokulup çıkartılır. Yalnızca doğru akım ile çalışan adım motorlarında, sargıların bu değin bir tertip içinde uyarılması, statorda adımlar halinde dönen bir manyetik alan oluşturmaktadır.



Şekil 4.4. Adım motorunun çalışması

Adım motorunun rotoru, üzerinde çeneler bulunan bir sürekli mıknatıstır. Mil ekseninde sürekli mıknatıslandırılmış olan bu rotor, stator içinde en küçük manyetik direnci gösterecek şekilde durur. Bu nedenle motor sükunet durumunda iken sürekli bir tutucu momentinin etkisi altındadır. Bu tutucu moment işletme anındaki döndürme momentinden büyük olabilir.

4.3.1 Step motorun üstünlükleri

Step motorların özellikleri kısaca aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Hata yalnız step hatasıdır.

Motor bakımı kolaydır.

Tasarım maliyeti ucuzdur.

Otomatik kilitleme özelliğine sahiptir.

Yüke yeterli momenti sağlar.

Isınma gibi olumsuzluklardan meydana gelen zararlar azdır.

Hızı, programlama yoluyla ayarlanabilir.

Mikro bilgisayarlarla kolaylıkla kontrol edilebilir.

Çalışma sırasında hızı sabit kalır, değişmez.

Kullanım ömrü uzundur.

Step motorların birkaç genel karakteristiği ve geniş bir kullanım alanı bulmalarının nedeni aşağıdaki özellikleri taşımasındandır.

1. Step motorların açık çevrim davranışlarının ± 1 step doğruluk pozisyonuna sahip olmaları (rotorun açısal hızı yeterince küçük olduğundan hareket sırasında basamak kaybı olmaz.) Yani kesin açısal mesafe tanımlanırsa motorun dönmesi uygun sayıda steple (basamakla) kontrol edilebilir ve böylece mekanik sistemde milin hareketi yeterli ölçüde olur.

2. Step motorların yüke yeterli momenti sağlayabilmeleri

3. Step motorlar d.c. uyarmada geniş bir tutma torkuna sahiptirler. Yani step motorların rotor hareketi sabitken (otomatik kilitleme) özelliği vardır. Bu durumda rotor sadece, terminal gerilimi zamanla değiştiği sürece hareket eder.

Ayrıca bu özelliklerin yanında tasarımcıların, D.C. servo motor yerine step motorları seçmelerinin aşağıdaki avantajları vardır.

- Step motorların sayısal kontrollü sistemlerine uygun olması, dolayısıyla sayısal kontrol ve/veya bilgisayarlı uygulamaları mümkündür.

- Hata yalnız step hatasıdır.(Genellikle adım başına %5 den daha azdır.) Bu nedenle birimsizdir. Step motorların pozisyonlarında mükemmel doğruluğa sahip olmaları ve daha önemlisi hataları bir yerde toplamasıdır.

- Motorda açık-çevrim kontrolünün olması nedeniyle, takometre ve/veya encoderin motorda kullanılması gereksizdir.Buna bağlı olarak tasarımın maliyeti düşer. Feedback (geri besleme) ile mil pozisyonunun tayin edilmesi elimine edilir.

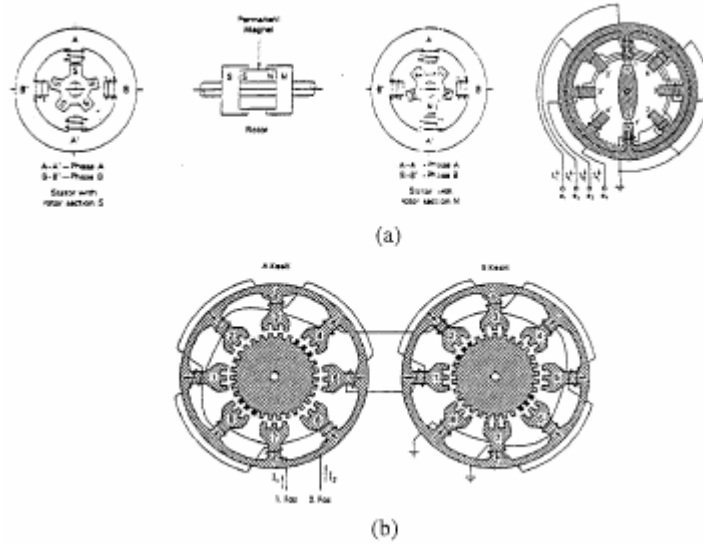
- Sayısal işareti analog işaret çevirmek gerektiğinden, bir ara birim veya sayısal kompüter elimine edilebilir.
- Motor yapısının basit ve kuvvetli olması genellikle motorda iki duruş pozisyonu olması, motor bakımını kolay ve kullanım süresinin uzun olmasını sağlar. Bu nedenlerle maliyet düşmüştür.
- Step motorların ısınma gibi olumsuzluklardan gelen zararları azdır.
- Motor, bir güç kaynağı ve motor cevabını (dikte eden) değerlendiren sürücü bir devre ile kontrol edilebilir.

Step motorlar robot teknolojisinde sıkça kullanım alanı bulmuştur. Ayrıca maliyetinin düşük olması D.C. servo motorlara karşı bir üstünlüğüdür. Step motorları kullanılmasının ikinci bir nedeni de tutma karakteristiğinin robotlarla bağdaşmasıdır. Motor sürücülerinde kullanılan genel güç kuvvetlendiricileri çıkışı kolektörden emitere kısa devre edilmiş bir transistördür. Bu da tüm D.C. geriliminin motor armatürüne uygulanmasına neden olur. Bir servo motor hareketi mekanik veya başka bir engelle karşılaşınca kadar devam eder ve sonuçta tehlikeli durum ortaya çıkabilir. Buna karşın , bir step motora uygulanan gerilim ile step hareketi veya tutma (durdurma) işlemi istendiğinde gerçekleşir. Yani step motor durdurmak istendiğinde bir hareket olamayacak ve servo motorun yol açtığı olumsuzluklar görülmeyecektir.

4.3.2. Genel yapısı

Step motor statorunun birçok kutbu (genellikle sekiz) vardır. Bunların polaritesi elektronik anahtarlar yardımıyla değiştirilir. Anahtarlama sonucunda statorun ortalama güney ve kuzey kutupları döndürülmektedir. Rotorun güney kutbu, statorun kuzey kutbu sıralıdır. Rotorun mıknatıslığı, bir sürekli mıknatıs veya dış uyarım metotlarıyla oluşturulabilir. Bu arada sürekli mıknatıs oluşacaktır. Adımları (stepler) vasıtasıyla ortalama stator alanı döner ve rotorda bunu benzer (adımlar) stepler arasında takip eder. Daha iyi bir seçicilik elde etmek için rotor ve stator üzerine

küçük dişler yapılmaktadır. Bu dişler birbirleriyle temas etmemelidir. Fakat düşük redüktanslı bölümlerde işe yarayabilir.



Şekil 4.5. Tipik step motor yapıları

- Stator ve rotorları tek parçadan oluşan step motor yapıları
- Stator ve rotorları üzerine dişliler yapılmış step motor yapıları

4.3.4.Çalışma prensibi

Step motora giriş pals uygulandığı zaman belli bir miktar döner ve durur. Bu dönme miktarı motorun yapısına göre belli bir açı ile sınırlandırılmıştır. Step motorda rotorun dönmesi girişe uygulanan pals adedine bağlı olarak değişir. Girişe tek bir pals verildiğinde rotor tek bir adım hareket eder ve durur. Daha fazla pals uygulanınca pals adedi kadar adım hareket eder. Bütün step motorlarının çalışma prensibi bu şekildedir.

4.3.5 Terimler

Step açısı (SA), derece cinsinden açısal bir dönme olup, sargı polaritesinin her bir değişiminde mil döner. Bu tek bir giriş darbesi ile sağlanır. Derece / step veya sadece derece olarak ifade edilir.

Dönme başına step (SPR), 360°'lik bir tam dönme için gerekli olan toplam step sayısını gösterir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$SPR = 360^\circ / SA$$

Saniye başına step (SPS) : Motorun gittiği 1 saniyedeki açılmal step sayısı, A.C. ve D.C. motorların dakika başına dönme hızı ile karşılaştırılabilir.

$$SPS \frac{SPR(r/min)}{60} \text{ veya } \omega = 2\pi(SPS / SPR) \text{ rad/s.}$$

Step doğruluğu, pozisyon doğruluğu hassasiyeti olup genellikle tek step açısının yüzdesi olarak ifade edilir.

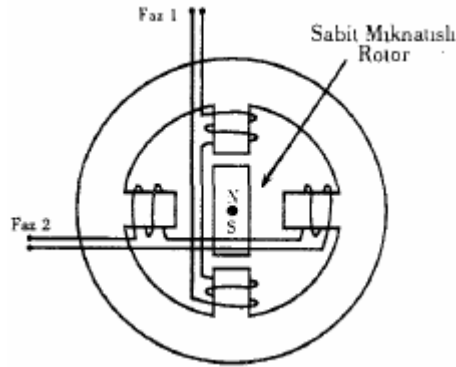
4.3.6. Step motor çeşitleri

Sabit mıknatıslı step motorlar (PM), değişken relüktanslı step motorlar (VR), hybrid step motorlar, hidrolik step motorlar, lineer step motorlar olmak üzere sıralanabilir.

4.3.6.1. Sabit mıknatıslı step motor

En basit olarak sabit mıknatıslı step(adım) motoru; oyuklu, dört kutuplu stator içinde dönen, iki kutuplu sabit mıknatıslı rotordan meydana gelmiştir. Bu motorun çalışması temel çalışma prensibinde açıklandığı gibidir.

Birinci sargıya (Faz 1 e) D.C. gerilim uygulandığında rotor, bu sargıların karşısında duracak şekilde hareket eder. Birinci sargı gerilimi kesilip ikinci sargıya (Faz 2 ye) gerilim uygulandığında rotor, bu kez ikinci sargıların karşısında olacak şekilde döner ve durur. Bu şekilde 900 lik dönme tamamlanmıştır. (Birinci adım = 3600: 4 = 90°) Dönmenin devamı için bu kez faz 1 e gerilim uygulamalıyız. Ancak uygulanacak bu gerilim öncekinin tersi yönünde olmalıdır. Bu dönüşün aynı yönde olması için şarttır. Çünkü faz 1 e gerilim değiştirmeden uygulaysaydık rotor, ilk durumuna geri dönecekti. Bir ileri bir geri hareket ise, dönme hareketi vermeyecektir.



Şekil 4.6. Sabit mıknatıslı iki fazlı step motor

Faz 1 ve faz 2 ye uygulanacak gerilimi değiştirmenin en kolay yolu orta uçlu (merkez uçlu) sargı kullanmaktır. Çünkü orta uca göre yan uçlara uygulanacak aynı gerilim birbirinin zıttı manyetik alanlar oluşturur. Ayrıca iki fazlı orta uçlu bobinlere sahip step motora, orta uç üzerinden ayrı ayrı gerilim uygulanırsa dört fazlı motor gibi çalışması sağlanabilir. Bu durum uyartım metotlarında açıklanmıştır.

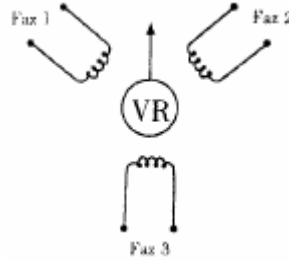
Step motorun sargılarına uygulanacak gerilimin yönüne göre rotorun hareketi, saat ibresi yönünde (CW) veya saat ibresi ters yönünde (CCW) gerçekleştirilebilir. PM motorun stator sargıları, D.C kare dalga ile sürülür. Kare dalga palsler art arda uygulanacak olursa; rotor, normal motorlardaki gibi sabit hızla döner.

4.3.6.2. Değişken relüktanslı (VR) step motorlar

Değişken relüktanslı (VR) adım motorlarında da sabit mıknatıslı step motorlarında da olduğu gibi en az dört kutuplu stator bulunur. Sabit mıknatıslı adım motorlarından tek farkı ise rotorun, sabit mıknatıs yerine artık mıknatıslık özelliği göstermeyen olması ve dişleri açılmış yumuşak demirden yapılmış olmasıdır. Dişler, silindir eksenine paralel olacak şekilde açılmış oluklarda şekillendirilmiştir.

Faz 1'e ait seri bağlı dört sargıya D.C gerilim uygulandığında bu sargıların etrafında oluşan manyetik alanlar rotor kutuplarını mıknatıslar ve rotoru bu sargıların karşısına

getirecek kadar hareket ettirir. Bu anda diğer kutuplar ise stator ve rotordaki diş sayısı eşit olmadığından stator kutuplarının karşısında değildir.

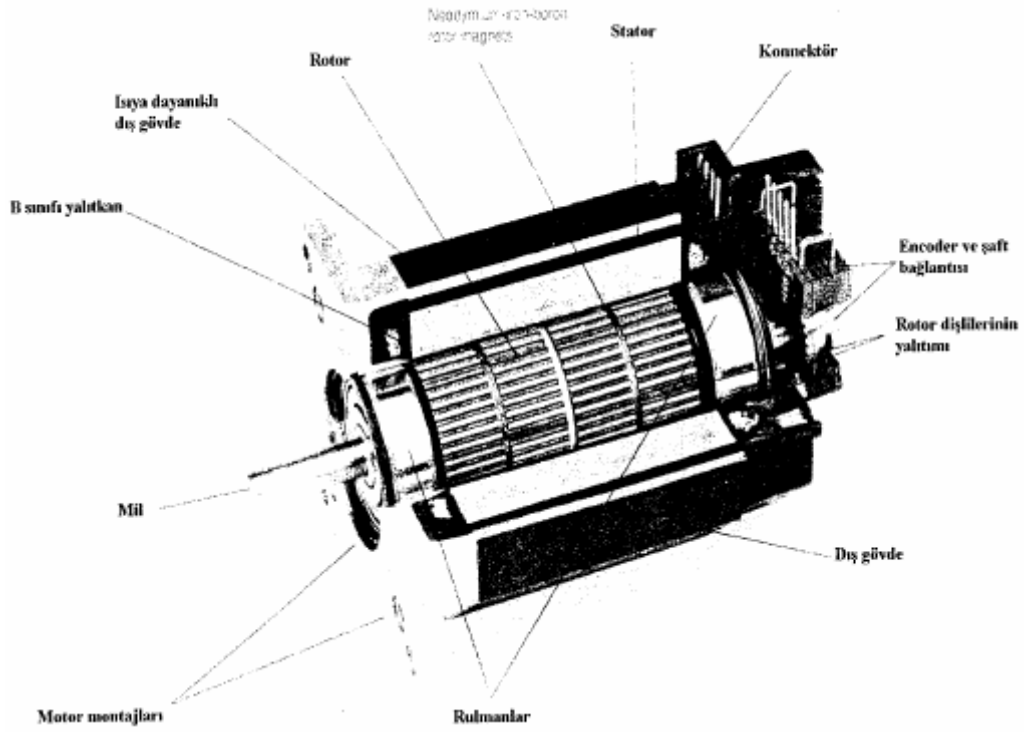


Şekil 4.7. VR Step [adım] motor

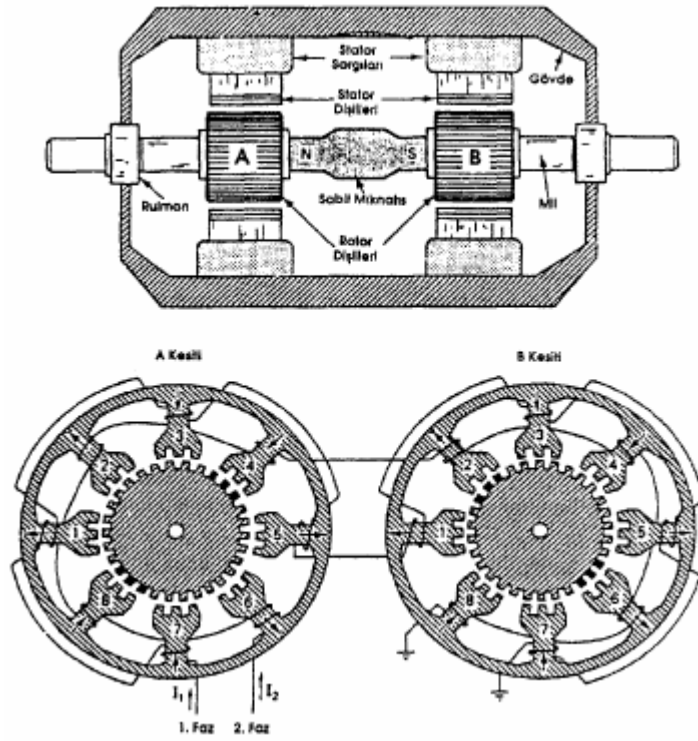
Faz 1'in enerjisini kesip Faz 2' ye enerji uygularsak bu kez statorda Faz 2 bobinlerinin etrafında meydana gelen manyetik alan kutupları, rotorun Faz 1 karşısındaki kutuplarını kendine çeker. Böylece rotorun dönmesi sağlanır. Uç fazlı (üç sargılı) sistemde rotorun devamlı dönmesi için stator sargıları art arda enerjilendirilmelidir. Faz 2'nin enerjisi kesilip Faz 3'e enerji uygulandığında bu kez rotor kutupları, statordaki Faz 3 sargılarının bulunduğu kutupların karşısına gelecek şekilde döner ve durur. Rotorun dönme yönü (saat ibresi yönü veya tersi) fazlara uygulanacak gerilimlerin yönüne bağlıdır. VR motorlarında rotor, hafif ve küçük boyutlu yapılıdır. Rotor ölçülerinin küçük olması eylemsizlik momentinin de küçük olmasını sağlar. Bunun sonucu fazlara uygulanan gerilimin meydana getireceği moment sebebi ile rotor çok hızlı hareket eder. VR motorlarının harekete başlama, durma ve dönme adımları PM step motorlarından daha hızlıdır.

4.3.6.3. Hybrid step motorlar (HSM)

Hybrid step motorlar sabit mıknatıslı ve değişken relüktanslı step motorların birleştirilerek geliştirilmiş şeklidir. Hybrid step motorlarda rotor, sabit mıknatıslı olup çeşitli dişli (kesit) sayısında yapılmaktadır. Ayrıca her bir dişli(kesit) üzerinde de çeşitli sayıda dişler bulunmaktadır. Bu dişlilerin arası diskler yardımıyla yalıtılmıştır. Hybrid step motorlarda stator, çok parçalı değişken relüktanslı tipindedir. Genel olarak stator kutbu 8 kadardır ve her bir kutup 2 — 8 arası diş sayısına sahiptir. Stator kutupları üzerine sargılar sarılmak suretiyle çeşitli kutup sayıları elde edilir.



Şekil 4.8. Hybrid step motorun yapısı



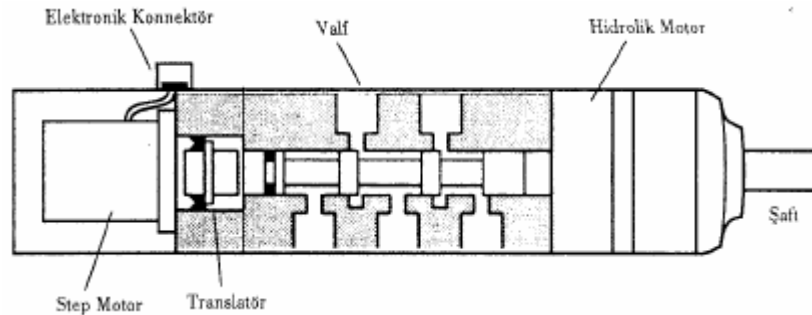
Şekil 4.9 Hybrid step motorun A — B kesitlerinin görünüşü

Çalışması; yukarıdaki şekilde gösterilen N ve S kutuplarından müteşekkil sayılar sırasıyla enerjilenecek motor uyarılır. Saat ibresi yönü (CW) için faz uçları 1^+ , 2^- , 1^- , 2^+ , 1^+ şeklinde beslenir. Birinci faz ve ikinci faz sargılarının enerjilenme sırası motorun dönüş yönünü ayarlar. Faz sargılarına 1^+ düz gerilim, 1^- ise ters gerilim uygulandığını gösterir.

Step motorlar senkron çalışan makineler (rotor döner manyetik alanı izler) olup, her uyarımda bir manyetik hareket sağlanmaktadır. Söz konusu motorda, hareket uyarım kademesinden sonra ilk uyarım biçimine dönülerek sürdürülmektedir. Bilinen miktarda hareketin sürdürülmesi, bu andaki rotorun bir diş adımı kadar hareket etmesine bağlıdır.

4.3.6.4. Hidrolik step motorlar

Bir hidrolik motora ait servo valf'inin basınç girişi yolunu translatörlerle (dönebilir lineer çeviriciyle) kontrol eden step motorlara hidrolik step motor denir. Kısaca hidrolik motorun basınçlı yağ yolunu denetlemek suretiyle şaftın hareketini ve yönünü tayin eden step motorlara hidrolik step motor denir. Hidrolik step motorlara elektrohidrolik step motorlar da denilmektedir.



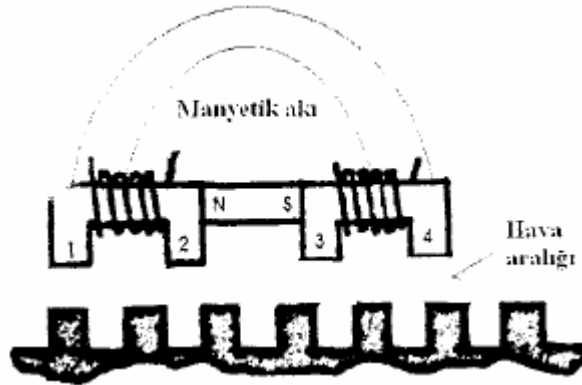
Şekil 4.10. Hidrolik step motor

Yukarıdaki şekilde kesiti görülen hidrolik step motor başlıca şu parçalardan oluşmaktadır: step motor, hidrolik motor, valf, translatör, elektronik konektör.

4.3.6.5. Lineer step motorlar

Mekanik hareketi dairesel bir hareket olmayıp da yatay eksen (x veya y eksenleri) üzerinde hareket eden motorlara lineer motor denir. Yani lineer motorlar X ve Y yönlerinde veya X ve Y düzleminde herhangi bir vektör yönünde hareket ederler. Bu tür motorların tasarımı yapılırsa motor bir gövde üzerinde iki tane ortogonal elektromagnetik alanı içerir. Bu alanı tamamlamak için demir nüve kare şeklinde yapılır. Böylece iki eksenli lineer step motor oluşturulur. Bu tip step motorlara örnek olarak 1969 yılında Kaliforniya’da gerçekleştirilen sawyer step motoru gösterilebilir.

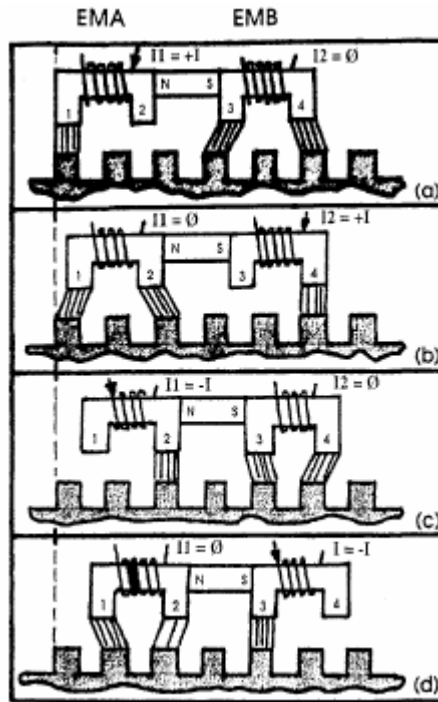
Bu motor iki ana mekanik bileşenden oluşur. Birinci mekanik bileşen, gücü oluşturan hareketli armatürdür. Armatürün statora sabitlendiği (demir nüve) kısım ikinci bileşendir. Armatür ve stator arasında sabit bir mil yatağı (hava aralığı) olup, kapalı geometrik şekilde dönmeye izin verir. Yükü harekete geçirmek, demir nüve uzunluğuna bağlı olan güçle değişir. Bu değişim bir yükü getiren motorun rotor hareketine benzemez ayrıca güç iletimi için mekanik avantajlara sahip değildir.



Şekil 4.11. 2 fazlı lineer step motorun prensip şeması

Çalışması: Magnetik alanın alt ve demir nüvenin üst noktaları arasındaki hava aralığı oluşur. Kutup yüzeylerine sawyer motorda olduğu gibi oluklar açılmıştır. Oluklar, örnekteki demir nüvenin şeklinde yapılırlar. Bu olukların en büyük faydası step rezolüsyonu oluşturmalarıdır. Ayrıca oluklar arasındaki boşluklar magnetik olmayan maddeler tarafından doldurulmuş olup ve bu düz yüzeyler magnetik alanın alt ve demir nüvenin üst noktasındaki hava aralığını oluşturur. Manyetik alan içerisindeki

küçük deliklerden hava basıncı sağlanmasıyla bu iş gerçekleştirilebilir. Bu hava aralığında ihmal edilmeyecek bir hareketli sürtünme yüzeyi oluşturur. Sabit mıknatıs, demir nüve ve manyetik alanın etkisinin olmadığı kısmı birlikte etkiler. (Bu kısma hava aralığı dahil değildir). Buna bağlı olarak demir nüvenin üzerindeki manyetik alanı alta veya üste hareket ettirmek mümkündür. Akım olmadığı durumda PM akışı hava aralığındaki şekli demir nüve ve EM akışı EM'nin iki kutbunda da eşit olur. Manyetik kutuplar yaklaşık olarak aynı relüktansa sahip olduklarından PM akışı EM'nin iki kutbunda da eşit olur. Eğer akım elektromıknatıslar tarafından anahtarlanırsa bu durumda değişim olur. Genel olarak sabit mıknatıs tarafından oluşturulan akım manyetik alan sargılarında üretilen akıma yaklaşık olarak eşittir. Yani akım değiştiğinde manyetik akı maksimumdan sıfıra kadar değişir.



Şekil 4.12. 2 fazlı lineer step motorun hareketi

Elektromagnetik alan ile demir nüve dişleri arasındaki bu değişim demir nüveye paralel, dişlere ise dik şekildedir. EM dişleri bir kutuptan diğerine sıralandığı için PM akışı kutup dişlerinin birleştiği yerde sabit mıknatıs tarafından değiştirilir. Sonuç olarak böyle teğetsel kuvvet, elektromagnetik alan ve demir nüve boyunca hareket eder ayrıca elektromagnetik alan ile demir nüveyi birbirine doğru çeken ve hava

aralığı için bir ön yük oluşturan kuvvet vardır. Yukarıdaki şekilde(a-d); yukarıda anlatılan işlemleri göstermektedir. Her bir şekilde akım ve magnetik akının yönleri oklarla gösterilmiştir. Eğer elektromıknatista magnetik alan oluşursa maksimum akı yoğunluğu ikinci kutupta aynı hızda oluşur ve bu yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Elektromagnetik mıknatis enerjilenmeyip (EMA), EMB enerjilenirse maksimum akı yoğunluğu 3. kutupta, minimum yoğunluk ise 4. kutupta oluşur. 3. kutuptaki bu kuvvet demir nüvenin sağ taraftaki kutup ile aynı sıraya gelir, böylece dışın sağa hareketi dörtte bir olarak gerçekleşir.

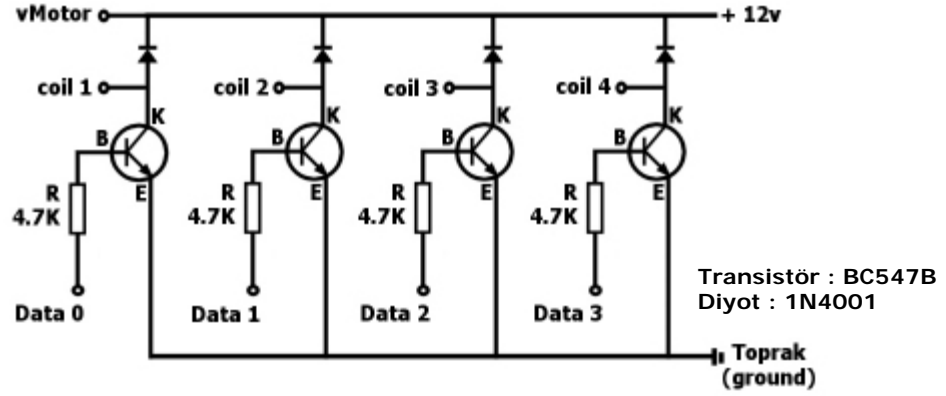
Eğer EMB enerjilendirmez, EMA enerjilendirilirse bu durumda da hareket tekrar sağa doğru olur. Bu durumda birinci kutbun akı yoğunluğu maksimum, ikincinin ki minimumdur. (3. ve 4. kutuplara ise PM uygulanmıştır).

Sonuç olarak EMA enerjilendirilmeyip, EMB enerjilendirilirse 4. kutup maksimum akım, 3. kutupta ise minimum akı yoğunluğu olur (bu durumda 1. ve 2. kutuplara PM uygulanmıştır) Bir devri tamamlamak için EMA tekrar enerjilendirilir ve sistem hareketi demir nüvenin bir dişi kadar olur. Bir periyot boyunca akımın frekansı EM alanın hareket hızıyla belirlenir. Elektromagnetik alanın demir nüve ile olan bu pozisyonlarında akımın her periyot boyunca yukarıda tanımlandığı gibi değişmesi bu ikili arasındaki ilişkiyi açıkça gösterir. Bu durumda lineer step motorlar kutup dişleri tarafından bir full step rezolusyonuna sahiptir. Tipik bir örnek olarak bu değer 0.04'tür. Yani yukarıdaki şekilde gösterilen sıralı hareket, her dörtte bir hareket için bu değer 0.01'dir. Bu hareketler bazen kardinal step olarak adlandırılır. Step basamakları arasında daha iyi rezolüsyon elde etmek için full-step modunda çalışmada bu dörtte bir hareketler arasında bir akım değeri bulamamak mümkündür. Her yeni fazda tahrik ile dörtte bir hareket oluşur, böylece toplam $\frac{3}{4}$ oranında hız hareket sağlanır.

4.4. Kullanılan Step Motor Sürücüsü

Tezin en önemli aşamalarından biride burada yapılacak olan step motor sürücü seçimidir. İlk başta hem denemek açısından hem de bir çok kaynakta rastlandığından, step motorları direkt olarak transistör ile sürmek denendi. Bunun için step motorun 5

kablosu kullanıldı. Aşağıda hem transistöle sürüm için gerekli devreden bahsedilecek, hem de genel manada step motorun nasıl sürüleceği anlatılacaktır.



Şekil 4.13. Transistörlü step motor sürücü devresi

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi step motorun orta ucu +12V ile beslenmiş, diğer uçlar, transistör çıkışlarına bağlanmıştır. Tezde bu devre yapılırken; bilgisayarın portuna gelebilecek zararı ortadan kaldırmak için optokuplör kullanılmıştır. Optokuplör, bir devredeki elektriksel bir işlevi, diğer bir devreye optik olarak aktaran ve led ile foto-transistörden oluşan elemandır. Bilgisayardan gelen sinyale göre (şekildeki Data uçları) transistörler ilettime geçer ve bu sayede motor bobin ucu şaseye çekilmiş olur ve bobin 12 Volt ile yüklenmiş olur. Yüklenen bobin de step motora hareket verir. Aşağıda verilecek bilgiye göre step motor sürüş teknikleri tablolar halinde verilmiştir[11].

Tablo 4.1. Tam adım sürüm için gerekli transistör tetiklemeleri

Data 3	Data 2	Data 1	Data 0
1	0	0	1
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	1	0
0	1	0	0
0	0	1	0
1	1	0	0
1	0	0	0

Tablo 4.2. Yarım adım için gerekli transistör tetiklemeleri

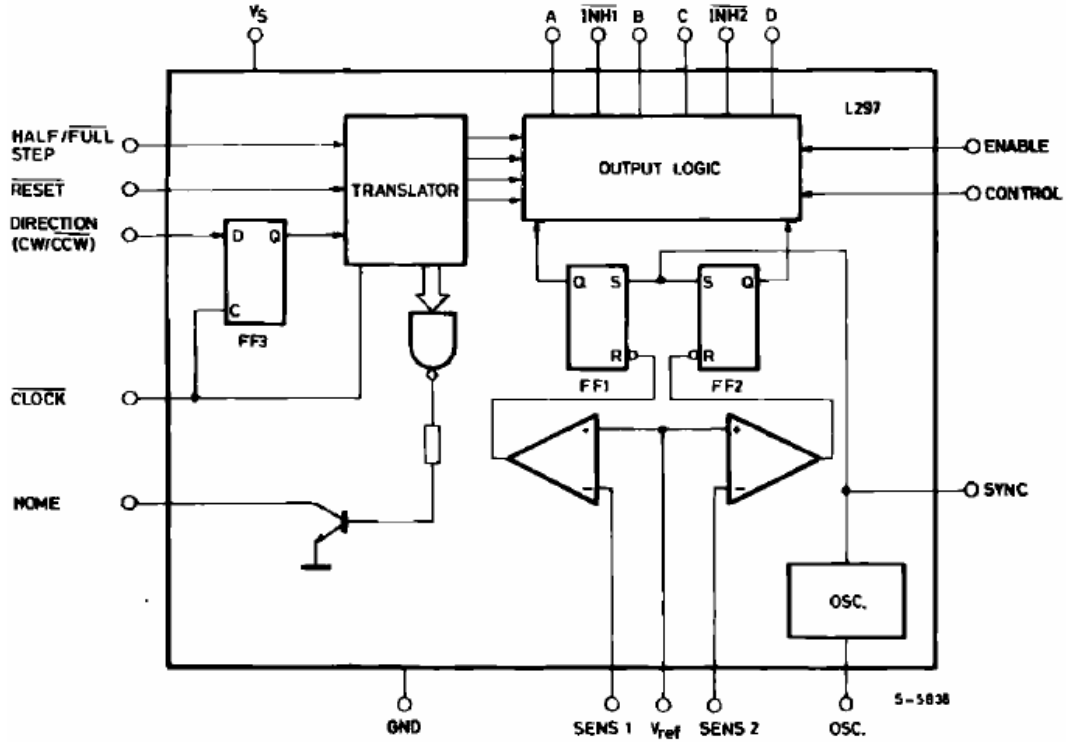
Data 3	Data 2	Data 1	Data 0
1	0	0	1
0	0	1	1
0	1	1	0
1	1	0	0

Tablo 4.3. Dalga sürüm için gerekli transistör tetiklemeleri

Data 3	Data 2	Data 1	Data 0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	0	0

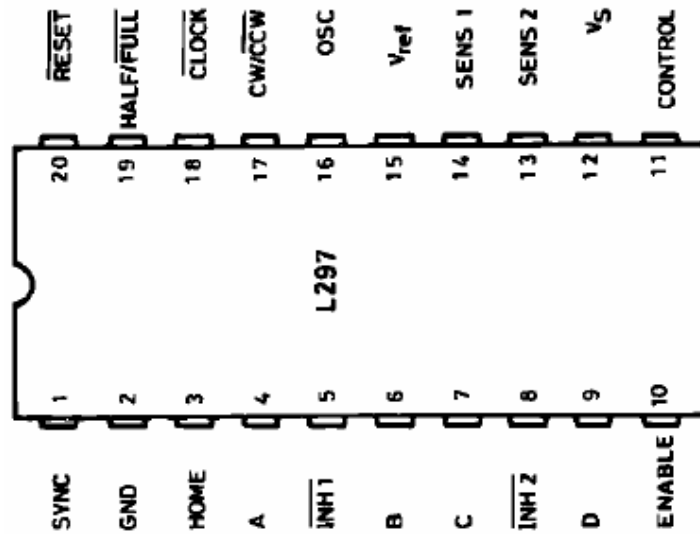
Yukarıdaki tablolara göre bilgisayarda program modülleri oluşturulup step motorlar sürüldü ve performansları gözlemlendi. Sonuç olarak hem hız yavaş, hem de güç az olduğu için ve tüm bunlardan daha önemlisi devre çok fazla ısındığı ve motoru da çok ısıttığı için bu devreden vazgeçildi Yukarıdaki devreye benzeyen birçok devrenin yanı sıra, entegreler de denendi. ULN ve benzeri bir çok entegre çok zayıf olduğundan sistemin yükünü kaldıramadı. Bu entegrelerin çalışma mantıkları kolaylıkla internetten bulunabileceğinden burada bahsedilmeyecektir. Bu tarz entegreler daha çok hobi amaçlı basit devrelerde kullanılmaktadır.

Alternatif bir devre olarak L297 ve L298 entegreleri kullanılan bir step motor devresi denenmiştir. L297 entegresi, L298 ve L293e entegrelerini kullanarak step motor sürmek amacıyla tasarlanmıştır. Sistem kontrolöründen sinyalleri alır ve güç katmanına gerekli olacak her türlü sinyali üretir[12].



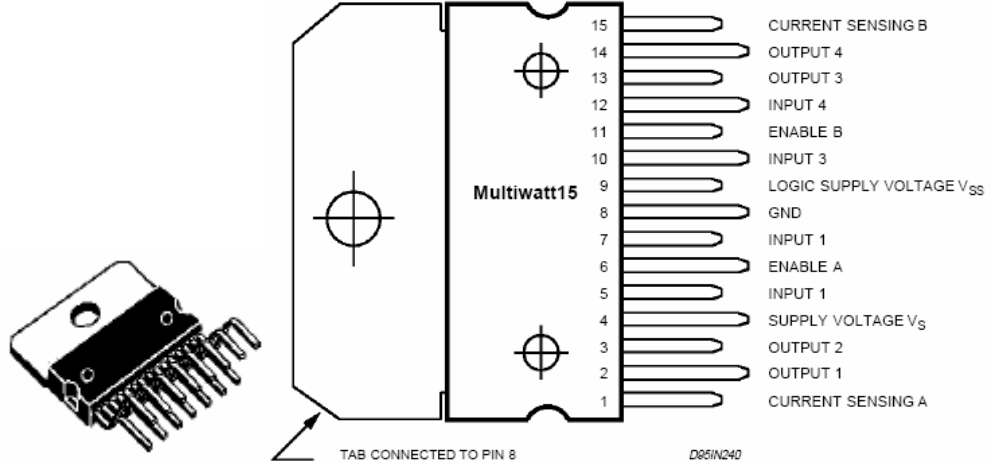
Şekil 4.14. L297 iç mimarisini

L297'nin kalbi, yukarıdaki şekilde, "TRANSLATOR" olarak adlandırılan mimaridir. Bu mimari; yarım adım ve tam adım için gerekli olan faz sinyallerinin üretildiği yerdir. Bu blok, clock palsin yanında, Half/Full (Yarım adım/Tam adım) ve direction (yön) sinyalleri ile kontrol edilir



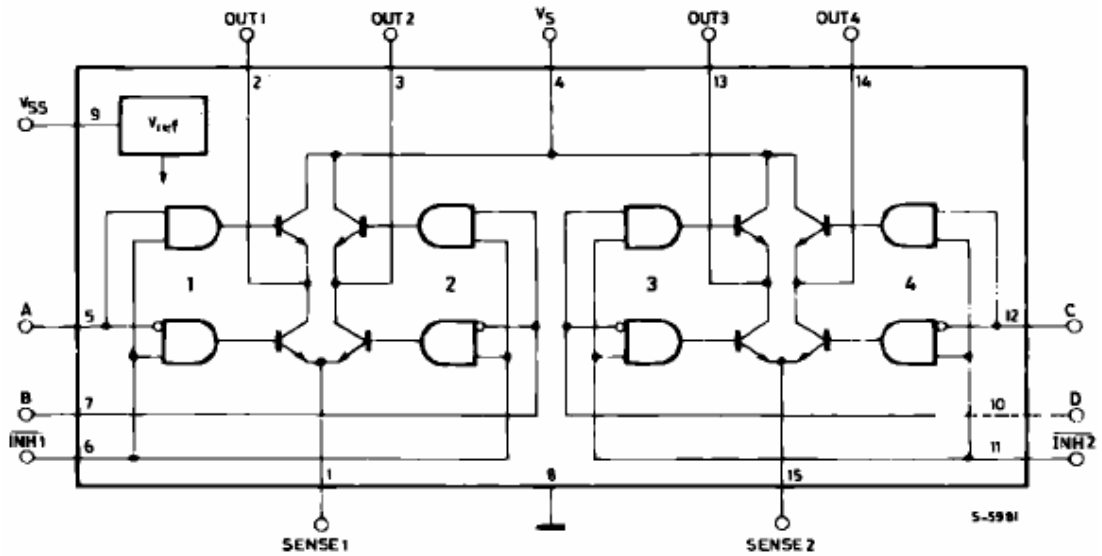
Şekil 4.15. L297 bacak bağlantıları

Yukarıda içyapısı ve bacak bağlantıları gözüken L297 entegresi, L298 entegresini yönetmek için üretilmiştir. Devre tasarlarken çok az sayıda ve rahat bulunabilen devre elemanları gerektirdiğinden, yüksek güvenilirlikte bir tasarım, ucuza mal edilebilmekte ve ufak alanlara sığabilmektedir.



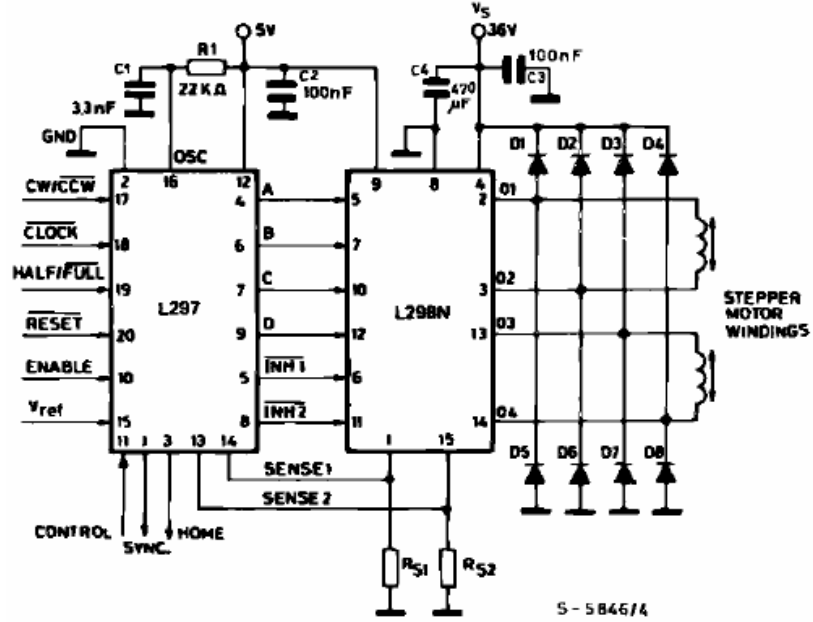
Şekil 4.16. L298 entegresi ve bacak bağlantıları

L298 entegresi, enable ve lojik girişler tarafından kontrol edilen, iki köprü sürücü katmanına sahiptir. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi; transistörü, base ayağına gelen sinyaller tetikler ve iletme geçirir. L297 veya diğer kontrol birimleri tarafından rahatça sürülebilmesi için ayrı bir 5V lojik güç girişi sunulmuştur.

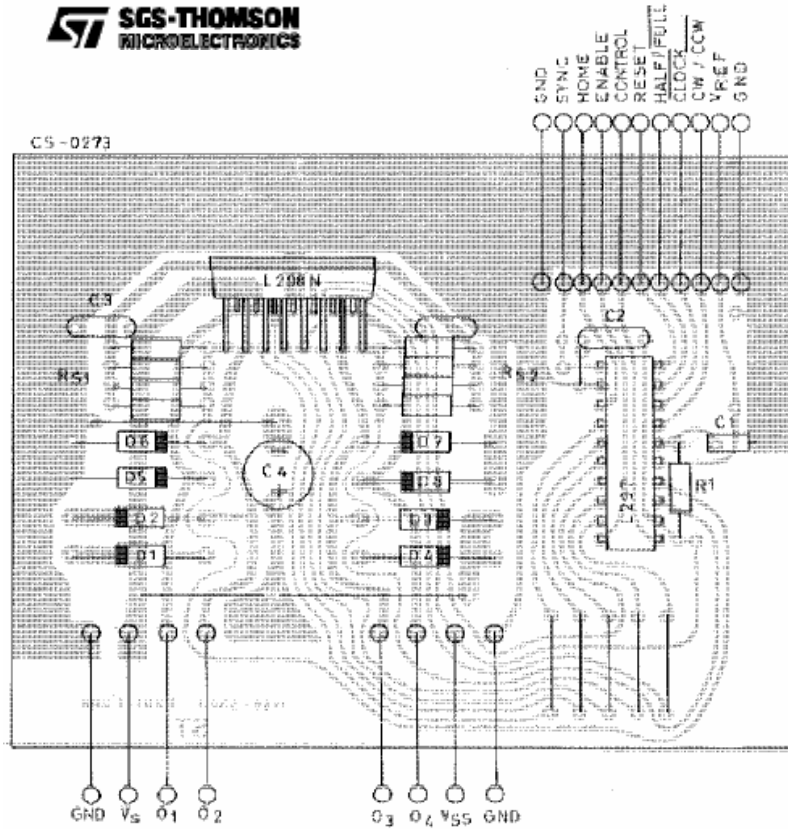


Şekil 4.17. L298 entegresi iç mimarisi

Yukarıdaki şekildeki L298 entegresi pinleri, iki entegrenin beraber kullanımının anlaşılmasını kolaylaştırmak adına, karşılık gelen L297 terminalleri ile adlandırılmıştır[12]..



SGS-THOMSON
MICROELECTRONICS



Şekil 4.18. SGS-THOMSON Microelectronics firması tarafından tavsiye edilen L297-L298 entegreli step motor sürme devresi şeması ve baskı devresi

BÖLÜM 5. YAZILIM

5.1. Giriş

Tezde şimdiye kadar; tüm araştırmalar tamamlanmış, prototip çizimleri yapıp prototip CNC ile oluşturulmuş, devreler tasarlanıp montajlanmış ve tüm hepsi birleştirilerek yapılmak istenen prototip tam manasıyla oluşturulmuştur. Şimdi gelinen nokta ise, prototipe bilgisayar tarafından hareket verilmesidir.

Bu aşamada yapılması gereken ilk şey, elektronik devrede bulunan PIC mikrokontrolörünün programlanmasıdır. PIC'in buradaki görevi porttan gelen verileri gerekli sürücü devresine iletmektir. Bir sürücü devresinin sürülmesi için biri yön, biri pulse olmak üzere iki çıkış gerekmektedir. Bir parmak üretilmek istendiğinde de 6 motor gerektiğinden 12 pine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle en mantıklı işlem motor sürücü devrelerinin yardımcı bir işlemci ile çalıştırılmasıdır.

Motor katı ile haberleşme sistemi yapıldıktan sonra ikinci adım motorları çalıştıracak prosedürlerin yazılmasıdır. PIC'e minimum işlemin düşmesi için, PIC'e sadece gelen verileri aynen istenilen adresteki sürücü kartına gönderme işi yüklenmiştir. Kartlara gönderilecek motor sürme verileri, bilgisayarda oluşturulmaktadır. Motorların çalıştırılması, gerekli verilerin paralel porta gönderilmesiyle mümkündür. Yani kullanıcıdan gelen verilerin analizinden önce, motorların yönetimini sağlayan prosedürlerin yazılması gerekmektedir.

Motorlar da çalıştırıldıktan sonra yapılması gereken, görsel olmayan bir arayüz ile parmağın istenilen pozisyona getirilmesidir. Burada görsel bir arayüzle başlanmamasının nedeni görsel bir arayüzün tasarlanmasının zor ve zaman gerektiren bir iş olmasıdır. Bu nedenle, bu zaman gerektiren iş en sona bırakılmış ve önce

yapılan yazılımın test işlemlerinin yapılabilmesi açısından, görsel olmayan bir arayüz tasarlanmıştır.

Bundan sonraki aşama ise görsel arayüzün tasarlanmasıdır ki bu aşama tezin hemen hemen son aşamasıdır. Bu aşama da tamamlanınca geriye kalan tek şey, tüm tez hazırlık sürecinde alınan notların ve yapılan araştırmaların bir araya toplanıp yazılı bir kaynak haline getirilmesidir.

5.2. Elektronik Yapı ile Haberleşme Modülü

Elektronik yapı ile haberleşme yazılımı 2 parçadan oluşmaktadır. Bir parçası PIC kontrolör içindedir. PIC içindeki yazılım, enable ve pulse sinyallerini verilen adrese göndermeye yarar. Diğer parça bilgisayarda bulunan yazılımdır. Bu yazılım da paralel porta veri gönderen kısımdır.

5.2.1. Bilgisayar yazılımı

Tezde programlama dili olarak Visual Basic .NET 2003 kullanılmıştır.

Paralel portun istenilen pinini aktif veya pasif edecek kod aşağıda görülmektedir. Aktif olması lojik 1 yani 5V'a, pasif olması ise lojik 0 yani 0V olması demektir. Bu prosedürler motorlar yön ve pulse sinyalleri ile adresleme çıkışlarının yönetilmesinde kullanılacaktır.

Tüm bu işlemlerde paralel portun 6 adet I/O pini kullanılacaktır. Bu pinlerden üçü adresleme için kullanılacaktır. Geri kalan pinler ise sırasıyla yön, pulse ve enable sinyalleridir.

```

Sub aktifEt(ByVal no As Byte)
    Dim akPasDeger as Integer
    Dim akPasSayac as Integer
    akPasDeger = parPortCikis
    For akPasSayac = 7 To no + 1 Step -1
        If akPasDeger >= 2 ^ akPasSayac Then
            akPasDeger -= 2 ^ akPasSayac
        End If
    Next
    If akPasDeger < 2 ^ no Then
        parPortCikis += 2 ^ no
    End If
End Sub

```

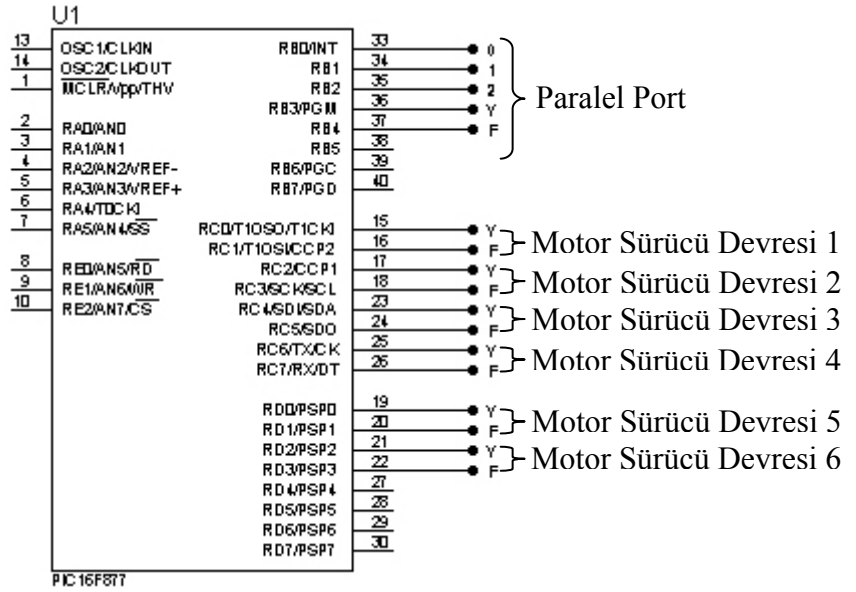
```

Sub pasifEt(ByVal no As Byte)
    Dim akPasDeger as Integer
    Dim akPasSayac as Integer
    akPasDeger = parPortCikis
    For akPasSayac = 7 To no + 1 Step -1
        If akPasDeger >= 2 ^ akPasSayac Then
            akPasDeger -= 2 ^ akPasSayac
        End If
    Next
    If akPasDeger >= 2 ^ no Then
        parPortCikis -= 2 ^ no
    End If
End Sub

```

Kodlardaki “parPortCikis” değişkeni global bir değişkendir. Bu değişken porta gönderilen en son değeri tutar.

5.2.2. PIC yazılımı



Şekil 5.1. PIC 16F877 oluşturulan bacak bağlantıları

PICBasic Plus ile yazılmış kaynak kodu aşağıdadır.

```
DEVICE = 16F877
```

```
XTAL = 4
```

```
trisb = 1
```

```
trisc = 0
```

```
trisd = 0
```

```
basla:
```

```
If portb = 1 Then
```

```
    portc = 0
```

```
    portb.3=portc.0
```

```
    portb.4=portc.1
```

```
End If
```

```
If portb = 2 Then
```

```
    portc = 0
```

```
    portb.3=portc.2
```

```
    portb.4=portc.3
```

```
End If
```

```

If portb = 3 Then
    portc = 0
    portb.3=portc.4
    portb.4=portc.5
End If
If portb = 4 Then
    portc = 0
    portb.3=portc.6
    portb.4=portc.7
End If
If portb = 5 Then
    portc = 0
    portb.3=portd.0
    portb.4=portd.1
End If
If portb = 6 Then
    portc = 0
    portb.3=portd.2
    portb.4=portd.3
End If
GoTo basla

```

PIC mikrokontrolöre gönderilen Hex kodu aşağıdadır.

```

:10000000000000308A000428013083168600870132
:1000100088018312013006028A110A12031D192871
:10002000870107188615071C861187180616871C76
:100030000612023006028A110A12031D28288701BF
:1000400007198615071D861187190616871D0612C2
:10005000033006028A110A12031D37288701071A86
:100060008615071E8611871A0616871E061204308B
:1000700006028A110A12031D46288701071B8615EE
:10008000071F8611871B0616871F061205300602FA

```

```

:100090008A110A12031D5528870108188615081CA5
:1000A000861188180616881C0612063006028A1168
:1000B0000A12031D6428870108198615081D861178
:0C00C00088190616881D06128A010928FE
:02400E00323F3F
:00000001FF

```

5.3. Ana Yazılım

Bu kısımda önce motorları kontrol edecek prosedürler oluşturulacaktır. Bundan bir sonraki adım eklemlerin istenilen açığı almasını sağlayacak prosedürdür. Bundan sonraki adım ise görsel olmayan basit bir arayüz oluşturmaktır. En son adım ise görsel arayüzün oluşturulmasıdır.

Aşağıdaki prosedür, motorları hareket ettirecek olan prosedürdür.

```

Sub Motor(ByVal sayi As Integer)
    Dim BEKLEMEsayac as integer
    pasifEt(3)
    For MOTORicsayac = 1 To sayi
        pasifEt(4)
        Out(&H378, parPortCikis)
        For BEKLEMEsayac = 0 To turBos : Next
        aktifEt(4)
        Out(&H378, parPortCikis)
        For BEKLEMEsayac = 0 To turBos : Next
    Next
End Sub

```

Aşağıdaki prosedür, PIC'e adresleme yapan prosedürdür. Adresler aşağıdaki gibidir.

Tablo 5.1. PIC için belirlenmiş motor sürücü adresleri

Decimal Değer	Binary Değer	Açıklama
1	001	ön motor üst bağlantı
2	010	ön motor alt bağlantı
3	011	arka motor üst bağlantı
4	100	arka motor alt bağlantı
5	101	yan motor 1
6	110	yan motor 2

Sub adresle(ByVal adres As Byte)

```

If adres > 0 And adres < 7 Then
    Dim deger As Byte
    Dim sayac As Integer
    deger = adres
    For sayac = 2 To 0 Step -1
        If deger >= 2 ^ sayac Then
            deger -= 2 ^ sayac
            aktifEt(sayac)
        Else
            pasifEt(sayac)
        End If
    Next
End If
End Sub

```

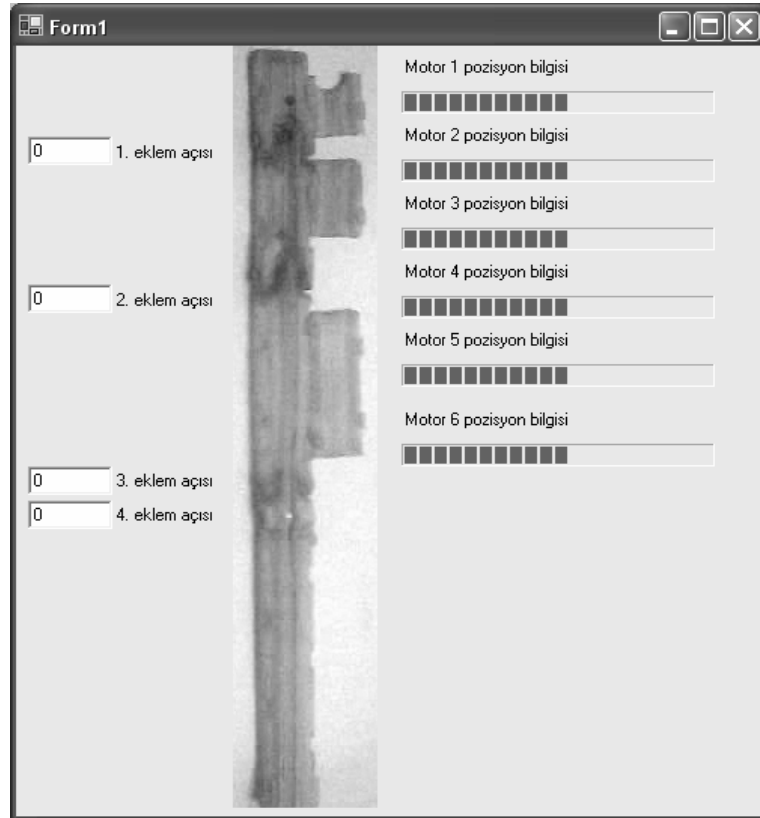
Adresleme işlemi de yapıldıktan sonra, yapılması gereken verilecek karara göre motorlara hareket verecek prosedürün yazılmasıdır. Burada amaçlanan hesaplanmış açının motor adım bilgisine dönüştürülmesi ve motora gönderilmesidir.

```

Sub eklem(ByVal hangiEklem As Byte, ByVal aci As Byte, ByVal ac As Boolean)
    adresle(hangiEklem)
    If ac Then
        If simdikiAcilar(hangiEklem) + aci > maksimumAcilar(hangiEklem) Then
            aci = maksimumAcilar(hangiEklem) - simdikiAcilar(hangiEklem)
        End If
        MotorKapa(aci / maksimumAcilar(hangiEklem) * eklemHar(hangiEklem))
    Else
        If simdikiAcilar(hangiEklem) + aci > maksimumAcilar(hangiEklem) Then
            aci = maksimumAcilar(hangiEklem) - simdikiAcilar(hangiEklem)
        End If
        MotorKapa(aci / maksimumAcilar(hangiEklem) * eklemHari(hangiEklem))
    End If
End Sub

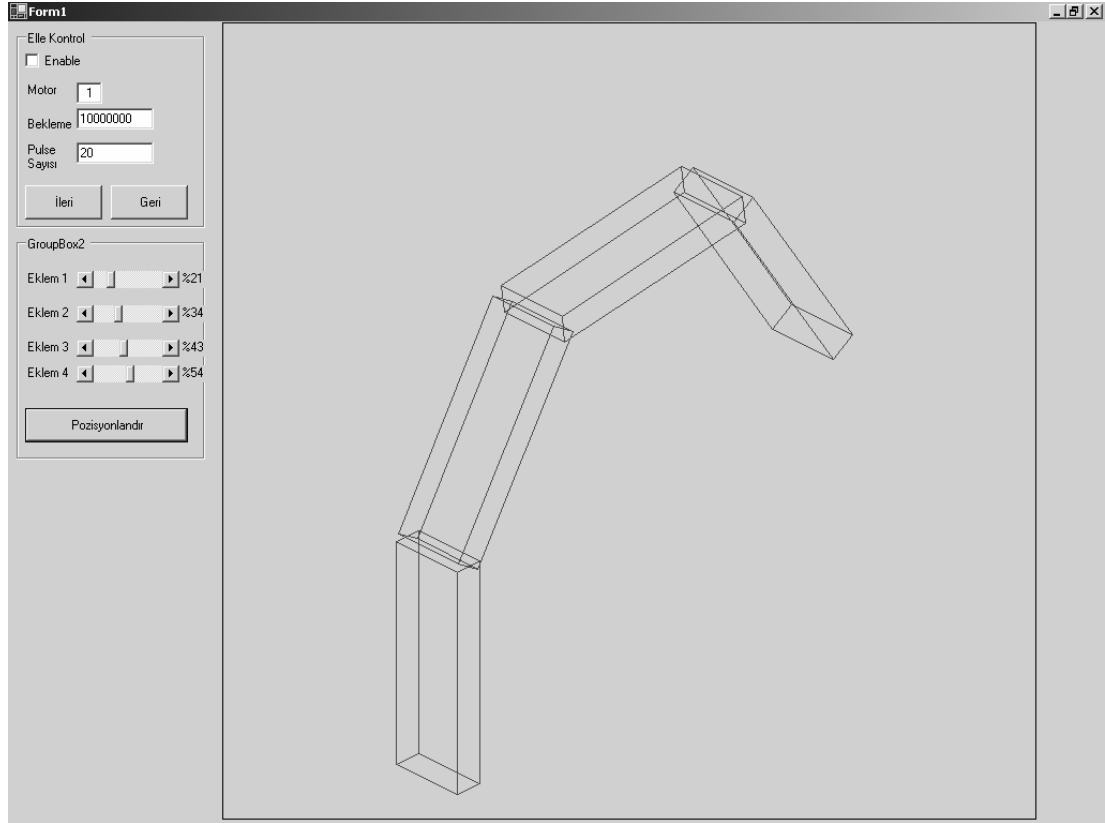
```

Bundan sonraki aşama ise önce görsel olmayan sonra da görsel bir arayüz tasarlamaktır.



Şekil 5.2. Görsel olmayan arayüz

Bu arayüzler arasındaki fark, görsel olan arayüzde parmağın alacağı konumun ekranda görülmesidir. Çalışmakta olan kod hemen hemen aynıdır.



Şekil 5.3. Görsel arayüz

Görsel arayüz için gerekli fonksiyonlar sırası ile

```
Function mtsCrp(ByVal m1(,) As Double, ByVal m2(,) As Double) As Double(,)
```

```
    Dim cst(m1.GetUpperBound(0), m2.GetUpperBound(1)) As Double
```

```
    Dim sayacX As Integer: Dim sayacY As Integer: Dim sayacXY As Integer
```

```
    For sayacX = 0 To mat1.GetUpperBound(0) - 1
```

```
        For sayacY = 0 To m2.GetUpperBound(1) - 1
```

```
            cst(sayacX, sayacY) = 0
```

```
            For sayacXY = 0 To m1.GetUpperBound(1) - 1
```

```
                cst(sayacX, sayacY) += m1(sayacX, sayacXY) * m2(sayacXY, sayacY)
```

Next

Next

Next

Return cst

End Function

matris çarpma fonksiyonu,

Function xCevir(ByVal mts(,) As Double, ByVal derece As Double) As Double(,)

Dim sayac As Byte : Dim sayacx As Integer

Dim sayacy As Integer : Dim icsayac As Integer

Dim cMt(mts.GetUpperBound(0), mts.GetUpperBound(1)) As Double

cizici.CreateGraphics.Clear(cizici.BackColor)

Dim TrpXdeCevir(4, 4) As Double

TrpXdeCevir(0, 0) = 1 : TrpXdeCevir(0, 1) = 0

TrpXdeCevir(0, 2) = 0 : TrpXdeCevir(0, 3) = 0

TrpXdeCevir(1, 0) = 0 : TrpXdeCevir(1, 1) = Math.Cos(derece * Math.PI / 180)

TrpXdeCevir(1, 2) = Math.Sin(derece * Math.PI / 180) : TrpXdeCevir(1, 3) = 0

TrpXdeCevir(2, 0) = 0

TrpXdeCevir(2, 1) = (-1) * Math.Sin(derece * Math.PI / 180)

TrpXdeCevir(2, 2) = Math.Cos(derece * Math.PI / 180) : TrpXdeCevir(2, 3) = 0

TrpXdeCevir(3, 0) = 0 : TrpXdeCevir(3, 1) = 0

TrpXdeCevir(3, 2) = 0 : TrpXdeCevir(3, 3) = 1

cMt = mtsCrp(mts, TrpXdeCevir)

Return cMt

End Function

X eksenini etrafında çevirme fonksiyonu,

Function yCevir(ByVal mts(,) As Double, ByVal derece As Double) As Double(,)

Dim sayac As Byte

Dim sayacx As Integer

Dim sayacy As Integer

Dim icsayac As Integer

Dim cMt(mts.GetUpperBound(0), mts.GetUpperBound(1)) As Double

cizici.CreateGraphics.Clear(cizici.BackColor)

Dim TrpYdeCevir(4, 4) As Double

TrpYdeCevir(0, 0) = Math.Cos(derece * Math.PI / 180) : TrpYdeCevir(0, 1) = 0

TrpYdeCevir(0, 2) = (-1) * Math.Sin(derece * Math.PI / 180)

TrpYdeCevir(0, 3) = 0 : TrpYdeCevir(1, 0) = 0

TrpYdeCevir(1, 1) = 1 : TrpYdeCevir(1, 2) = 0

TrpYdeCevir(1, 3) = 0 : TrpYdeCevir(2, 0) = Math.Sin(derece * Math.PI / 180)

TrpYdeCevir(2, 1) = 0 : TrpYdeCevir(2, 2) = Math.Cos(derece * Math.PI / 180)

TrpYdeCevir(2, 3) = 0 : TrpYdeCevir(3, 0) = 0

TrpYdeCevir(3, 1) = 0 : TrpYdeCevir(3, 2) = 0

TrpYdeCevir(3, 3) = 1

cMt = mtsCrp(mts, TrpYdeCevir)

Return cMt

End Function

Y eksenini etrafında çevirme fonksiyonu

Function ekranaCiz(ByVal par() As parcalar)

Dim sayac As Byte : Dim icsayac As Integer

Dim oteleyici(2) As Double : Dim cevrilmisMatris(,) As Double

cizici.CreateGraphics.Clear(cizici.BackColor)

Dim Trp3Dto2D(4, 4) As Double

Trp3Dto2D(0, 0) = Math.Cos(45 * Math.PI / 180)

Trp3Dto2D(0, 1) = Math.Sin(30 * Math.PI / 180) * Math.Sin(45 * Math.PI / 180)

Trp3Dto2D(0, 2) = 0 : Trp3Dto2D(0, 3) = 0 : Trp3Dto2D(1, 0) = 0

Trp3Dto2D(1, 1) = Math.Cos(30 * Math.PI / 180) : Trp3Dto2D(1, 2) = 0

Trp3Dto2D(1, 3) = 0 : Trp3Dto2D(2, 0) = Math.Sin(45 * Math.PI / 180)

Trp3Dto2D(2, 1) = (-1) * Math.Cos(45 * Math.PI / 180) * Math.Sin(30 * Math.PI / 180)

Trp3Dto2D(2, 2) = 0 : Trp3Dto2D(2, 3) = 0 : Trp3Dto2D(3, 0) = 0

Trp3Dto2D(3, 1) = 0 : Trp3Dto2D(3, 2) = 0 : Trp3Dto2D(3, 3) = 1

For sayac = 0 To 3

cevrilmisMatris = mtsCrp(par(sayac).matris, Trp3Dto2D)

oteleyici(0) += cevrilmisMatris(24, 0)

oteleyici(1) += cevrilmisMatris(24, 1)

For icsayac = 0 To cevrilmisMatris.GetUpperBound(0) - 2 Step 2

cizici.CreateGraphics.DrawLine(Pens.Red, 700 - _

CInt(cevrilmisMatris(icsayac, 0) + 500 - oteleyici(0)), 700 - _

CInt(cevrilmisMatris(icsayac, 1) - oteleyici(1)), 700 - _

CInt(cevrilmisMatris(icsayac + 1, 0) + 500 - oteleyici(0)), 700 - _

CInt(cevrilmisMatris(icsayac + 1, 1) - oteleyici(1)))

Next

cizici.Update()

Next

End Function

ve ekrana yazdırma fonksiyonu olarak sıralanabilir.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsan vücudunda en kompleks organlardan biri olan el, aynı şekilde bir insansı robotun da en önemli yapılarından biri olacaktır. Aynı zamanda engelli insanlara da umut olabilecek bu konuda yapılmış bir çok çalışma bulunmaktadır. 2 senelik bu çalışma da bu konuya ufak da olsa bir katkıda bulunmak amacıyla yapılmış bir başlangıçtır. Konu çok geniş bir konu olduğundan bir hedef seçilmiştir. Bu hedef; elin fiziksel hareket kabiliyetine, dışardan bir kontrolör emirleriyle, bilgisayarın vereceği komutlarla mümkün olduğunca yakınlaşmaktır. Bu hedefin seçilmesindeki en büyük neden, bu konunun en önemli konu olduğu düşüncesidir. Tabii ki kullanım alanına göre daha uygun bir mekanik yapı ya da eklem türü veya hareket sistemi seçilmesi mümkündür. Hem insansı robot için, hem engelli insanlar için üretilebilecek bir protez için ve daha bir çok kullanım sahasında vazgeçilemeyecek tek konu ise hareket kapasitesidir.

KAYNAKLAR

- [1] ORTUĞ, G., Anatomi - T.C. Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi Ders Kitapları Yayın No: 106/A, ISBN:975-492-229-2 , 1991
- [2] Williams & Wilkins, Sobotta Atlas of Human Anatomy, 12th edition, 1997
- [3] Histoloji, T.C. ANADOLU ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI No: 894, Açıköğretim Fakültesi Yayınları No: 480, ISBN 975-492-608-5, 1995
- [4] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Al%C3%BCminyum>
- [5] <http://www.polikim.com.tr>
- [6] <http://www.nanotech.utdallas.edu/news/2006/artificialmuscles.html>
- [7] <http://www.robotstore.com/store/product.asp?pid=2&catid=1570>
- [8] http://tr.wikipedia.org/wiki/Elektrik_Motorlar%C4%B1
- [9] <http://egitek.meb.gov.tr/index.asp>
- [10] Mersin Meslek Yüksek Okulu Uzaktan Eğitim Ders Notları
<http://myo.mersin.edu.tr/>
- [11] <http://rtk.iku.edu.tr/notlar/AdimMotorKontrolu.doc>
- [12] SGS-THOMSON Microelectronics L297 APPLICATION NOTE

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Sakarya'da doğdu. İlkokulu Özel Sakarya İlkokulu'nda, liseyi Sakarya Anadolu Lisesi'de okudu. Sakarya Üniversitesi'nde Bilgisayar Mühendisliğinde okuduktan sonra 2003 senesinde Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliğinde yüksek lisansa başladı.