

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNSANSI ROBOT KOL TASARIMI VE
GERÇEKLENMESİ



İlke ÖZTÜRK

Eylül, 2018
İZMİR

İNSANSI ROBOT KOL TASARIMI VE GERÇEKLENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İlke ÖZTÜRK

Eylül, 2018

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

İLKE ÖZTÜRK, tarafından DR. ÖĞR. ÜYESİ TANER AKKAN yönetiminde hazırlanan “İNSANSI ROBOT KOL TASARIMI VE GERÇEKLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Dr. Öğr. Üyesi Taner AKKAN

Yönetici



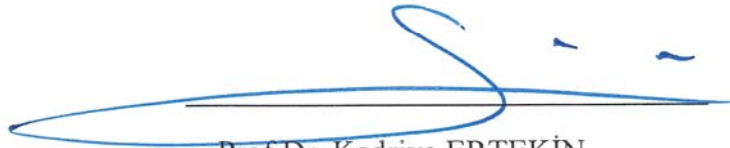
Doç.Dr. Süleyman Murat BAĞDATLI

Jüri Üyesi



Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Özkun

Jüri Üyesi



Prof.Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı hazırlamamda bana yardımcı olup zamanını ve birikimlerini esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Taner AKKAN’a ve maddi ve manevi olarak yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

İlke ÖZTÜRK



İNSANSI ROBOT KOL TASARIMI VE GERÇEKLENMESİ

ÖZ

1500’lü yıllardan beri kullanılan basit yapılı ve sınırlı hareketler yapabilen robot mekanizmalar günümüzde elektronik ve yazılım yardımıyla daha işlevsel hale gelmiştir. İnsan yapısı ile robot mekaniğinin gücünü birleştiren bu modern robotlar başta üretim olmak üzere hayatımızı kolaylaştıracak uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca günümüzün robotları gelişmiş sensörleri ve yapay zeka uygulamaları ile insansı davranışlar da gösterebilmektedir. Bu çalışmanın amacı seri iletişim ağıyla birbirine bağlı dağıtık yapıda mikrodenetleyicili kartlar ile yönetilen ve ana bir mikrobilgisayar tarafından denetlenen bir insansı robot kolu tasarımı ve uygulamasıdır. Bu çalışmada Fransız heykeltıraş ve tasarımcı olan Gael Langevin tarafından hayata geçirilen InMoov projesi temel alınmıştır. InMoov projesinin temel amacı insana fiziki benzerlik ve insansı hareketler elde etmektir. Bu tasarım mekanik yeterlikler göz önüne alınmadığı için hem içyapısı hem de sensör yerleşimine uygun olmaması nedeniyle bu modelin temeline yeni bir ön kol ve el tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan ön kol ve el, PLA hammaddesi kullanılarak 3 Boyutlu yazıcı ile üretilmiştir. Parmak ve bilek hareketleri için yedi adet dijital servo motor kullanılmıştır. Avuç içinin ortasına yerleştirilen bir kuvvet duyarlı direnç ile avuç içinde bir nesnenin olup olmadığı algılanabilmektedir. Parmak uçları yaylı bir mekanizma ile parmak gövdesine tutturulmuş böylece parmak uçlarının da esnek hareketi mümkün olmuştur. El üstüne avuç içindeki kuvvet duyarlı direnci algılayacak bir Arduino Pro Mini, ön kol içerisine servo motor kontrolleri için ikinci bir Arduino Pro Mini yerleştirilmiştir. Ana kontrolcü olarak Arduino Mega kullanılmıştır ve kontrolcü kartları birbirleri ile I2C üzerinden haberleşmektedirler. Robot kol seri iletişim veya bluetooth üzerinden kontrol edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Animatronik, I2C seri iletişim, robot kol

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF HUMANOID ROBOT ARM

ABSTRACT

Since 1500s, basic structured robotic mechanisms with limited movements have become more functional nowadays via help of electronics and software. These modern robots that combine the human physical structure with robot mechanics power are used in applications that will make our life easier, especially in manufacturing. In addition, today's robots can show human behavior through advanced sensors and artificial intelligence applications. The aim of this work is to design and implement a humanoid robot arm, controlled by a main microcomputer, which is managed by interconnected microcontroller cards in the interconnected serial communication network. This work is based on the InMoov project, which was passed on by the French sculptor and designer Gael Langevin. The main aim of the InMoov project is to obtain physical similarity and humanlike movements to human beings. This design is based on a new forearm and hand design because the InMoov's design is not suitable for both internal structure and sensor placement because mechanical considerations are not taken into consideration. The designed forearms and hands were produced with 3D printer using PLA raw materials. Seven digital servo motors are used for finger and wrist movements. A force-sensitive resistor placed in the center of the palm can detect whether or not an object is in the palm. The fingertips are attached to the fingertip with a spring mechanism, so that flexible movement of the fingertips is possible. An Arduino Pro Mini, which detects the force-sensitive resistor in the palm of the hand, has a second Arduino Pro Mini in the forearm for servo motor controls. Arduino Mega is used as the main controller and the controller cards communicate with each other via I2C. The robot arm is controlled via serial communication or bluetooth.

Keywords: Animatronics, I2C serial communication, robotic arm

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Robotik	1
1.2 Animatronik.....	1
1.2.1 Animatroniğin Tarihsel Gelişimi	2
1.3 Yapılmış Robotik Kol Çalışmaları	6
1.4 Tekinsiz Vadi (The Uncanny Valley)	9
1.5 Tezin Ana Hatları	10
BÖLÜM İKİ - ROBOT KOL MEKANİK TASARIMI	12
2.1 Üç Boyutlu Baskı Parametrelerinin Belirlenmesi	12
2.2 Robot Kolun SolidWorks Ortamında Tasarımı.....	13
2.2.1 El Tasarımı.....	13
2.2.2 Bilek Tasarımı.....	19
2.2.3 Ön Kol Tasarımı	21

BÖLÜM ÜÇ - ROBOT KOL ELEKTRONİK TASARIMI 25

3.1 Arduino Mikro Denetleyici Kartı	26
3.2 Kol Kontrol Ana Kartı.....	27
3.2.1 HC-06 Bluetooth Modülü	27
3.3 Motor Kontrol Uydu Kartı ve Güç ve İletişim Hattı Dağıtım Kartı.....	28
3.4 Sensör Kontrol Uydu Kartı.....	29
3.4.1 Kuvvet Duyarlı Direnç (FSR).....	30
3.5 Batarya Kontrol Kartı	32
3.6 Pil Ünitesi	35

BÖLÜM DÖRT - YAZILIM..... 36

4.1 Seri İletişim	36
4.1.1 Asenkron Seri İletişim	37
4.1.2 Senkron Seri İletişim	38
4.1.3 I ² C İletişim Protokolü	39
4.1.4 Bluetooth İletişim Temelleri.....	40
4.2 Kol Kontrol Ana Kartı Yazılım Algoritması.....	41
4.3 Motor Kontrol Uydu Kartı Yazılım Algoritması	44
4.4 Sensör Kontrol Uydu Kartı Yazılım Algoritması.....	45
4.5 Batarya Kontrol Kartı Yazılım Algoritması	46
4.6 Android Yazılım Algoritması.....	47

BÖLÜM BEŞ - MALİYET..... 51

BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR..... 52

KAYNAKLAR 56

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Vaucanson'un flütçüsü	3
Şekil 1.2 Vaucanson'un ördeği.....	3
Şekil 1.3 Elektro ve sparko	4
Şekil 1.4 Evcil robot köpek Aibo	5
Şekil 1.5 Asimo.....	5
Şekil 1.6 Unimate, ilk endüstriyel robot kol	7
Şekil 1.7 Tondu ve arkadaşları tarafından üretilen robot kol.....	7
Şekil 1.8 Esnek robot elin entegre edileceği robot kol dizaynı ve robot el.....	8
Şekil 1.9 Paik ve arkadaşları tarafından üretilen insansı robot kol	8
Şekil 1.10 Tekinsiz vadi.....	9
Şekil 2.1 Fast honeycomb dolgu şekli	12
Şekil 2.2 El ana gövde tasarımı.....	14
Şekil 2.3 Tendon kanalları kesit görünümü	14
Şekil 2.4 Parmak yapısı.....	15
Şekil 2.5 Başparmak yapısı	16
Şekil 2.6 El ön görünüş	17
Şekil 2.7 El üst görünüş	17
Şekil 2.8 El dimetrik perspektifi	18
Şekil 2.9 Başparmak yanal hareket	18
Şekil 2.10 Bilek bölümü.....	19
Şekil 2.11 Bilek hareketini sağlayan mekanizma	20
Şekil 2.12 Hareket mekanizmasının bilek içi yerleşimi.....	20
Şekil 2.13 Bilek patlama görünümü.....	21
Şekil 2.14 Ön kol tasarımı.....	22
Şekil 2.15 Ön kol iç görünüm	22
Şekil 2.16 Servo motor yatağı.....	23
Şekil 2.17 Kasnak yapısı	23
Şekil 2.18 Kasnak boyutunun önemi	24
Şekil 3.1 Robot kol genel elektronik şeması	26

Şekil 3.2 Arduino Pro Mini.....	27
Şekil 3.3 Arduino Mega 2560 Rev3.....	27
Şekil 3.4 HC-06 bluetooth modülü	28
Şekil 3.5 Motor kontrol uydu kartı ve güç ve iletişim hattı dağıtım kartı.....	29
Şekil 3.6 Sensör kontrol uydu kartı.....	30
Şekil 3.7 Avuç içine yerleştirilen FSR.....	31
Şekil 3.8 Gerilim bölücü devre	31
Şekil 3.9 FSR sensörünün avuç içi yerleşimi.....	32
Şekil 3.10 Batarya kontrol kartı	34
Şekil 3.11 Batarya kontrol kartı devresi.....	34
Şekil 3.12 Li-Ion pil ünitesi	35
Şekil 4.1 Paralel iletişim	36
Şekil 4.2 Seri iletişim	37
Şekil 4.3 Asenkron seri iletişimde veri transferi.....	38
Şekil 4.4 Senkron seri iletişimde veri transferi	39
Şekil 4.5 I ² C cihazları arası bağlantı şeması	39
Şekil 4.6 I ² C üzerinden adres ve veri çerçeveleri iletimi	40
Şekil 4.7 Bluetooth ağı (Piconet) örneği	41
Şekil 4.8 Kol kontrol ana kartı yazılım algoritması	44
Şekil 4.9 Motor kontrol uydu kartı yazılım algoritması.....	45
Şekil 4.10 Sensör kontrol uydu kartı yazılım algoritması.....	46
Şekil 4.11 Batarya kontrol kartı yazılım algoritması	47
Şekil 4.12 Android yazılım algoritması-1	48
Şekil 4.13 Android yazılım algoritması-2.....	49
Şekil 4.14 Android kullanıcı arayüzü.....	50
Şekil 6.1 İnsansı robot kol tasarım ve gerçekleştirilmiş hali ön görünüş	52
Şekil 6.2 İnsansı robot kol tasarım ve gerçekleştirilmiş hali arka görünüş	53
Şekil 6.3 İnsansı robot el tasarım ve gerçekleştirilmiş hali ön görünüş	53
Şekil 6.4 İnsansı robot el tasarım ve gerçekleştirilmiş hali arka görünüş	54
Şekil 6.5 İnsansı robot kol motor yerleşimi ve tendonlar	54

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Baskı parametrelerine göre parça mukavemeti değişimi	13
Tablo 4.1 İnsansı robot kol kontrol komutları	43
Tablo 4.2 Servo motor kontrol açıları	45
Tablo 5.1 Robot kol maliyet tablosu	51



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1969 yılında tanımı yapılan Mekatronik bilim alanı hem tasarım felsefesi ve multidisipliner yapısı hem de özellikle elektronik ve yazılımın hızlı gelişimi ile günümüzde üretimden tüketime birçok alanda belirleyici olmuştur (Auslander, 1996). Makine, Elektrik Elektronik ve Bilgisayar bilimleri temelleri üzerine kurulmuş Mekatronik bilimi günümüzde yapay zekanın da desteği ile akıllı makine veya akıllı robot kavramını ortaya çıkarmıştır. Akıllı makineler veya akıllı robotların gelişmesinde mekanik yapıların elektronik yardımıyla boyutlarının indirgenmesi, gelişmiş sensörler ve kontrol yazılımları ile güvenliklerinin artırılması ve kolay kullanılabilmesi de önemli rol oynamıştır.

1.1 Robotik

İlkçağdaki örneklerini de ele alan bir robot ve robotik tanımı, doğanın devinim mekanizmalarını, yürümek, sürünmek, uçmak, yüzmek gibi eylemleri taklit eden makineler ve bunlarla ilgili bilim dalıdır şeklinde yapılabilir (Çamoğlu, 2013). Günümüzde kullanılan robot tanımı ise bir operatör tarafından kumanda edilen veya otonom olarak hareket edebilen, sensörleri, aktuatörleri, kontrol mekanizmaları ve mekanik yapıları ile üretim, tıp, eğitim, eğlence gibi alanlarda hizmet veren yapılardır diyebiliriz (Çamoğlu, 2013). Robotlar birer mekatronik sistemlerdir. Bundan dolayı robotik, Mekatronik Bilimi alt dalıdır.

1.2 Animatronik

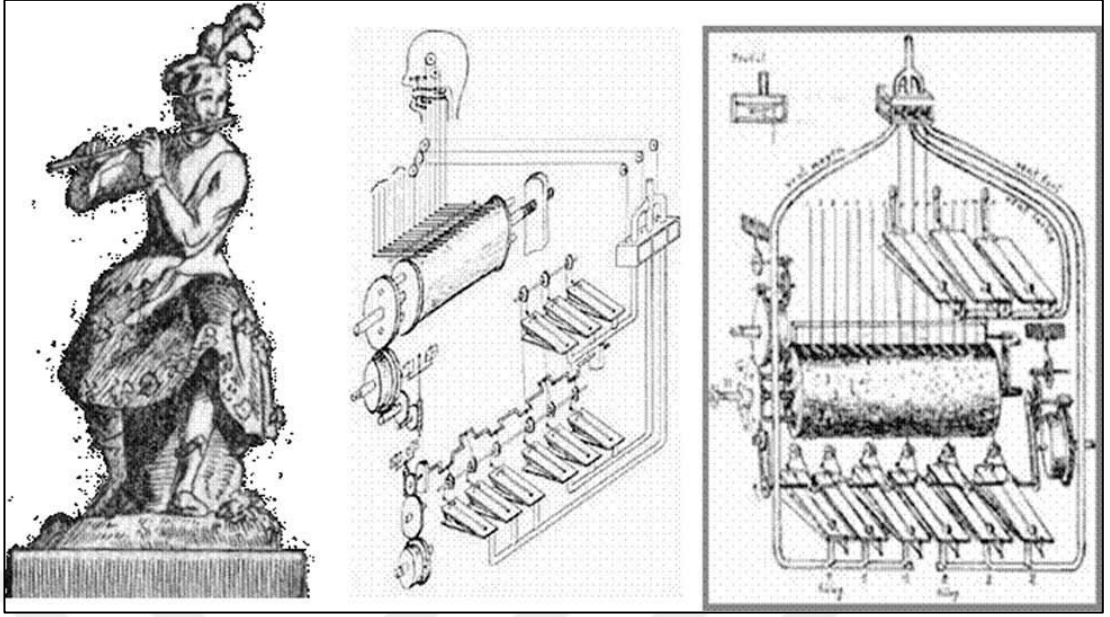
Animatronik, robotik yapıların insan ve hayvan davranışlarını taklit ederek yaşamsal özelliklerin cansız nesnelere kazandırılmasını sağlayan bir mekatronik alt dalıdır (T. Akkan, L. Ö. Akkan ve Çelik, 2016). Canlı hareketlerinin ve görünüşlerinin birebir taklit edilmeye çalışılması nedeniyle animatronik sistemler, bir canlıyı taklit amacının olmadığı maliyet ve fonksiyonelliğin ön planda tutulduğu, istenilen görevi yapmak üzere tasarlanmış robotik sistemlerden ayrılmaktadır. Animatronik sistemler

özellikle film endüstrisinde ve eğlence sektöründe (tema parklar gibi) kullanılmaktadır. Aktör ve havyan hayatı için risk yaratan, bunların kullanımının maliyetli olacağı veya hayvan ve aktör kullanımının mümkün olmadığı sahnelerin çekiminde animatronik sistemlerden yararlanılmaktadır. Ayrıca günümüzde nesli tükenmiş hayvanlar bu alan sayesinde gerçekçi bir şekilde sinemada canlandırılabilmekte ve müzelerde sergilenebilmektedir. Bu alan biyomekanik, kontrol, malzeme ve üretim prosesleri, endüstriyel dizayn ve kostümcülük gibi bir çok alandan yararlanır (Sirinterlikci ve Mativo, 2005).

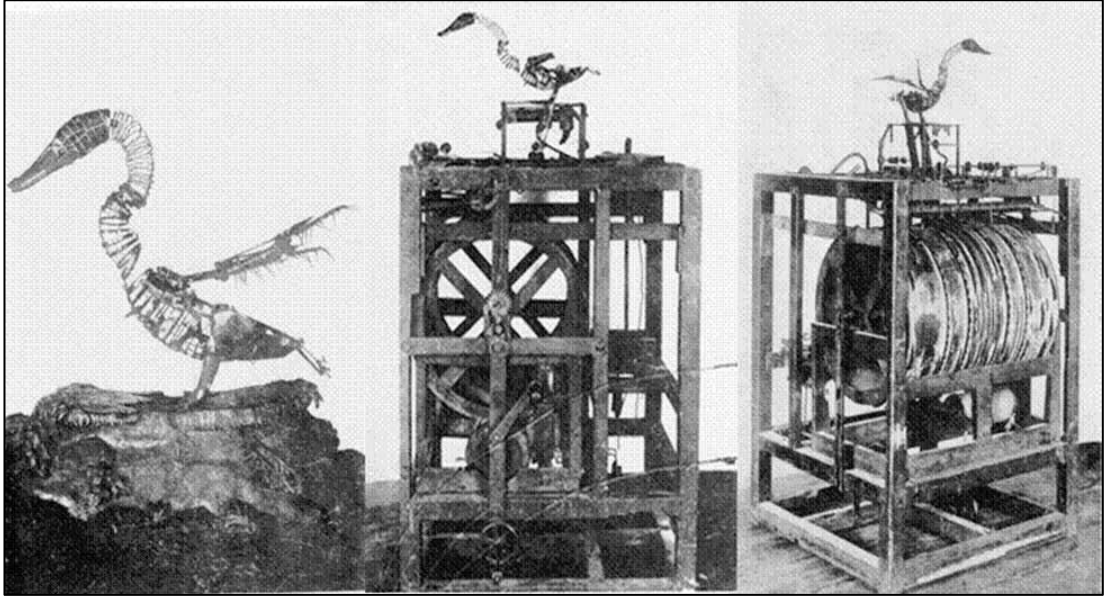
1.2.1 Animatroniğin Tarihsel Gelişimi

Otomat, önceden belirlenmiş bir dizi işlemi yerine getirmek veya bunlara cevap vermek için tasarlanmış insan operatörlüğünde de çalışabilen mekanik yapılardır. Otomatlar, robotiğin tarihsel gelişim sürecinde ortaya çıkan örnekler olmasına karşın animatroniğin de tarihini oluşturmaktadırlar (T. Akkan ve diğer., 2016).

İlkçağ ve ortaçağda tasarlanan öncül animatronik sistemleri geride bırakacak olursak modern çağda üretilen sistemlerin günümüzde üretilen sistemlere daha yakın olduğunu görmekteyiz. 1495 yılında Leonardo Da Davinci tarafından tasarlanan ve yapılan araştırmalarda bir Alman şövalyesinin dış görünüşüne sahip olduğu bilinen robotun alt gövdesi, ayak bileği, diz ve kalça eklemlerini barındıran üç serbestlik dereceli bacaklardan, üst gövdesi ise omuzları, dirsekleri, bilekleri ve elleri barındıran dört serbestlik dereceli kollardan oluşmaktaydı (Moran, 2006). Davinci'nin şövalye robotu ve kuralı bir saat mekanizması ile çalışan Aslan otomatı (Bedini, 1964) animatronik ve robotiğin ilk modern çağ örneklerindendir. Fransız mühendis Jacques de Vaucanson tarafından 1737 yılında parmakları gerçek bir insan gibi hareket eden, 12 farklı müziği gerçek bir flüt ile çalabilen Flütçü (Moran, 2007), 1739 yılında suda oynayan, kanatlarını hareket ettiren, boynunu uzatan, gövdesini kaldıran, yemek yiyip sindiren ve dışkılayan bir ördek yanılsaması gösteren Sindiren Ördek (Cottom, 1999) üretildi.



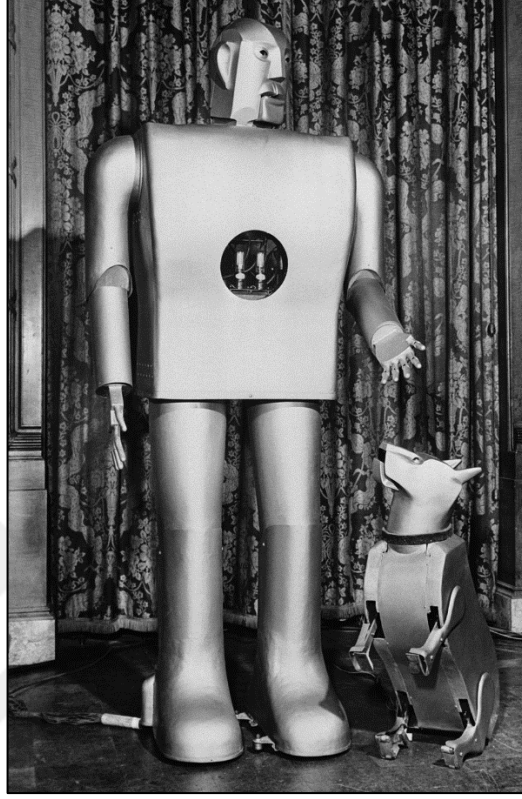
Şekil 1.1 Vaucanson'un flütçüsü (Moran, 2007)



Şekil 1.2 Vaucanson'un ördeği (Moran, 2007)

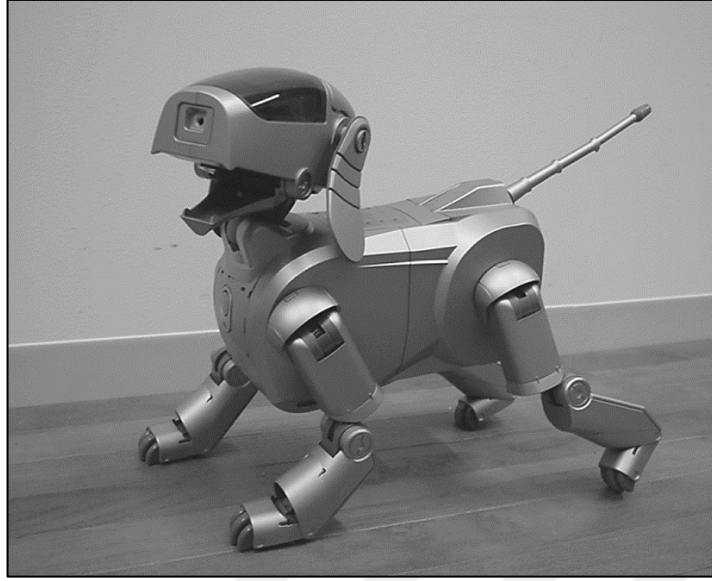
Günümüze yakın modern örneklerden biri New York Dünya fuarında (1939-1940) sergilenen Elektro isimli robot ve ona arkadaş olarak tasarlanan köpeği Sparko'dur. Elektro, 2,13 m boyunda ve 135 kg ağırlığında olmasına rağmen bir insana benziyordu. Yürüyebiliyor ve dans edebiliyordu. 77 adet kelime söyleyebiliyor ve 10'a kadar

sayabiliyordu (Friedenberg, 2010). Sparko ise havlayabiliyor, oturabiliyor ve arka ayaklarıyla öne atılabiliyordu (N. Sharkey ve A. Sharkey, 2009).



Şekil 1.3 Elektro ve sparko (Friedenberg, 2010)

1961 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde Ernst (1962) tarafından bilgisayar kontrollü mekanik el MH-1 geliştirilmiştir. Animatroniğin film endüstrisinde kullanımına ilişkin en iyi ve hafızalarda yer edinen örneklerden biri 1993 yılında Jurassic Park filmi için gerçek boyutlarında üretilen T-Rex (Tyrannosaurus rex)'tir. 1999 yılında AIBO isimli sevinç ve öfke hislerine tepki verebilen, 16 serbestlik derecesine sahip evcil robot köpek yapılmıştır (Fujita, 2001).



Şekil 1.4 Evcil robot köpek Aibo (Fujita, 2001)

2000 yılında 1,2 m boyunda ve 43 kg ağırlığında ASIMO isimli insansı robot tanıtılmıştır. İnsanlara yardımcı olmak için üretilen ASIMO, yürüme, merdiven çıkma, koşma gibi aktiviteleri gerçekleştirebilmektedir (Hirose ve Ogawa, 2007).



Şekil 1.5 Asimo (Hirose ve Ogawa, 2007)

2000’li yılların başından itibaren insanlar tarafından yapılan işleri daha yüksek hassasiyette yapmak, insanların giremeyeceği tehlikeli ve ağır işlerde çalışmak, insan üzerindeki fiziki ve hatta zihinsel iş yükünü azaltmak amacıyla insan veya hayvan formunda robotik yapılar üretilmektedir.

Özellikle insan elinin dar alanlarda çalışması, yapısı itibariyle birçok iş için uygun olması onun robotik sistemler için oldukça verimli bir uç işlevcisi (end-effector) olduğu gerçeğini ortaya çıkarmaktadır. Ancak günümüzde özellikle üretim için böyle bir el kullanılmamaktadır. Robotik sistemler buradan kaynaklı dezavantajı, yapılacak işleme uygun takım değiştirme (tool changing) operasyonu ile kapatmaktadırlar. Bu maliyet ve zaman kaybına neden olmaktadır. Medikal alanda ise robotik el ve kol tasarımları uzuvlarını kaybetmiş kişiler için uygulanmakta ve geliştirilmektedir. Hem üretim hem de medikal alanda bu tip el ve kolların geliştirilmesinin yanı sıra bu el ve kolların belirli hassasiyette çevrelerinden gelen etkiyi algılamaları ve buna uygun tepkiler gösterebilmeleri amacıyla uygun maliyetli tasarımlar geliştirilmeye çalışılmaktadır.

1.3 Yapılmış Robotik Kol Çalışmaları

Bu kısımda daha önce yapılmış robotik el ve kol çalışmalarından örnekler verilecektir.

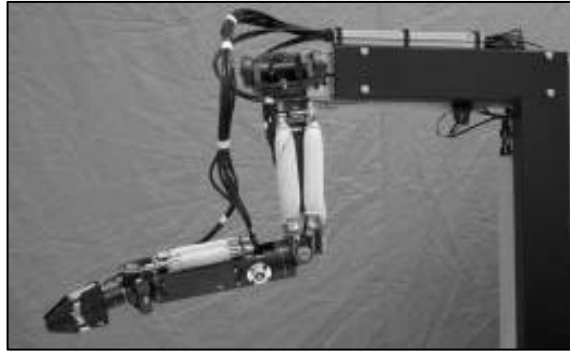
İlk endüstriyel robot kol prototipi, Codec kuruluşu olan Consolidated Controls Corp. müdürü Joseph Engelberger’in Codec CEO’sunu, George Devol’un buluşunu finanse etmek için ikna etmesiyle 1959 yılında üretildi - Unimate #001. Engelberger, insanlara zararlı görevlerde robotları kullanmaya odaklandı. Bu strateji ile 1959 yılında Trenton New Jersey’deki General Motors döküm hattına yaklaşık ağırlığı 1200 kg olan Unimate #001’i kurdu. 1961 yılına kadar Unimate 1900 serisi fabrika otomasyonu için ilk seri üretim robot kolu haline geldi. 1969 yılında General Motors Lordstown, Ohio’ daki fabrikasına Unimate punta kaynak robotlarını entegre ederek saatte rakiplerinin iki katı miktarda 110 adet otomobil üretti. BMW, Volvo, Mercedes

Benz, İngiliz Leyland ve Fiat gibi üreticiler de hızlı davranarak Unimate robot kollarını fabrikalarına kurdular (Anonim, b.t).



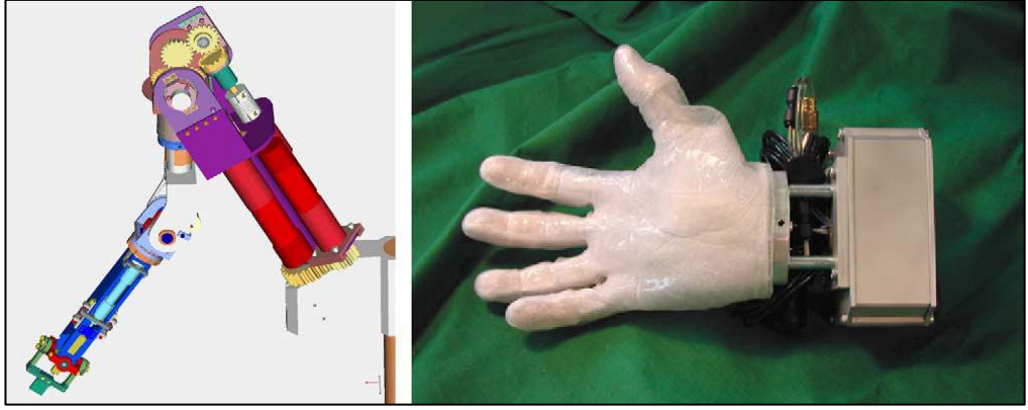
Şekil 1.6 Unimate, ilk endüstriyel robot kol (Anonim, b.t)

Tondu, Ippolito ve Guiochet (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmada örgülü pnömatik McKibben yapay kasları kullanılarak 7 serbestlik dereceli insansı bir robot kol üretilmiştir. Kasların pnömatik aracılığıyla hareket ettirilmesi insan kaslarında hareket esnasında görülen kasılıp gevşemelerin bu yapay kaslarda da benzer bir şekilde gözlemlenmesini sağlamaktadır.



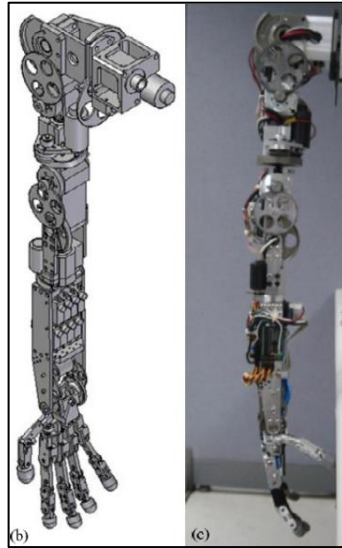
Şekil 1.7 Tondu ve arkadaşları tarafından üretilen robot kol (Tondu ve diğer., 2005)

Osswald ve diğer. (2004) tarafından yapılan çalışmada 11 serbestlik dereceli esnek insansı robot el, 7 serbestlik dereceli bir robot kola entegre edilerek elin cisimleri kavraması üzerinde çalışılmıştır. Hidrolik bir sistem ile çalışan el, dokunma ve basınç sensörleri ile donatılmıştır.



Şekil 1.8 Esnek robot elin entegre edileceği robot kol dizaynı ve robot el (Osswald ve diğer., 2004)

Paik, Shin, Bang ve Shim (2012) tarafından yapılan çalışmada 7 serbestlik derecesine sahip kol bölümü ve 8 serbestlik derecesine sahip el bölümünden oluşan insansı bir robot kol üretilmiştir. Yapılan robot kol, gerçekçi bir insan kolu ölçülerindedir ve servo motorlar aracılığıyla hareket etmektedir. Geleneksel tork sensörlerini kullanmadan her ekleme dışarıdan gelen etkileri motorlarıyla algılayabilmektedir. Algoritması sayesinde engellerden kaçabilmekte ve nesneleri kavrayabilmektedir.



Şekil 1.9 Paik ve arkadaşları tarafından üretilen insansı robot kol (Paik ve diğer., 2012)

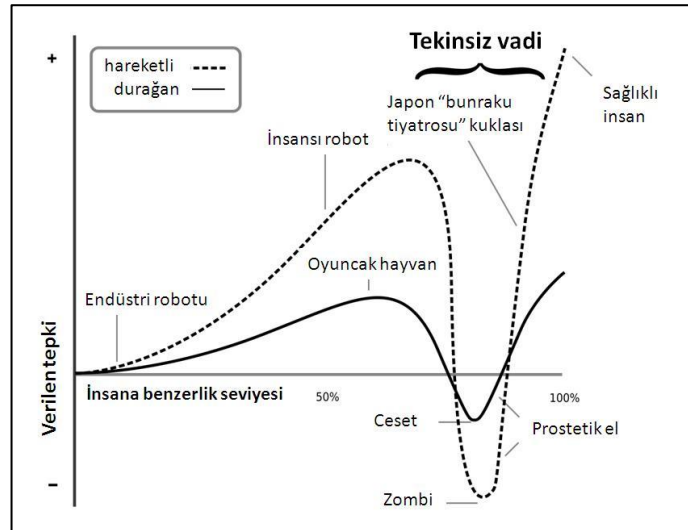
Yüzgeç, Büyüktepe, Karakuzu (2016) tarafından yapılan çalışmada servo motor kontrollü bir insansı robot kol 3 boyutlu yazıcı aracılığıyla üretilmiştir. Robot kolun uzaktan kontrolü için flex sensörler kullanılarak direnç değişimine duyarlı bir eldiven

üretimiştir. Eldiven üzerindeki sensörlerde meydana gelen direnç değişimiyle orantılı olarak robot kol içerisindeki servo motorlar pozisyon değiştirmekte ve parmakların belirlenen açılarda açılıp kapatılması sağlanmaktadır.

Yukarıda birbirinden farklı sistemlerle kontrol edilebilen robot kol örnekleri verilmiştir. Bu örnekleri çoğaltmak mümkündür.

1.4 Tekinsiz Vadi (The Uncanny Valley)

Günümüzde insansı robotik yapıların gerçeklikleri oldukça artmıştır. Bu noktada insanlar bu yapıları veya bu yapıların tam gelişmemiş versiyonlarını gördüklerinde çeşitli tepkiler vermektedirler. 1970 yılında yayınlanan The Uncanny Valley (Mori, MacDorman ve Kageki, 2012) isimli denemesinde Masahiro Mori, insanların neredeyse insan gibi görünen ve hareket eden robotlara tepkisinin nasıl olduğu konusuna değindi. Özellikle, bir insanın insan benzeri bir robota verdiği tepkinin belirli bir noktada aniden empatiden iğrenmeye geçeceği görüşünü belirtti. Bu nokta tekinsiz vadi (The Uncanny Valley) olarak adlandırılır. Eğer ki robot neredeyse insan ya da tam insan olarak gerçekleştirilebilirse tekinsizlik bölgesinden tekrar olumlu bölgeye geçiş sağlanacaktır.



Şekil 1.10 Tekinsiz vadi (İnce, 2011)

1.5 Tezin Ana Hatları

Bu tez çalışmasında insansı bir robot kolu tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Kolun mekanik tasarımı Gael Langevin tarafından tasarımı yapılan InMoov projesini (Langevin, 2014) temel alarak yeniden çizilmiş ve yeni özgün bir tasarım yapılmıştır. Yeni tasarımda hem kol içi bölgelerde rahat çalışabilmek hem de bir önceki kısımda anlatılan “Tekinsiz Vadi” bölgesine girmemek için insansı görünüşe çok bağlı kalınmamıştır. Nitekim Inmoov projesinin tam tasarımı bu konulara aşina olmayan kişilerde olumsuz etkiler uyandırmaktadır.

Tezin ikinci bölümünde yapılan mekanik tasarım ve kullanılan hareketsiz ve hareketli parçalar anlatılmaktadır. Robot kolun mekanik tasarımı SolidWorks CAD programında yapılmıştır. Robot kolun el bölümünün bilek ve parmak mekanik hareketleri RC servo motorlar tarafından sağlanmaktadır. Bu kısımda parmak hareketlerini sağlayan motorların konumlandırılması ve mekanik çekme hareketlerinin sağlandığı bölümlerde iyileştirmeler yapılmıştır. Tasarım üç boyutlu yazıcıdan PLA malzeme kullanılarak basılmıştır. Tüm plastik parçalar, motorlar, mekanik tendon yapıları, elektronik kartlar, kablolar birbirlere eklenerek montaj tamamlanmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde elektronik sistemin birleştirilmesi, taşıyıcı prototip kartların üretilmesi ve aralarındaki kablo bağlantılarının yapılması gerçekleştirilmiştir. Mikrodenetleyici kartları, pil ünitesi, pil şarj durum devresi, kuvvet duyarlı direnç ve gerekli elektronik bileşenler; önkol, avuç içi ve avuç üstüne yerleştirilmiştir. Elektronik mikrodenetleyici kartları arasındaki iletişim kolun parmak ucundan ön kol bitişiğine kadar 2 veri hattı, gerilim ve toprak hattı olmak üzere 4 kablo üzerinden I²C seri iletişim protokolü ile sağlanmaktadır.

Tezin dördüncü bölümünde kontrol ve arayüz yazılımlarının algoritmaları ve çalışmaları anlatılmıştır. Robot kolunun ana kontrol yazılımı Arduino Mega kartı üzerindedir. Bu kart I²C master olarak konfigüre edilmiştir. Parmak ve bilek hareketini

kontrol eden uydu Arduino Pro Mini ve Avuç içi algılayıcıyı kontrol eden 2. uydu Arduino Pro mini I²C üzerinden kontrol edilmektedir.

Beşinci bölümde kolun toplam maliyetine ait bir tablo verilmiştir.

Altıncı bölümde tasarlanan ve gerçekleştirilen robot kol ile ilgili sonuçlar, tartışma ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalar anlatılmaktadır. Ayrıca farklı açılardan tasarım ve gerçekleştirilen kol resimleri verilmiştir.

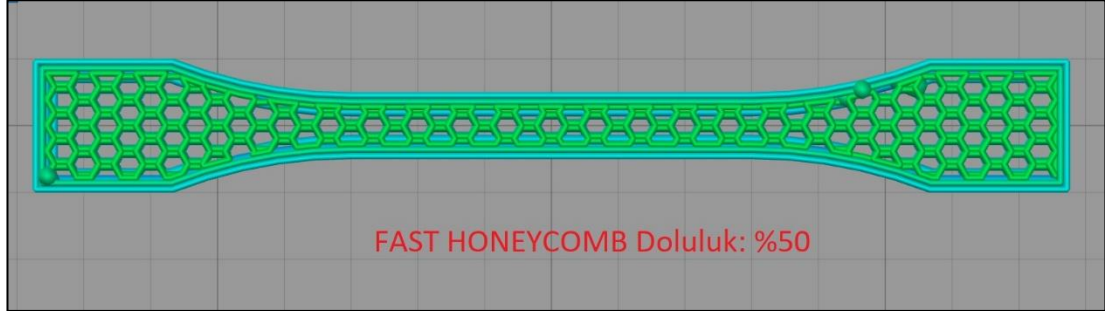


BÖLÜM İKİ

ROBOT KOL MEKANİK TASARIMI

2.1 Üç Boyutlu Baskı Parametrelerinin Belirlenmesi

Tasarımı yapılan kol, PLA hammaddesi ile FDM (Fused Deposition Modeling) teknolojili bir 3 boyutlu yazıcıda üretilmiştir ve üzerine belirli bir yük uygulanmaktadır. Basılan parçanın dayanımında katman yüksekliği, baskı sıcaklığı, dolgu deseni, baskı hızı, soğutma fanı ve plastik ömrü gibi parametreler belirleyici olmaktadır (Öztürk ve Kural, 2017). Dayanıma etki eden en önemli faktörler katman yüksekliği, baskı sıcaklığı ve dolgu desenidir. Bu nedenle bu parametrelerde optimum noktanın bilinerek üretimin bu parametre ayarlarında gerçekleştirilmesi robot kolun dayanımı açısından önemlidir. Öztürk ve Kural (2017) tarafından yapılan çalışmada bu parametrelerin PLA malzemesinin çekme dayanımına etkisi incelenerek uygun parametre ayarları elde edilmiştir. Bu ayarlar baskı süresi de dikkate alındığında bal peteğine benzeyen Fast Honeycomb dolgu deseni, 0,2 mm katman kalınlığı ve 210 °C baskı sıcaklığıdır.



Şekil 2.1 Fast honeycomb dolgu şekli

Tablo 2.1 Baskı parametrelerine göre parça mukavemeti değişimi

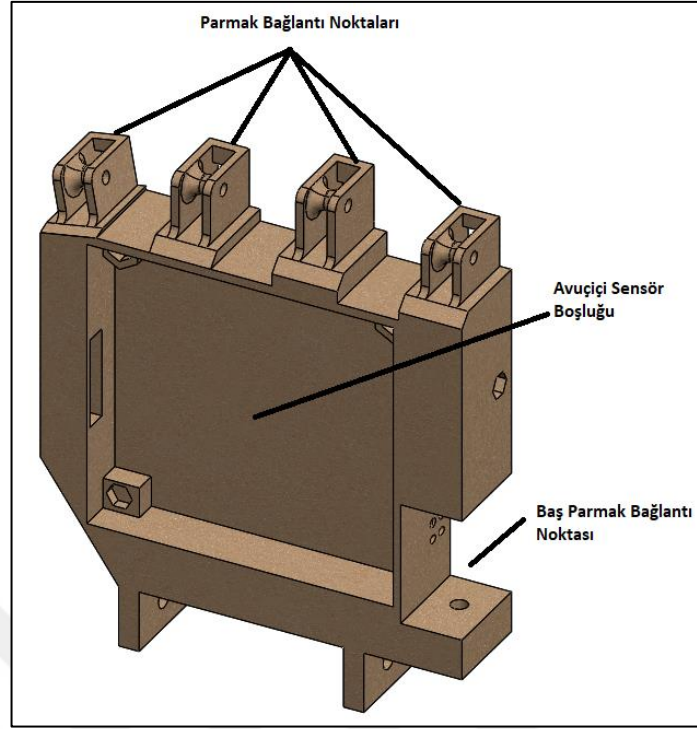
Dolgu Şekli	FAST HONEYCOMB				RECTILINEAR			
Katman Yüksekliği (mm)	0,1		0,2		0,1		0,2	
Sıcaklık (°C)	200	210	200	210	200	210	200	210
Akma Dayanımı (MPa)	41,20	34,875	35,8	36,15	39,30	36,80	29,40	12,80
Çekme Dayanımı (MPa)	48,5625	45,1875	46,6875	44,25	52,9375	51,0625	41,5625	23,625
Kopma Gerilmesi (MPa)	44,70	40,75	39,20	38,70	45,95	43,10	34,35	16,90
Yüzde Uzama	2,2089	1,8790	1,9297	1,8699	2,3130	1,9785	1,6196	1,1366

2.2 Robot Kolun SolidWorks Ortamında Tasarımı

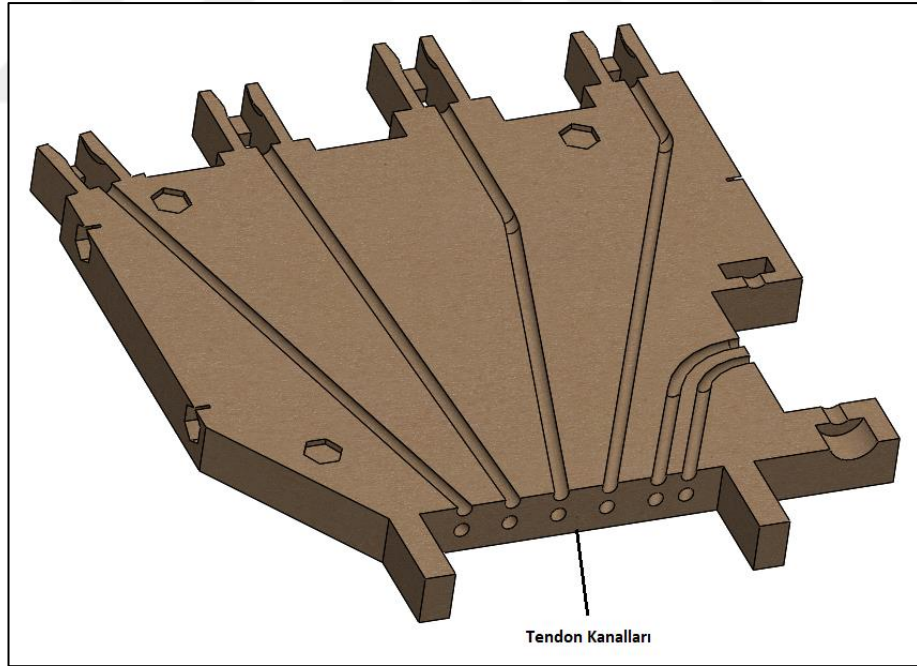
Tasarımı yapılan ön kol ve el yaklaşık olarak 60 adet plastik parçadan oluşmaktadır. Bu nedenle her bir parça tek tek anlatılmak yerine bir grup içerisinde temel işlevi verilerek tanıtılacaktır.

2.2.1 El Tasarımı

El ana gövdesi, 5 adet parmak bağlantı noktası, parmak hareketleri için gerekli tendon yapılarının içerisinde geçtiği 12 adet tendon kanalı, arka bölümünde uydu Arduino Pro Mini için bağlantı noktası ve avuç içi cisim algılama için 75x70,5 mm ölçülerinde sensör boşluğundan oluşmaktadır. Yaklaşık olarak 103 mm eninde, 123 mm boyunda ve 23 mm yüksekliğindedir. Parmak hareketlerini sağlamak üzere yaklaşık 13,6 kg taşıyabilen metal misinalar tendon olarak kullanılmıştır.

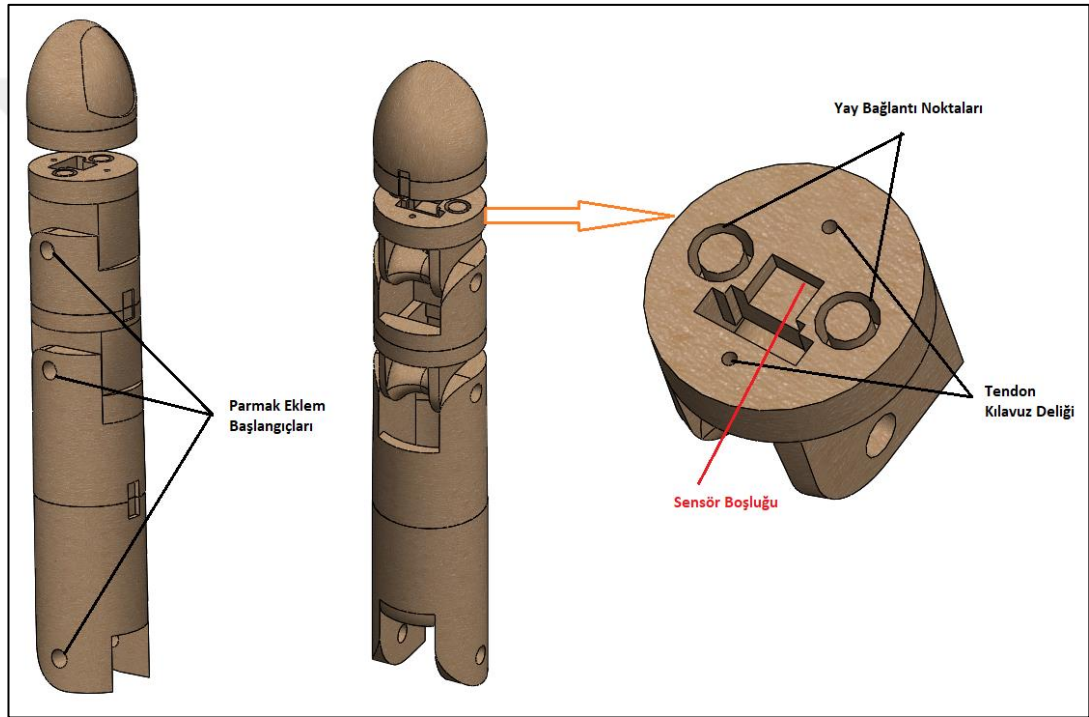


Şekil 2.2 El ana gövde tasarımı

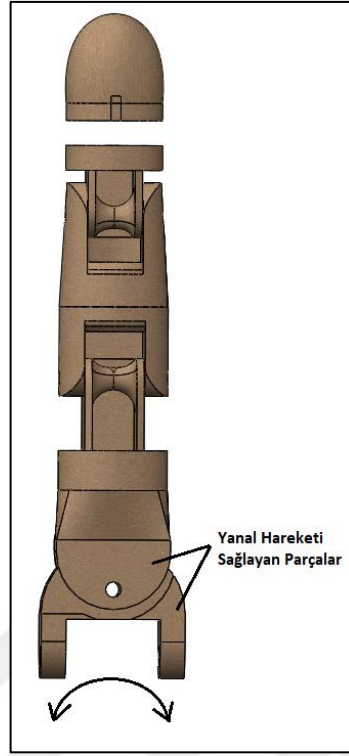


Şekil 2.3 Tendon kanalları kesit görünümü

El parmaklarının her biri başparmak hariç 3 serbestlik derecesine sahiptir, başparmağın, yana eğilme hareketi de yaptığından 4 serbestlik derecesi vardır. Parmak uçları, esnek hareketin sağlanabilmesi için parmak gövdelerine yaylar ile bağlanmıştır. Yay montajının sağlanabilmesi ve sonraki çalışmalarda parmak uçlarında teması algılayacak dikdörtgen kesitli sensör yapılarının eklenebilmesi için parmak çapları bir insana göre daha büyüktür. Parmak çaplarının büyümesi nedeniyle parmak görünümü ve çap – boy oranını korumak için parmak boyları da bir insana göre daha uzun tasarlanmıştır.

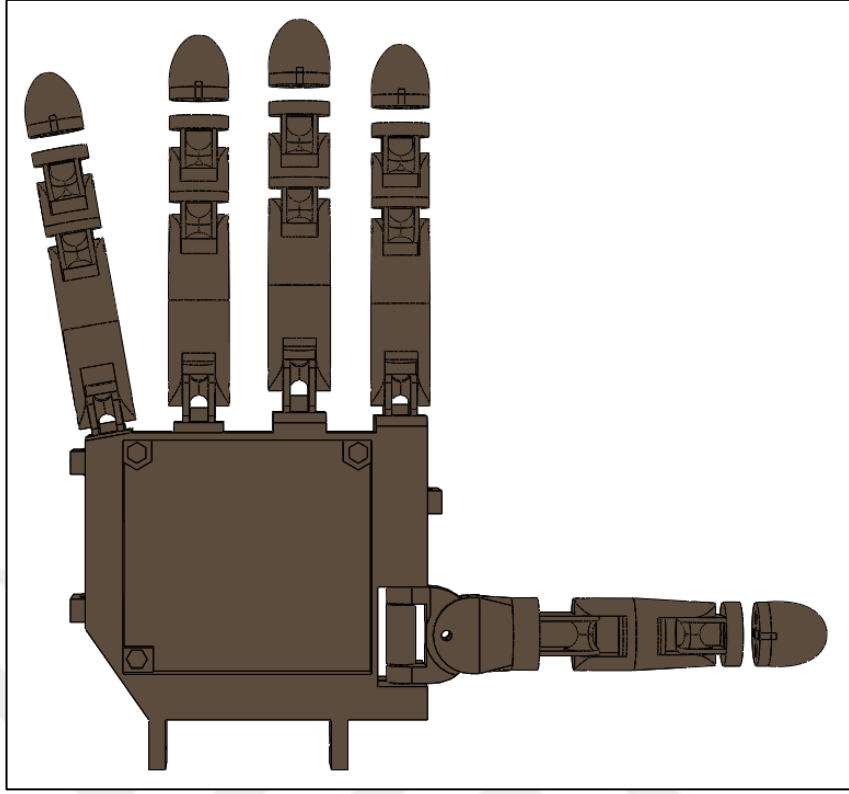


Şekil 2.4 Parmak yapısı

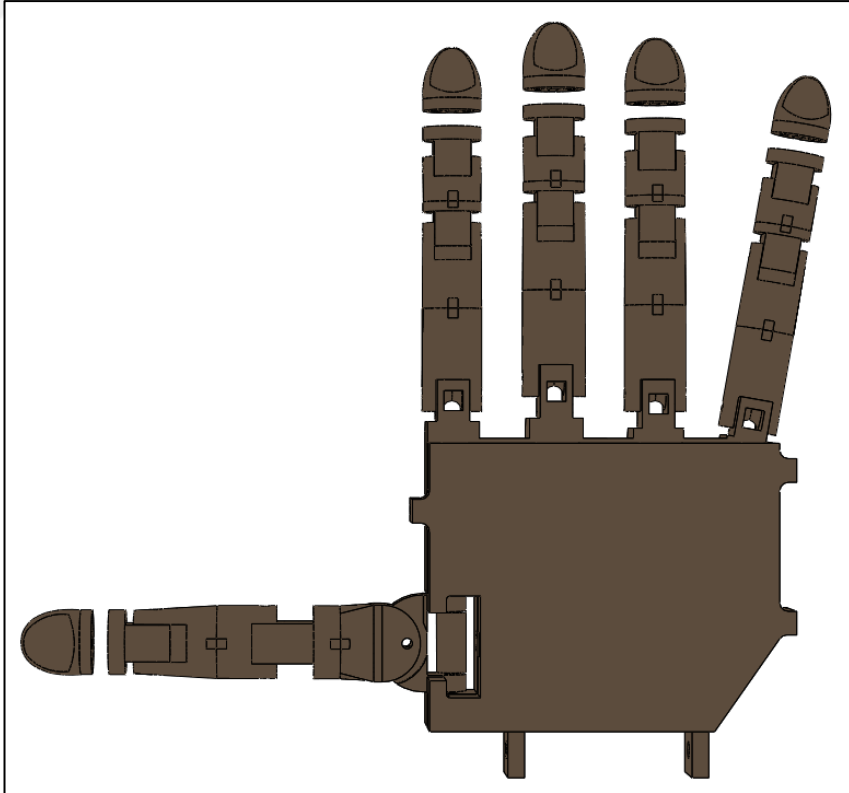


Şekil 2.5 Başparmak yapısı

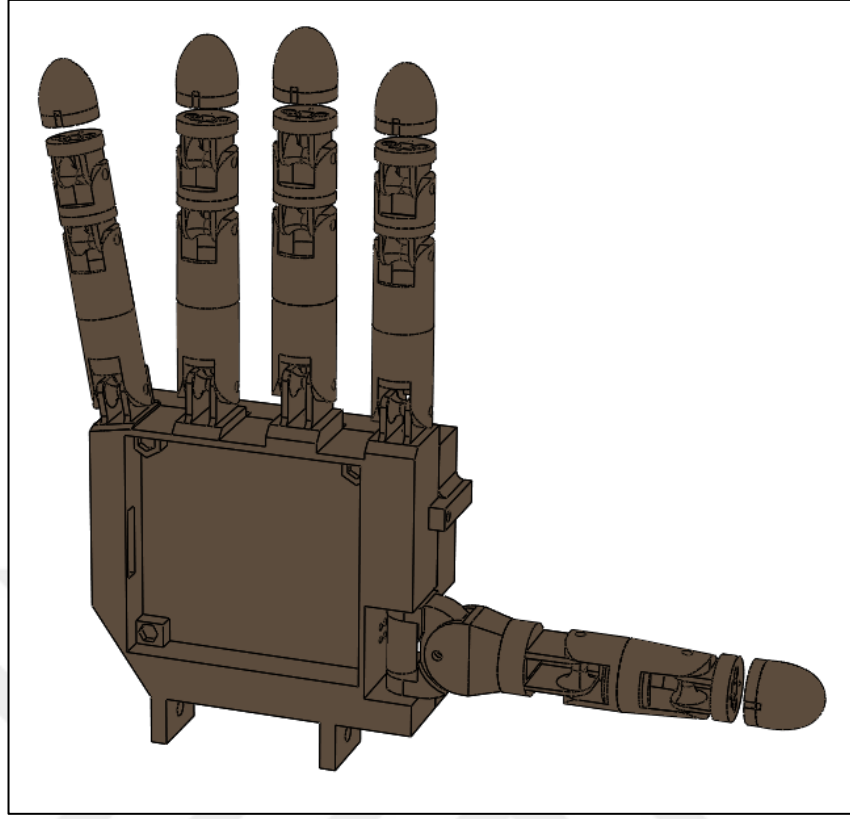
Ortalama olarak işaret parmağı 18 mm çap ve 110 mm uzunluk, orta parmak 19 mm çap ve 113 mm uzunluk, yüzük parmağı 18,5 mm çap ve 112 mm uzunluk, serçe parmak 17,5 mm çap ve 105 mm uzunluk ve başparmak 22 mm çap ve 116 mm uzunluk ölçülerine sahiptir.



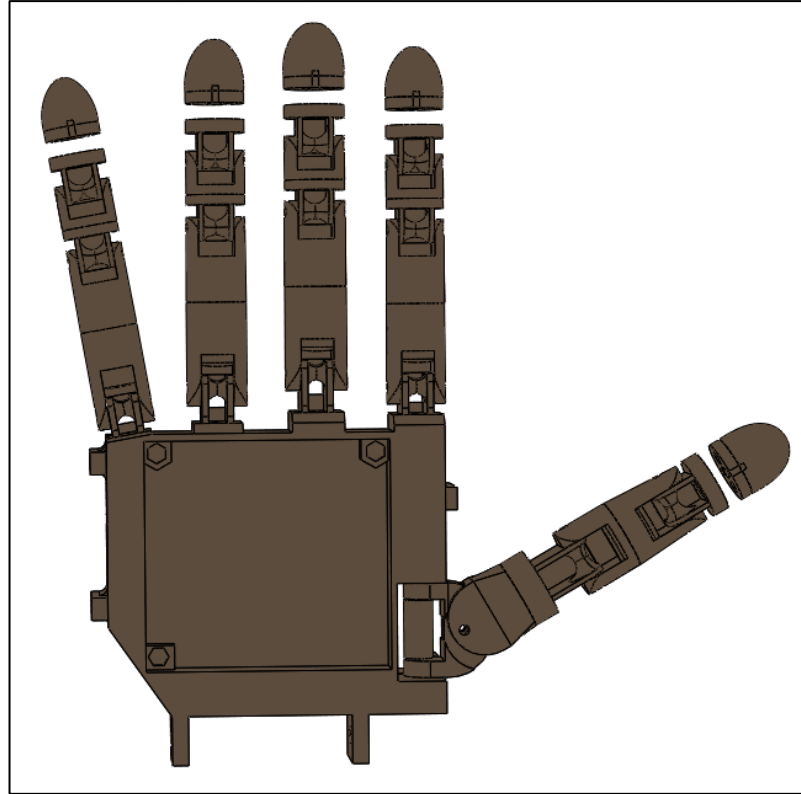
Şekil 2.6 El ön görünüş



Şekil 2.7 El üst görünüş



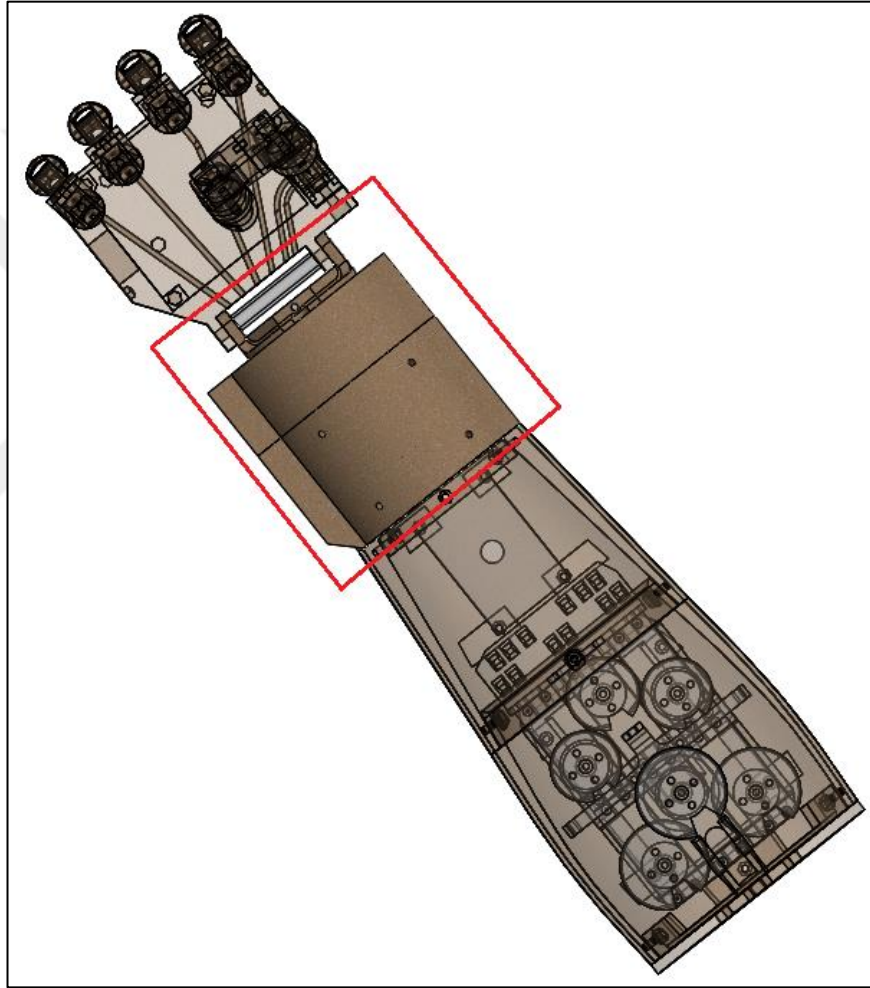
Şekil 2.8 El dimetrik perspektifi



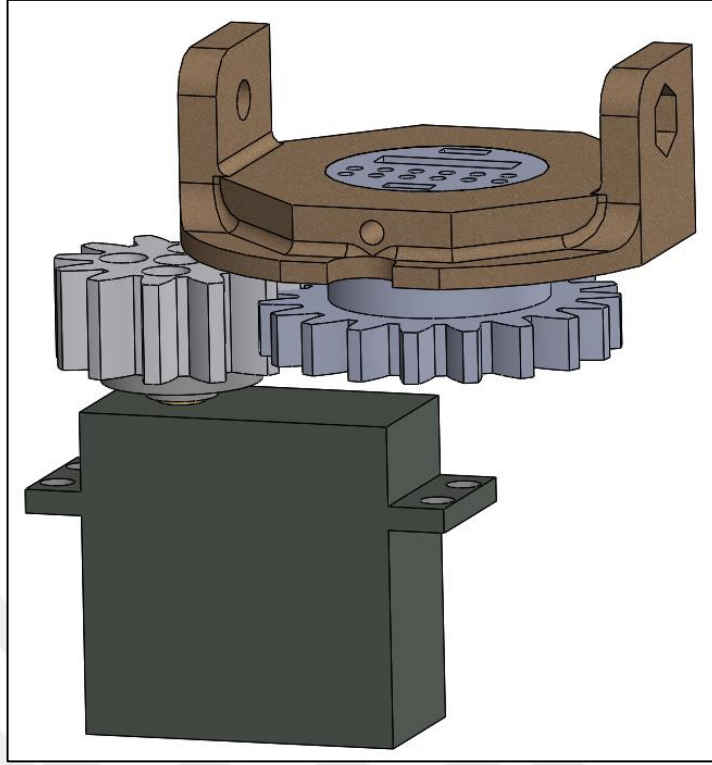
Şekil 2.9 Başparmak yanal hareket

2.2.2 Bilek Tasarımı

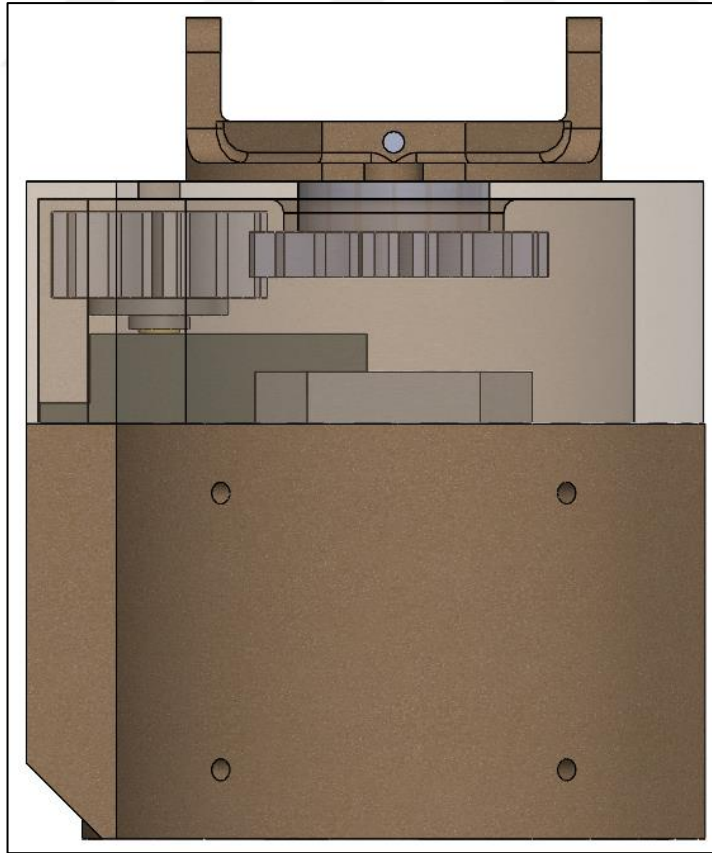
Bilek tek serbestlik derecesine sahip olup yaklaşık 50 derecelik açıda hareket edebilmektedir. Bilek hareketi 15 kg.cm tork gücüne sahip dijital servo motor ve uygulanan torku arttırmak için 1,58:1 oranında çalışan dişli mekanizma ile sağlanmaktadır. Bilek içerisindeki parçalarda hareket esnasında tendonların birbirlerine ve dişlilere dolanmasını önlemek için kılavuz kanallar bulunmaktadır.



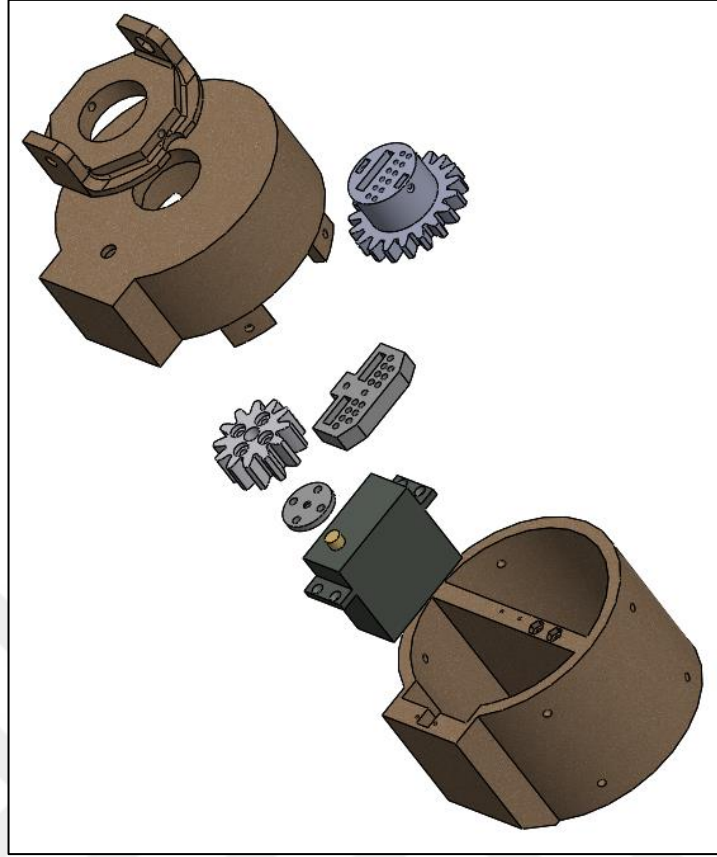
Şekil 2.10 Bilek bölümü



Şekil 2.11 Bilek hareketini sağlayan mekanizma



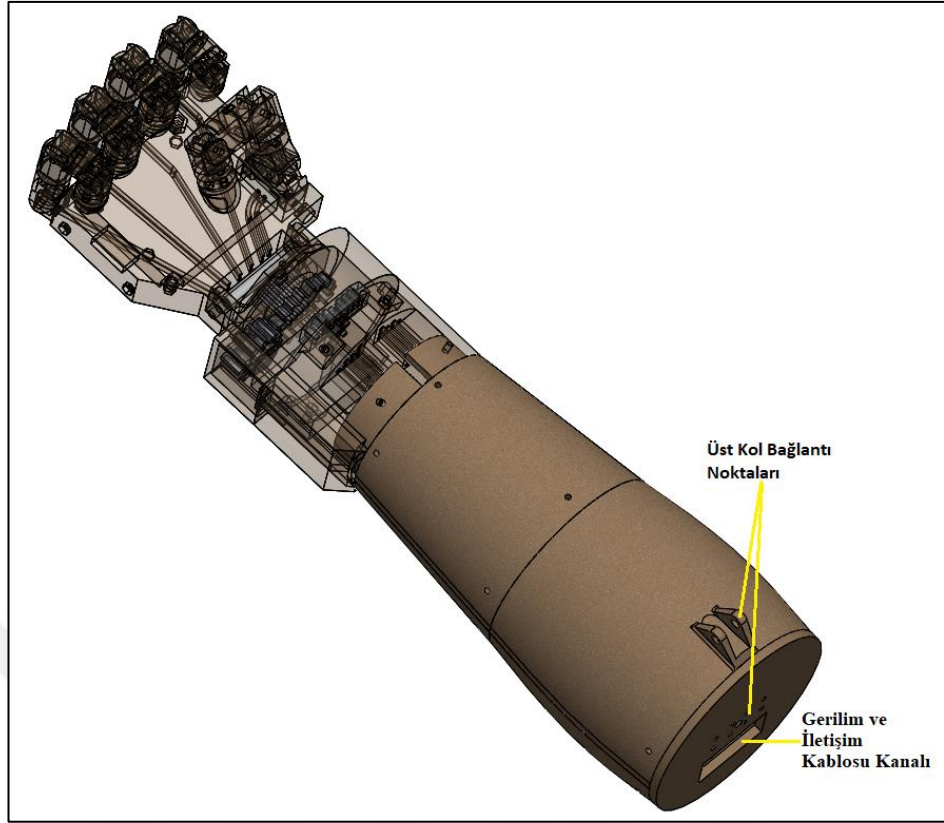
Şekil 2.12 Hareket mekanizmasının bilek içi yerleşimi



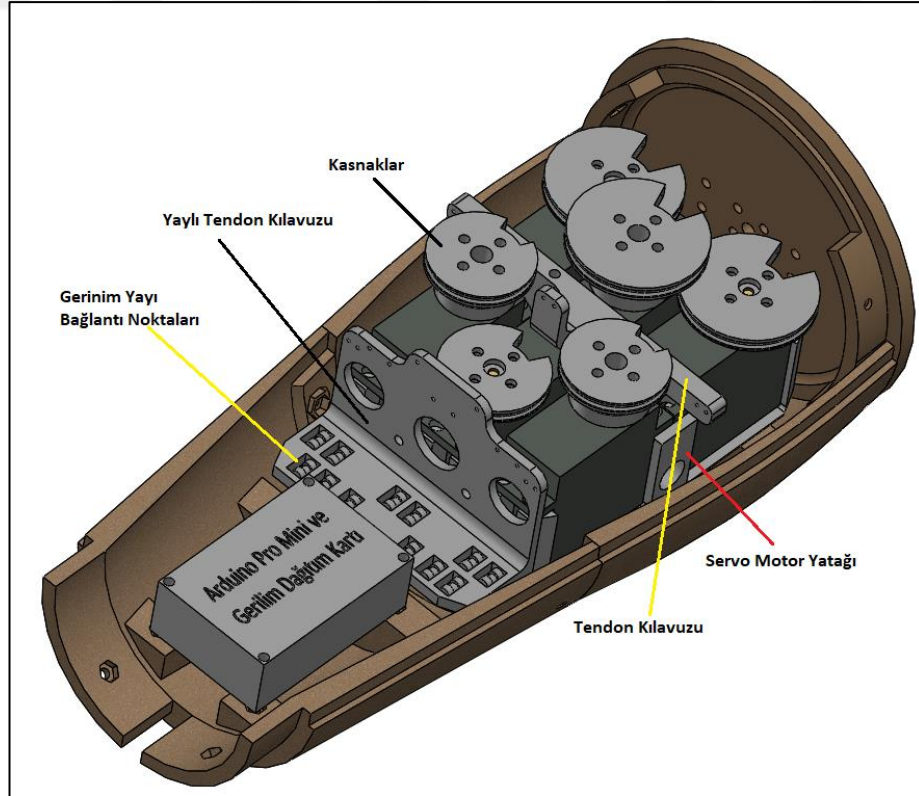
Şekil 2.13 Bilek patlama görünümü

2.2.3 Ön Kol Tasarımı

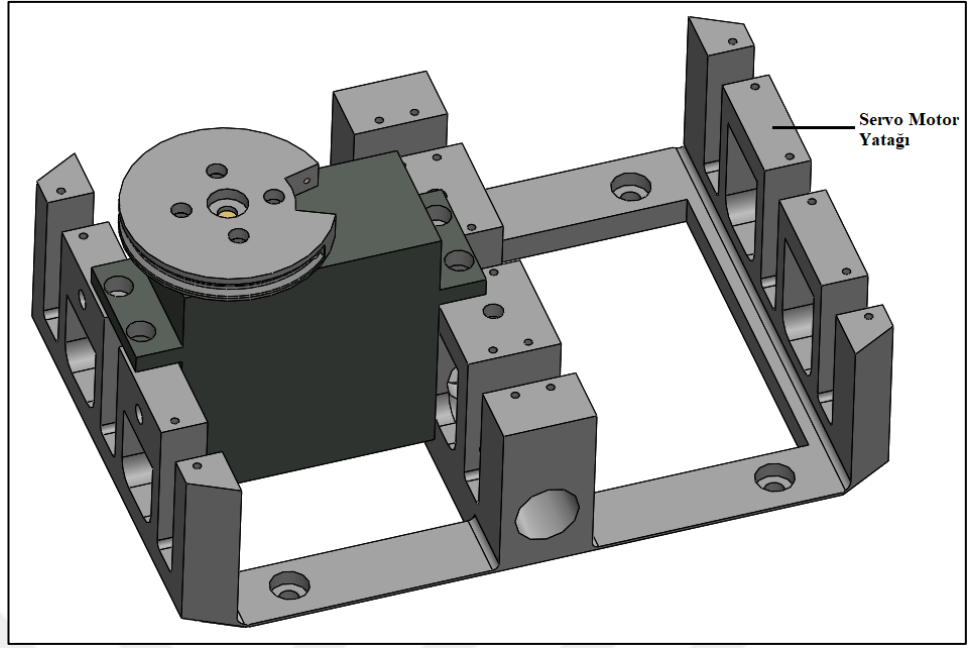
Ön kol içerisinde, bilek ve parmak hareketlerini kontrol eden 2. uydu Arduino Pro Mini'nin de üzerinde olduğu tüm gerilim ve iletişim hattının toplandığı prototip elektronik kart, parmak hareketlerini kontrol eden 15 kg.cm tork gücüne sahip 6 adet dijital servo motor ve motor yatağı, tendonların; kanallarına dolanarak parmak hareketlerinin sağlandığı kasnaklar ve tendonların hareket esnasında boşta kalarak kasnak kanallarından çıkmasını önlemek için gerinim sağlayan yaylı tendon kılavuzu bulunmaktadır. Ön kol bölümü 115 mm çaptan 80 mm çapa doğru daralan dairesel kesitli bir geometriye sahiptir ve uzunluğu 245 mm'dir. Ön kolun bittiği noktada daha sonra geliştirilmek amaçlı tasarlanmış üst kol ile bağlantıyı sağlayacak montaj noktaları ve gerilim ve iletişim kablosu kanalı bulunmaktadır.



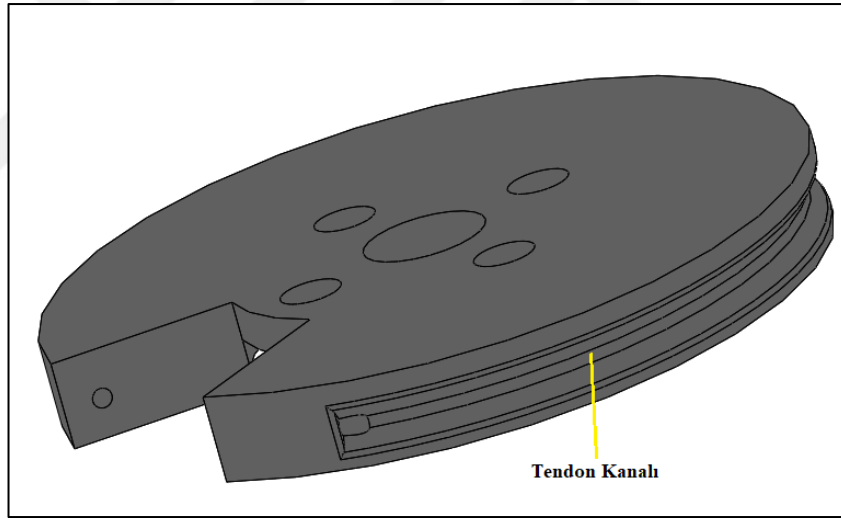
Şekil 2.14 Ön kol tasarımı



Şekil 2.15 Ön kol iç görünüm



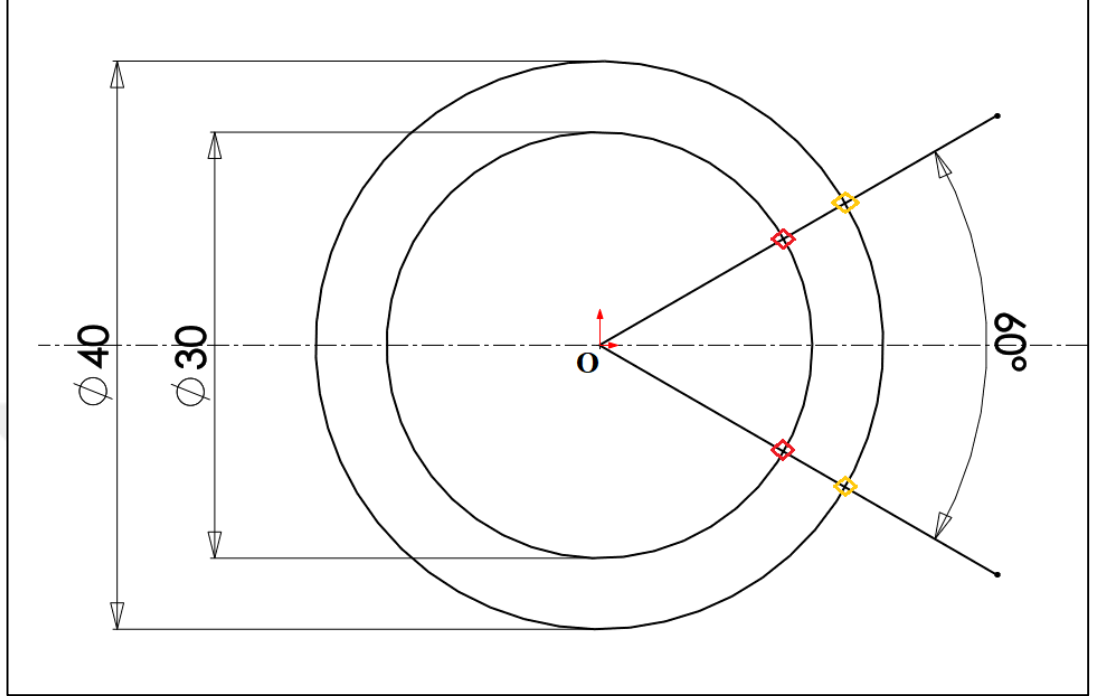
Şekil 2.16 Servo motor yatağı



Şekil 2.17 Kasnak yapısı

Parmakların kapanıp açılabilmesi için iki adet tendona ihtiyaçları vardır. Bir tendon gerilirken diğeri gevşer böylece parmak kapatılır ya da açılır. Kasnaklar, dönme hareketleri sırasında tendon kanalı boyunca çevre uzunlukları ile orantılı bir tendonu çevrelerine dolarken diğeri aynı oranda serbest bırakırlar. Dolayısıyla bu kasnakların çapları ne kadar büyük olursa tendonların gerilme ve gevşeme hareketleri o kadar rahat olacaktır. Ancak ön kol içerisindeki motor yerleşim yerinin görsel tasarımı da göz önüne aldığımızda dar olarak tasarlanması nedeniyle tüm kasnaklar aynı boyutlarda

tasarlanamamıştır. Mümkün olan en büyük boyutlarıyla tasarlanan kasnakların çevre uzunluğunun önemi şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18 Kasnak boyutunun önemi

Şekil 2.18’de 30 mm ve 40 mm çaplı O merkezli 2 adet kasnak vardır. Bu kasnakların O merkezinde 60° lik bir dönüş yaptığında taradıkları yay uzunluğu ve dolayısıyla üzerlerine doladıkları tendon uzunluğu:

$$Yay\ uzunluğu = 2\pi r \frac{Derece}{360} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’e göre 30 mm çaplı kasnak üzerine yaklaşık olarak 15,71 mm tendon dolarken 40 mm çaplı kasnak yaklaşık olarak 21mm tendon dolamaktadır. Dolayısıyla 30 mm çaptaki kasnağın bir parmağı tam olarak kapatıp açabilmesi için daha fazla dönmesi gerekmektedir.

BÖLÜM ÜÇ

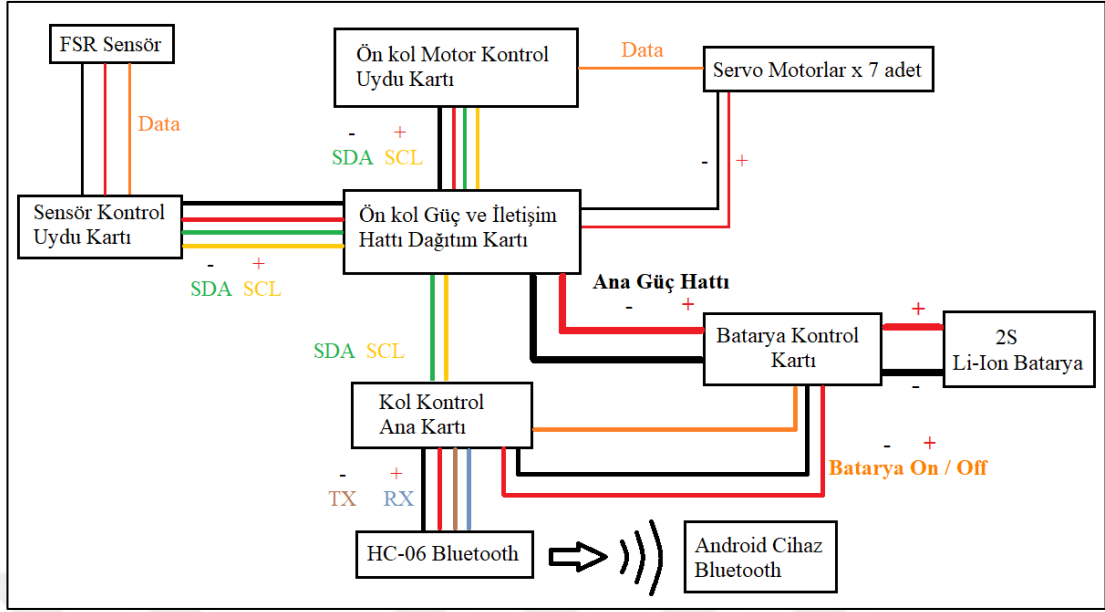
ROBOT KOL ELEKTRONİK TASARIMI

Bu bölümde, kullanılan elektronik bileşenlerin bağlantı şemaları verilecektir. Kolun kontrolü için iki adet uydu Arduino Pro Mini ve bir adet master Arduino Mega mikro kontrolcü kartları kullanılmıştır.

Sensör verilerinin okunması ve aynı zamanda motor kontrollerinin gerçekleştirilmesinde tüm işlem yükü, işlem hızı ve sürekliliğini sağlamak için bir adet işlemci yerine iki adet uydu işlemciye dağıtılmıştır. Ayrıca bu sayede koldan dışarıya çıkacak kablo dağınıklığının da önüne geçilmiştir. Uydu kontrolcüler ve master kontrolcü I²C üzerinden haberleşmektedirler. Master cihaz ise kontrol komutlarını HC-06 bluetooth modülü ile Android bir cihaz üzerinden almaktadır.

El ve bilek hareketleri 6,0 – 7,2 V gerilimde çalışan 15 kg.cm torklu 7 adet dijital servo motor tarafından gerçekleştirilmektedir.

Sistem gücü, 8 adet Panasonic NCR18650B 3,7 V 3400 mAh pilleri kullanılarak oluşturulan 2S Li-Ion batarya tarafından sağlanmaktadır. Li-Ion bataryalar tam şarj durumunda 8,4 V civarında bir gerilim sağladığından motorlara giden gerilimi düşürmek için bir batarya kontrol kartı tasarlanmıştır.

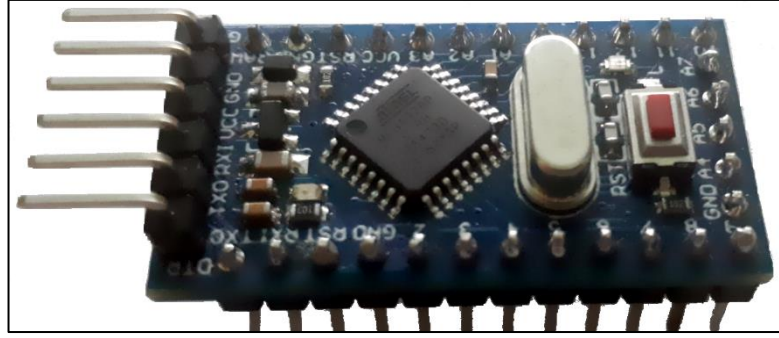


Şekil 3.1 Robot kol genel elektronik şeması

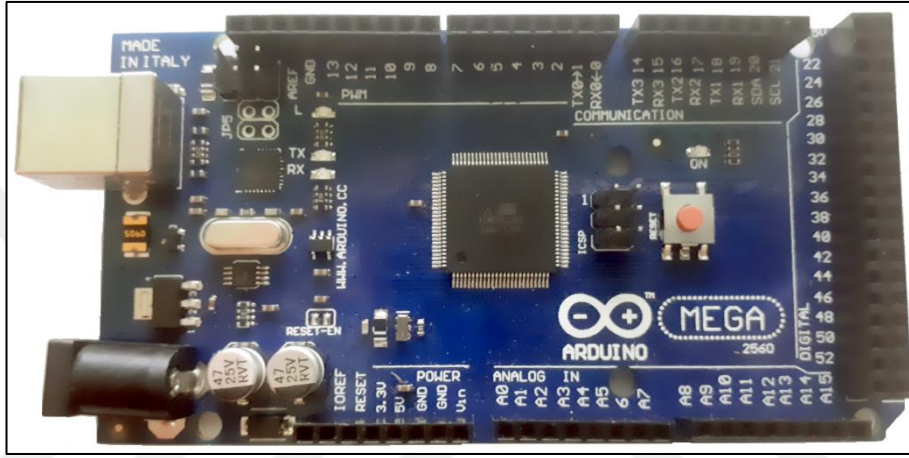
3.1 Arduino Mikro Denetleyici Kartı

Arduino, elektronik ve programlama bilgisi olmayan öğrencilerin hızlı prototipleme gerçekleştirebilmesini temel alarak ortaya çıkan bir mini bilgisayardır. Arduino, birçok sensörden girdi alarak çevreyi algılar ve ledler, motorlar ve diğer aktüatörleri kontrol ederek çevresine bir tepki verir. Kullanıcı sayısının artması ve farklı uygulama alanları bulması ile birlikte ürün çeşitliliği artmıştır. Nesnelerin interneti, giyilebilir teknolojiler, 3 boyutlu üretim gibi alanlar için yeni kartlar üretilmiştir. Arduino'nun kolay programlanabilirliği, tamamen açık kaynak olması ve bununla beraber geniş bir geliştirici topluluğu tarafından kullanılması onun birçok projede tercih edilmesinin başlıca nedenidir (Arduino, bt).

Bu tezde kullanılan Arduino Pro Mini; 35 x 15 mm boyutlarında 6 tanesi PWM olarak kullanılabilen 14 adet dijital giriş çıkış pini, 6 adet analog giriş pini ve 16 MHz saat hızına sahiptir. Boyutları itibarıyla el üstü ve ön kol içerisinde tercih edilmiştir. Arduino Mega ise 100 x 55 mm boyutlarında 15 tanesi PWM olarak kullanılabilen 54 adet dijital giriş çıkış pini, 16 adet analog giriş pini ve 16 MHz saat hızına sahiptir.



Şekil 3.2 Arduino Pro Mini (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 3.3 Arduino Mega 2560 Rev3 (Kişisel arşiv, 2018)

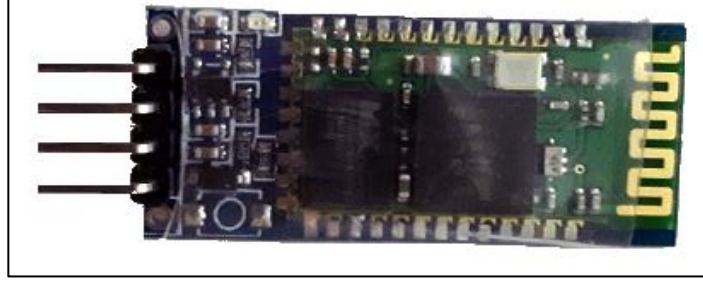
3.2 Kol Kontrol Ana Kartı

Kolun ana kontrolcüsü olarak Arduino Mega kullanılmıştır. Bu kontrolcü, kablosuz seri haberleşme yoluyla Android cihaz üzerinden HC-06 bluetooth modülü aracılığıyla kendisine gelen komutları işleyerek, motor hareketlerinin gerçekleştirilmesi ve sensör verilerinin okunması için gerekli komutları I²C üzerinden motor kontrol uydu kartı ve sensör kontrol uydu kartlarına iletmektedir. Ayrıca bir dijital pininin aktif veya pasif konuma getirilmesiyle batarya kontrol kartının da regüle edilmiş çıkışını açıp kapatmaktadır.

3.2.1 HC-06 Bluetooth Modülü

HC-06 bluetooth modülü, kablosuz seri iletişim için tasarlanmış bir slave bluetooth modülüdür. PC, akıllı telefonlar ve tablet gibi bir ana bluetooth cihazı ile eşleşebilir.

Kolay kullanılabilirliği sayesinde kol kontrol ana kartında harici bir özel kod yazmayı gerektirmez. Tak-çalıştır olarak kullanılır. 2,4 GHz bandında 1,8 – 5 V ile çalışabilir.



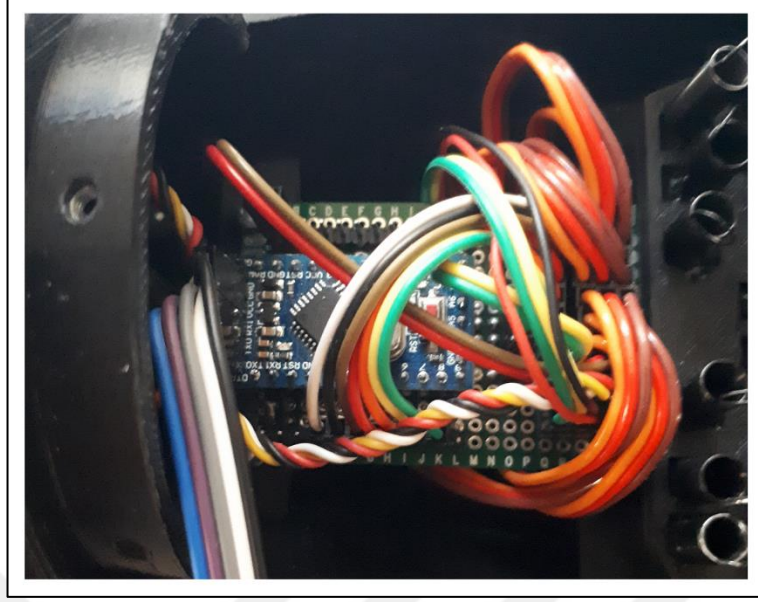
Şekil 3.4 HC-06 bluetooth modülü (Kişisel arşiv, 2018)

3.3 Motor Kontrol Uydu Kartı ve Güç ve İletişim Hattı Dağıtım Kartı

Parmak ve bilek hareketlerini sağlayan servo motorların açısal kontrolleri, kol kontrol ana kartından I²C üzerinden gelen komutlara göre Arduino Pro Mini tarafından yönetilmektedir. Arduino Pro Mini bir board üzerine lehimlenerek tüm giriş ve çıkışları erkek pinler vasıtasıyla erişilebilir hale getirilmiş ve ön kol içerisine yerleştirilmiştir.

Güç ve iletişim hattı dağıtım kartı, koldan dışarıya çıkacak kablo miktarının azaltılması ve kısa uzunlukta kablolar kullanarak iletişim hatlarında meydana gelebilecek veri kayıplarının önlenmesi amacıyla tasarlanarak ön kol içerisine yerleştirilmiştir. Servo motorların güç hattı, uydu kartlarının güç hatları ve I²C iletişim hatları bu kart üzerinde toplanmıştır. Servo motorlar gerekli voltajı batarya kontrol kartının regüle edilmiş çıkışından, uydu kartları gerekli voltajı doğrudan batarya gerilimini kullanarak bu kart üzerinden almaktadırlar.

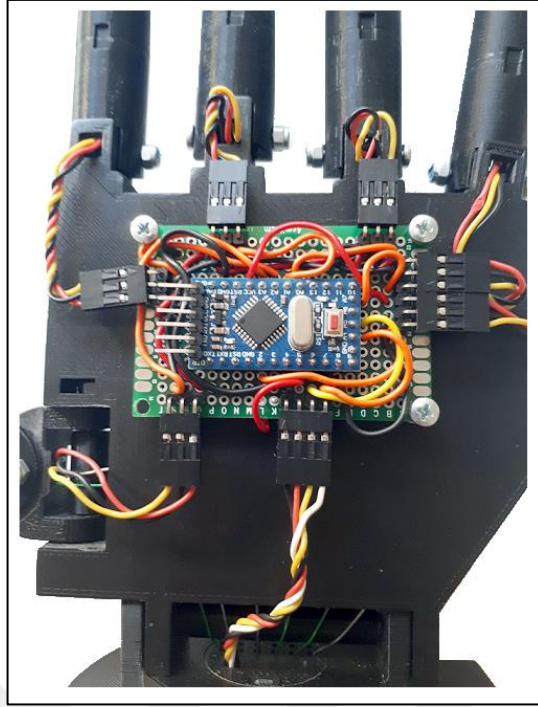
Ön kol içerisinde tek bir kart yer almakta olup motor kontrol uydu kartı ve güç ve iletişim hattı dağıtım kartlarını üzerinde bulundurmaktadır.



Şekil 3.5 Motor kontrol uydu kartı ve güç ve iletişim hattı dağıtım kartı (Kişisel arşiv, 2018)

3.4 Sensör Kontrol Uydu Kartı

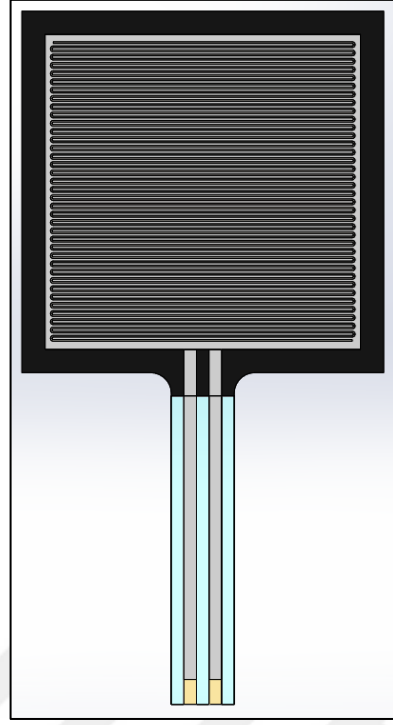
Avuç içerisinde bulunan kuvvet duyarlı dirençten (FSR) gelen analog veri, kol kontrol ana kartından gelen komuta göre Arduino Pro Mini ile okunarak tekrar I²C aracılığıyla kol kontrol ana kartına gönderilmektedir. İleriki çalışmalarda parmak uçlarına da sensör yerleştirilmesi planlandığından parmak sensör çıkışlarının da olduğu bir kart tasarlanarak el üstüne yerleştirilmiştir. Arduino Pro Mini doğrudan batarya voltajı ile beslenirken sensör, Arduino Pro Mini üzerinden 5V ile beslenmektedir. Güç ve iletişim hattı dağıtım kartından gelen Arduino Pro Mini'ye ait I²C hattı da bu kart üzerindedir.



Şekil 3.6 Sensör kontrol uydu kartı (Kişisel arşiv, 2018)

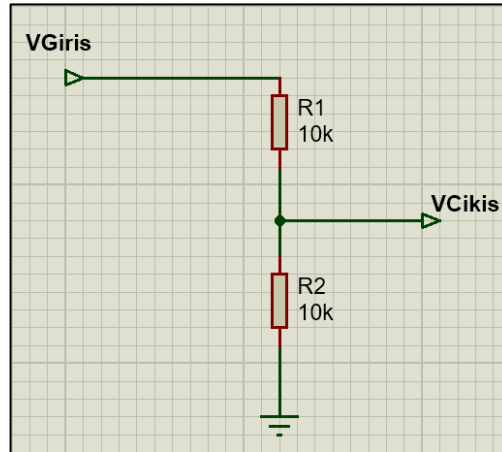
3.4.1 Kuvvet Duyarlı Direnç (FSR)

Kuvvet duyarlı direnç (FSR, Force Sensitive Resistor), aktif yüzeye uygulanan kuvvette bir artışla dirençte azalma sergileyen bir polimer kalın film (PTF) cihazıdır. Kuvvet hassasiyeti, elektronik cihazların dokunmatik kontrolü için optimize edilmiştir. FSR'ler hassas ölçümler için uygun değildir.



Şekil 3.7 Avuç içine yerleştirilen FSR

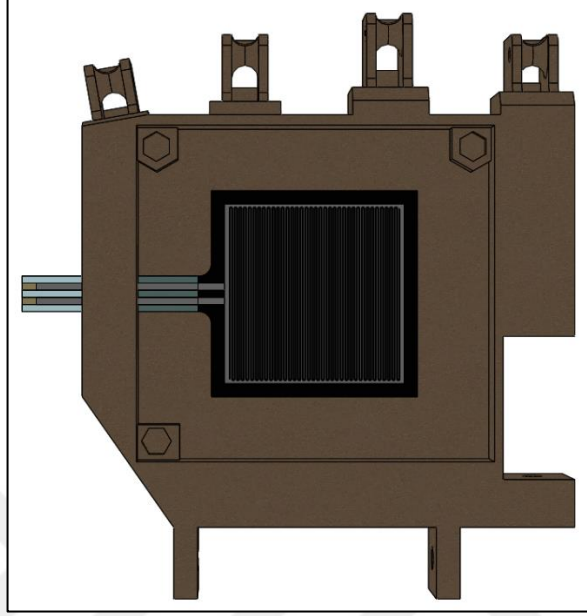
Sensör direncine eşdeğer bir direnç ($10\text{ k}\Omega$) kullanılarak oluşturulan gerilim bölücü devre aracılığıyla avuç içerisine dokunma esnasında oluşan direnç değişimleri analog olarak okunmaktadır.



Şekil 3.8 Gerilim bölücü devre

$$V_{\text{çıkış}} = V_{\text{giriş}} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1 ve şekil 3.8'e göre FSR sensörü 5 voltluk bir besleme gerilimine karşılık başlangıç konumunda 2,5 V çıkış göstermektedir.



Şekil 3.9 FSR sensörünün avuç içi yerleşimi

3.5 Batarya Kontrol Kartı

2S li-ion piller tarafından tam şarj durumunda yaklaşık olarak 8,4 V civarında bir gerilim sağlanmaktadır. Ancak kolun kontrolünde kullanılan motorların çalışma gerilim aralığı 6 – 7,2 V olduğundan batarya voltajını düşürmek gereklidir. Bu regüle işlemini yapabilmenin farklı yöntemleri vardır.

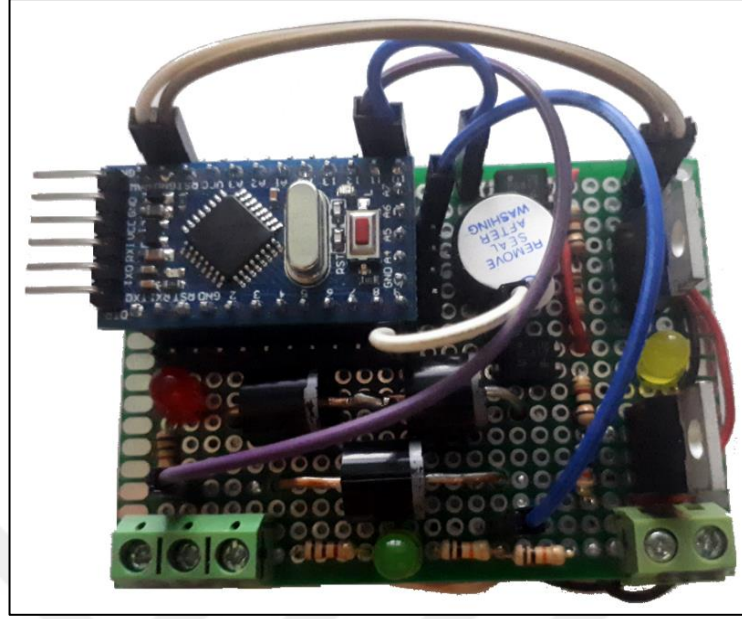
Birinci yöntem motorlara giden gerilimi direnç kullanarak düşürmektir. Buna ait bir örnek şekil 3.8'de görülmektedir. Ancak bu yöntemle standart bir direnç (0,25 W) üzerinden geçirilebilecek akım oldukça düşüktür. Motor başına tam yükte 21 W gibi bir güç tüketileceğinden her bir motor için 25 W değerinde dirençler gerekecektir. Bu dirençlerin boyutlarının büyük olması, direnç üzerindeki ısınma problemi ve batarya giriş voltajının değişkenlik göstermesi durumunda direncin de değiştirilme gerekliliği nedeniyle bu ilkel yöntem kullanılmamaktadır.

İkinci yöntem ise LMxx (LM7805, LM7806) serisi gibi lineer regülatörler kullanarak çıkış voltajını sabit tutmaktır. Bu sayede birinci yöntemdeki direncin değiştirilme gerekliliği sorunu giderilmiş olur ancak ısı hala bir problem olarak karşımıza çıkar. Ek olarak bu yöntem ile drone gibi cihazların radyo alıcı sistemleri BEC (Battery Eliminator Circuit) üzerinden beslenmek istenildiğinde regülatörün giriş ve çıkışlarında elektriksel gürültüyü elimine etmek için filtre devreleri kullanılması gereklidir (Vorkoetter, 2003). Bu regülatörlerin verimlerinin (%25 – 60) düşük ve çıkış akımlarının yetersiz olması nedeniyle yüksek akım gerektiren çalışmalarda kullanılmamaktadırlar.

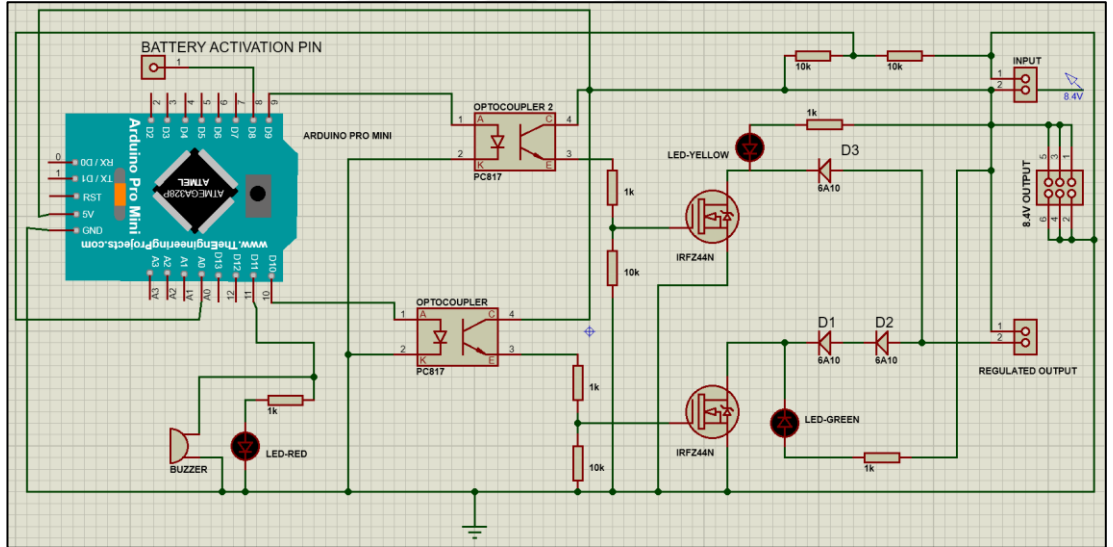
Üçüncü yöntem anahtarlamalı gerilim regülatörleri (LM2596, XL6009) kullanmaktır. Bu regülatörler yüksek güç gerektiren devrelerde kullanılmaktadırlar ve verimlilikleri lineer regülatörlere oranla oldukça yüksektir. Karmaşık yapılarına ek olarak çıkış gürültü seviyeleri ve dalgalılık oranlarının yüksek olması ve ilave filtre devreleri gerektirmeleri nedeniyle maliyetleri yüksektir (Gül, 2017). Servo motorlar için gerekli regülasyonu yapacak anahtarlamalı voltaj regülatörlerinin yüksek akım sağlayanlarının fiyatlarının yüksek olması, düşük akım sağlayanlar da ise her servo motor için birer adet kullanılması gerektiğinden bu yöntem çalışmamızda tercih edilmemiştir.

Dördüncü yöntem: Batarya kontrol kartı, sisteme uygulanan gerilimi 6,5 – 7,2 volt arasında tutmak için tasarlanmıştır. Mosfet ve diyot temelli Arduino Pro Mini ile kontrol edilen bir kart tasarlanmıştır. Silisyum diyotların sınır katmanını (depletion layer) aşmak için gerekli eşik voltajı yaklaşık olarak 0,6 V'dir. Tasarlanan kartta da diyotun bu özelliği kullanılarak 2 adet seri bağlı ve 1 adet tek diyot 2 farklı mosfete bağlanmıştır. Okunan batarya voltajına göre çıkış voltajı, mosfetler arası geçiş yapılarak 1,6 V ile 0,6 V arasında düşürülmektedir. Bu noktada diyotların ısınması dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır.

Batarya kontrol kartının çıkış gerilimi, hem kendi kontrolcüsü ile programlama dahilinde hem de kol kontrol ana kartı aracılığıyla kullanıcı tarafından kesilebilmektedir.



Şekil 3.10 Batarya kontrol kartı (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 3.11 Batarya kontrol kartı devresi

Batarya tam dolu durumdayken (8,4 V) çıkış voltajı 2 adet seri bağlı diyot üzerinden düşürülmektedir. Batarya voltajı 7,8 V seviyelerine düştüğünde 2. mosfet aktif edilerek çıkış tek diyot üzerinden sağlanmaktadır. Batarya voltajı yaklaşık 6,5 V olduğunda çıkış voltajı kesilerek kırmızı led ve buzzer ile ikaz verilmektedir.

3.6 Pil Ünitesi

Pil ünitesi her birinde 4 adet paralel bağı Li-Ion pil bulunan şekil 3.8'deki ünitelerin seri bağlanması ile oluşturulmuştur. Elde edilen ünite 8,4 V - 13,6 A gerilim ve akım değerlerindedir ve pillerin özelliği kaynaklı $2C = 27,2$ A'ya kadar çıkış verebilmektedir.



Şekil 3.12 Li-Ion pil ünitesi (Kişisel arşiv, 2018)

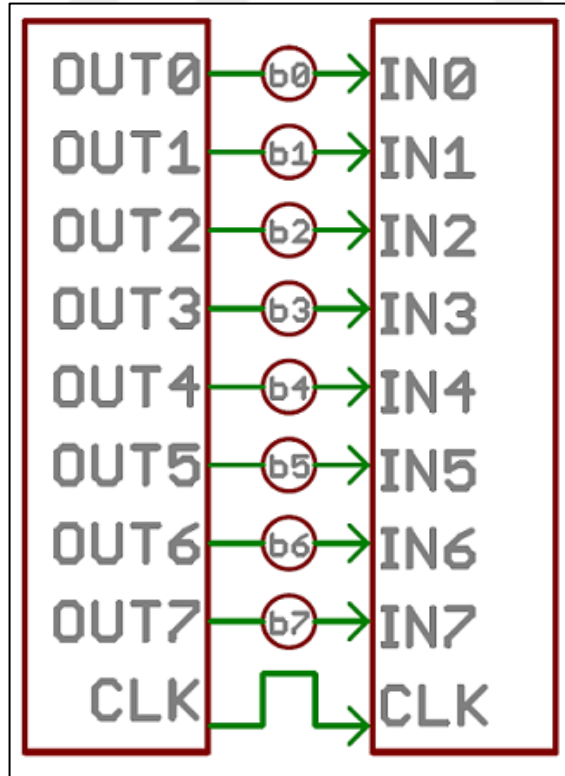
BÖLÜM DÖRT

YAZILIM

Bu bölümde seri iletişim, I²C iletişim protokolü, bluetooth iletişim temelleri, App Inventor android yazılım algoritması ve kolun yönetilmesini sağlayan kartlara ait yazılım algoritmaları anlatılacaktır.

4.1 Seri İletişim

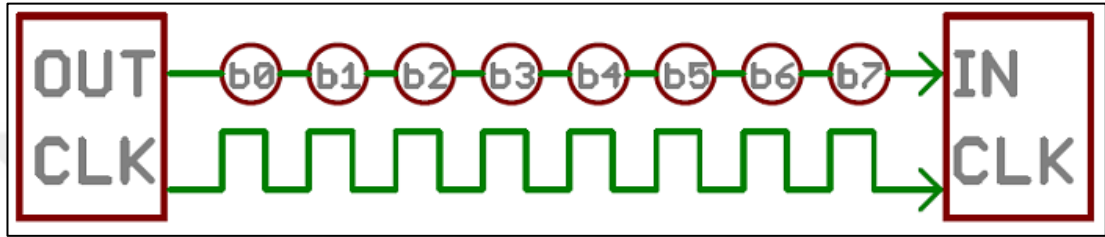
Her bir bireysel sistem bir araya gelerek ortak bir sistem bütünü oluştururlar. Bu sistemler birbirleri ile veri gönderip alabilmek için ortak bir iletişim protokolünü paylaşmak zorundadırlar. Bu veri alışverişinin gerçekleşebilmesi için birçok iletişim protokolü vardır ve genel olarak “seri iletişim” veya “paralel iletişim” olarak iki kategoriye ayrılabilirler (Anonim, 2012). Paralel arabirimler aynı anda birden çok bit aktarır. Veri transferi 8, 16 veya daha fazla kablo üzerinden gerçekleştirilir (Anonim, 2012).



Şekil 4.1 Paralel iletişim (Anonim, 2012)

Şekil 4.1’de 8 bit veri yolu üzerinden her bir saat darbesinde 1 byte transfer edilmektedir ve bu işlem için 9 adet tel kullanılmaktadır.

Seri iletişim arayüzünde veri, bit olarak sıralı bir şekilde aktarılır. En az bir tel üzerinden aktarım yapılabilir ve genellikle seri iletişimde kullanılan tel sayısı dörtten fazla değildir.



Şekil 4.2 Seri iletişim (Anonim, 2012)

Paralel iletişim uygulaması kolay ve hızlıdır. Ancak şekil 4.1 ve şekil 4.2 karşılaştırıldığında paralel iletişim için daha fazla hatta ihtiyaç vardır ve bu mikro kontrolcü veya işlemci üzerinde daha fazla I/O pinini meşgul eder. Ayrıca veri transferi uzun bir hat üzerinde gerçekleştirilecekse kullanılan kablo miktarı artacağından seri iletişime göre daha maliyetlidir.

4.1.1 Asenkron Seri İletişim

Harici bir saat sinyali kullanılmadan veri transferinin alıcı ve verici arasında gerçekleştirilmesidir. Ancak veri transferinin sağlıklı bir şekilde gerçekleşebilmesi için bir saniyede transfer edilen bit miktarının verici ve alıcı için aynı olması gerekmektedir. Bu Baud Rate olarak adlandırılır ve birimi bit/s’dir.

Asenkron seri iletişimde genellikle 8 bitlik paketlerde veri gönderilir. Bir cihazın ne zaman bir veri paketi göndereceği bilinemez (Rajewski, 2018). Bu nedenle gönderilen her bir paketin başına ve sonuna “başla” ve “dur” bitleri eklenir. İlk önce başla bit’i gönderilerek alıcı veri transferine hazır hale getirilir, dur bit’i gönderilerek

yeni bir dizi alımı için alıcının durumu sıfırlanır. Başla ve dur bitlerinin eklenmesi transfer hızının senkron seri iletişime göre daha yavaş olmasına neden olur.



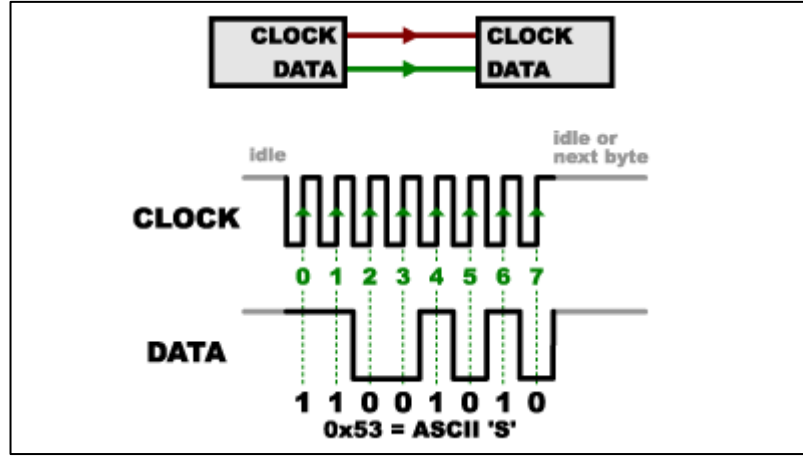
Şekil 4.3 Asenkron seri iletişimde veri transferi (Rajewski, 2018)

Şekil 4.3'te, ASCII değeri 97 olan ya da 01100001 ikili değeri olan 'a' karakterinin transferi görülmektedir. İletişim hattı hiç bir şey göndermediğinde lojik 1'de tutulur. Bu nedenle başlangıç biti 0'dır. Başlangıç biti geldiğinde hat yüksekten alçağa geçiş yapar. Bu, hattın aktif olduğuna dair bir işaret verir. Şekil 4.3'te bitlerin sırasının tersine döndüğü görülmektedir. Bunun nedeni, LSB'nin (en az anlamlı bit) genellikle ilk olarak iletilmesidir (Rajewski, 2018).

4.1.2 Senkron Seri İletişim

Senkron iletişim, üretilen bir saat sinyaline göre verici ve alıcının senkronize olarak veri transferi gerçekleştirdiği iletişim türüdür. Tüm cihazlar aynı saat sinyalini kullanırlar. Veri hattına ek olarak saat sinyalinin iletildiği ek bir hat gereklidir. Başla ve dur bitlerine gerek olmadığından asenkron iletişimden daha hızlıdır.

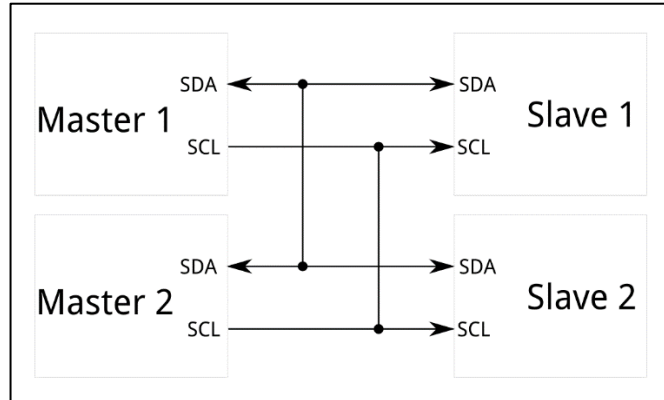
Master ve slave yapısının kurulmasına olanak sağlar. Master cihaz saat sinyalinin ve diğer sinyallerin üretilmesinden sorumludur. Aynı veri yolu üzerinde birden fazla slave cihaz kullanılabilir. Uzun mesafe veri iletimlerinde sinyal zayıflamasının fazla oluşundan dolayı senkron seri iletişim kullanılamaz. Senkron seri iletişim kısa mesafede hatta aynı kart üzerinde yerleştirilmiş elektronik modüllerin iletişiminde hızının diğer iletişim türlerine göre fazla oluşundan dolayı tercih edilebilir.



Şekil 4.4 Senkron seri iletişimde veri transferi (Dursun, 2015)

4.1.3 I²C İletişim Protokolü

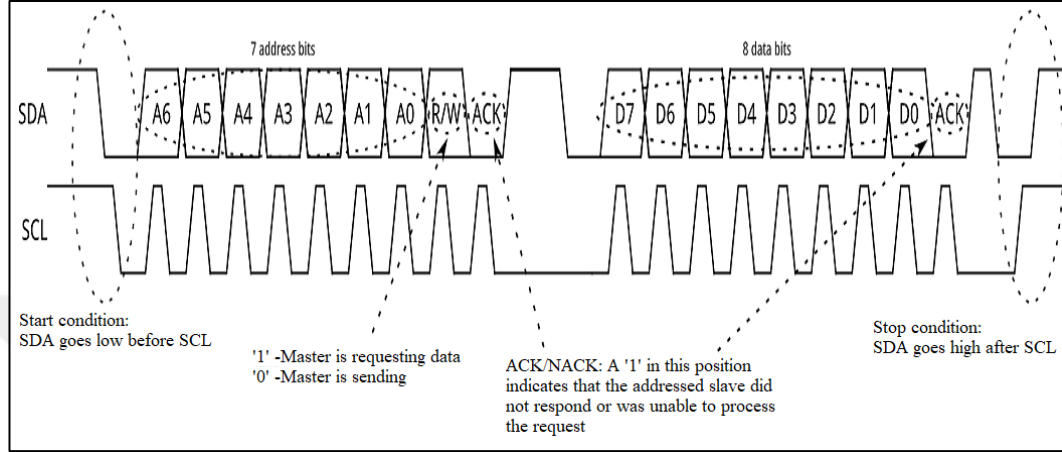
Inter-Integrated Circuit (I²C) Protokolü, çoklu slave dijital tümleşik devrelerin bir ya da daha fazla master yonga ile iletişim kurmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Veri alışverişi için iki adet hat gereklidir: SCL ve SDA. SCL saat, SDA veri sinyalidir. Saat sinyali daima master tarafından üretilir. I²C protokolü aynı hat üzerinde birden fazla master cihazın diğer cihazlar ile iletişim kurmasına olanak tanır.



Şekil 4.5 I²C cihazları arası bağlantı şeması (Hord, 2013)

Veri alışverişinde önce 7 bitlik bir adres çerçevesi gönderilir. Bunu, okuma ya da yazma işleminin olup olmadığını belirten R/W biti izler. Çerçevenin 9. biti NACK / ACK bitidir. Bu, tüm çerçeveler için geçerlidir (veri veya adres). Çerçevenin ilk 8 biti gönderildikten sonra, alıcı cihaz SDA üzerinden kontrol edilir. Alıcı cihaz, 9. saat darbesinden önce SDA hattını LOW pozisyonuna çekmezse, alıcı cihazın ya veri

almadığı ya da mesajı nasıl ayrıştıracağını bilmediği anlaşılabılır. Adres çerçevesi gönderildikten sonra, veri iletmeye başlayabilir. Veriler, R/W biti bir okuma veya yazma işlemi gösterip göstermediğine bağlı olarak, ya master ya da slave tarafından SDA hattına yerleştirilecektir.

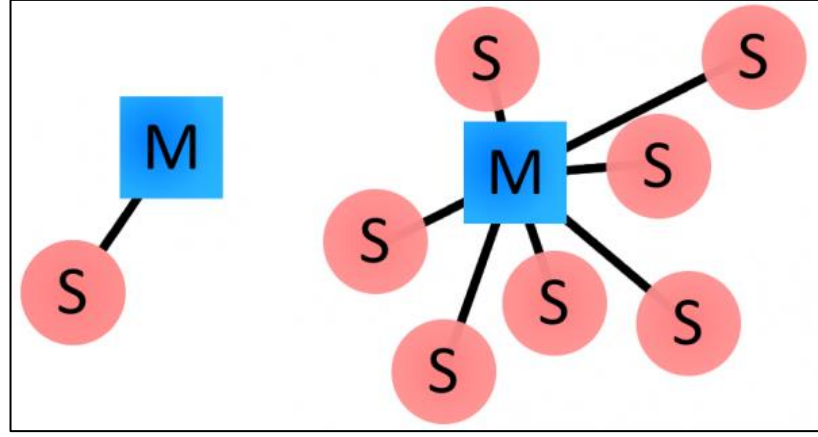


Şekil 4.6 I²C üzerinden adres ve veri çerçeveleri iletimi (Hord, 2013)

4.1.4 Bluetooth İletişim Temelleri

Bluetooth, 2,4 GHz kablosuz bağlantı üzerinden veri gönderip almak için standartlaştırılmış bir protokoldür. Güvenli bir protokoldür ve elektronik cihazlar arasında yaklaşık 100 metreye kadar kısa menzilli, güç ve maliyet açısından verimli, kablosuz iletimler için kullanılabilir. Bluetooth protokolü lisanssız ISM frekans bandında 2,4 GHz’de çalışır.

Bluetooth ağları genellikle Piconets olarak adlandırılır ve cihazların ne zaman ve nerede veri gönderebileceğini kontrol etmek için bir master / slave modeli kullanır. Bu modelde, bir master cihaz yedi farklı slave cihaza bağlanabilir. Piconet içindeki herhangi bir slave cihazı ise sadece tek bir master'a bağlanabilir (Anonim, 2013).



Şekil 4.7 Bluetooth ağı (Piconet) örneği (Anonim, 2013)

İki Bluetooth cihazı arasındaki bağ, bir kerelik “eşleştirme” adı verilen bir süreç ile yaratılır. Bağlı cihazlar, yeterince yakın olduklarında otomatik olarak aralarında bir bağlantı kurarlar. Cihazlar eşlendiğinde, 48 bitlik adresleri, isimleri gibi bilgilerini paylaşırlar ve genellikle bunları hafızalarında saklarlar (Anonim, 2013).

4.2 Kol Kontrol Ana Kartı Yazılım Algoritması

Bu bölümde kartının, Android cihaz üzerinden bluetooth modül aracılığıyla gelen komutlar dahilinde çalışma algoritması anlatılacaktır.

Kol kontrol ana kartı kendisine bluetooth aracılığıyla iletilen ‘A, a, B, b, ...’ gibi karakterleri tanımlayarak her bir karaktere ayrı ayrı atanmış eylemleri yerine getirmektedir.

Kol kontrol ana kartına bluetooth aracılığıyla gelen karakter tablo 4.1’de görüleceği üzere motor kontrol uydu kartını ilgilendiren bir komut ise;

- 1- Kol kontrol ana kartı, motor kontrol uydu kartı ile I²C iletişimi başlatarak yine aynı karakteri (bluetooth ile A geliyorsa I²C ile A gönderilir) I²C yoluyla motor kontrol uydu kartına iletir.
- 2- Motor kontrol uydu kartı gelen karaktere karşı kendi yazılımında tanımlı servo motor hareketini gerçekleştirir (Bölüm 4.3’de anlatılacaktır).

- 3- Kol kontrol ana kartı, motor kontrol uydu kartından ilgili servo motora ait konum bilgisini ister.
- 4- Motor kontrol uydu kartı konum bilgisini kol kontrol ana kartına I²C yoluyla iletir (Bölüm 4.3’de anlatılacaktır).
- 5- Kol kontrol ana kartı, gelen konum bilgisini bluetooth aracılığıyla Android cihaza aktarır.

Kol kontrol ana kartına bluetooth aracılığıyla gelen karakter (S) tablo 4.1’de görüleceği üzere sensör kontrol uydu kartını ilgilendiren bir komut ise;

- 1- Kol kontrol ana kartı, sensör kontrol uydu kartı ile I²C iletişimi başlatarak yine aynı karakteri (S) I²C yoluyla sensör kontrol uydu kartına iletir.
- 2- Sensör kontrol uydu kartı gelen karaktere karşı kendi yazılımında tanımlı FSR sensör okuma işlemini gerçekleştirir (Bölüm 4.4’de anlatılacaktır).
- 3- Kol kontrol ana kartı, sensör kontrol uydu kartından FSR sensör değerini ister.
- 4- Sensör kontrol uydu kartı sensör değerini kol kontrol ana kartına I²C yoluyla iletir (Bölüm 4.4’de anlatılacaktır).
- 5- Kol kontrol ana kartı, gelen FSR sensör değerini bluetooth aracılığıyla Android cihaza aktarır.

Kol kontrol ana kartına bluetooth aracılığıyla gelen karakter (O) tablo 4.1’de görüleceği üzere batarya kontrol kartını ilgilendiren bir komut ise;

- 1- Kol kontrol ana kartı, 9 nolu dijital pinini lojik 1 seviyesine ayarlayarak batarya kontrol kartının ilgili pininin de lojik 1 seviyesine ayarlanmasını sağlar ve regüle edilmiş batarya çıkış gerilimini aktif hale getirir.

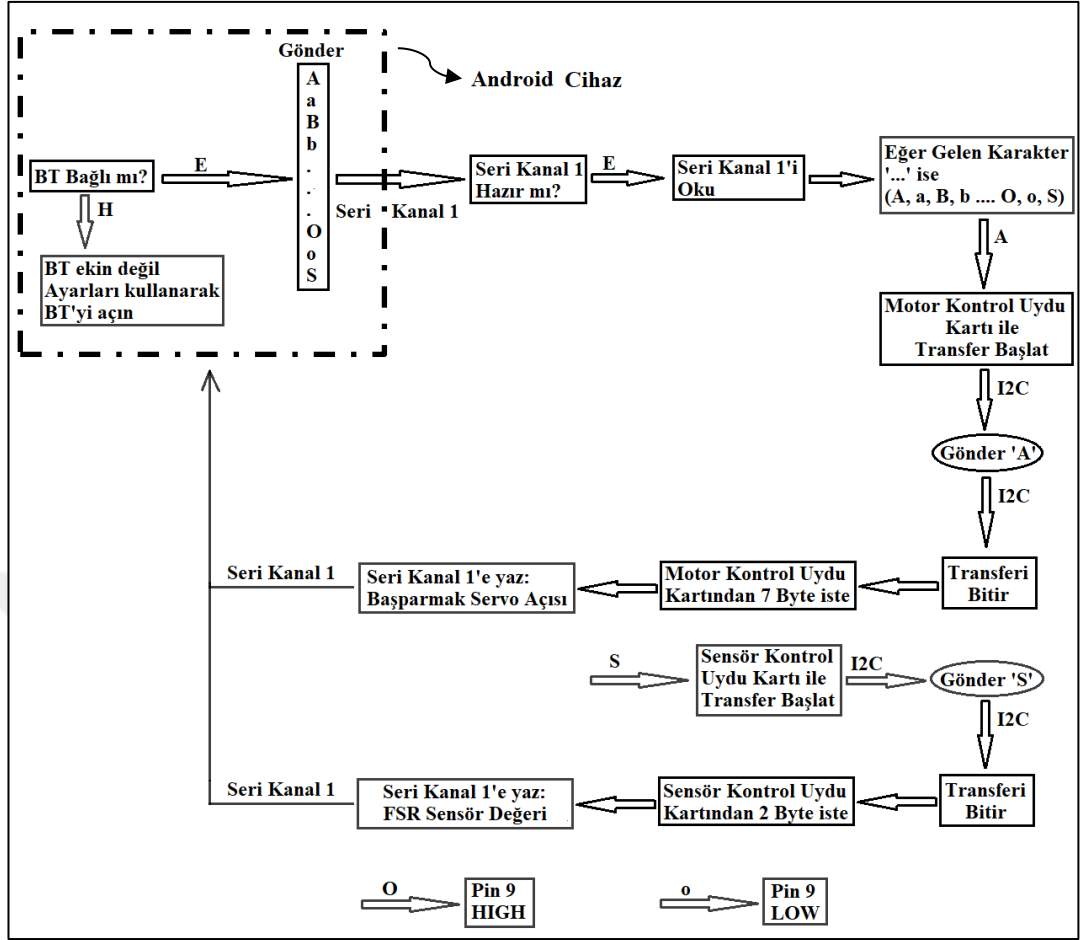
Kol kontrol ana kartına bluetooth aracılığıyla gelen karakter (o) tablo 4.1’de görüleceği üzere batarya kontrol kartını ilgilendiren bir komut ise;

- 1- Kol kontrol ana kartı, 9 nolu dijital pinini lojik 0 seviyesine ayarlayarak batarya kontrol kartının ilgili pininin de lojik 0 seviyesine ayarlanmasını sağlar ve regüle edilmiş batarya çıkış gerilimini keser.

Yukarı da anlatılan işlemler bir algoritma içerisinde şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 İnsansı robot kol kontrol komutları

Gelen Karakter	Görevi	İlgili Kontrol Kartı
A	Başparmak aç	Motor Kontrol Uydu Kartı
a	Başparmak kapa	Motor Kontrol Uydu Kartı
B	İşaret parmağı aç	Motor Kontrol Uydu Kartı
b	İşaret parmağı kapa	Motor Kontrol Uydu Kartı
C	Orta parmak aç	Motor Kontrol Uydu Kartı
c	Orta parmak kapa	Motor Kontrol Uydu Kartı
D	Yüzük parmağı aç	Motor Kontrol Uydu Kartı
d	Yüzük parmağı kapa	Motor Kontrol Uydu Kartı
E	Serçe parmak aç	Motor Kontrol Uydu Kartı
e	Serçe parmak kapa	Motor Kontrol Uydu Kartı
F	Bilek sağa dönüş	Motor Kontrol Uydu Kartı
f	Bilek sola dönüş	Motor Kontrol Uydu Kartı
G	Başparmak yana aç	Motor Kontrol Uydu Kartı
g	Başparmak kapa	Motor Kontrol Uydu Kartı
H	Başparmağı deaktif et	Motor Kontrol Uydu Kartı
I	İşaret parmağı deaktif et	Motor Kontrol Uydu Kartı
J	Orta parmağı deaktif et	Motor Kontrol Uydu Kartı
K	Yüzük parmağı deaktif et	Motor Kontrol Uydu Kartı
L	Serçe parmağı deaktif et	Motor Kontrol Uydu Kartı
M	Bileği deaktif et	Motor Kontrol Uydu Kartı
T	Tüm uzuvları deaktif et	Motor Kontrol Uydu Kartı
Z	Tüm parmakları aç	Motor Kontrol Uydu Kartı
z	Tüm parmakları kapa	Motor Kontrol Uydu Kartı
O	Bataryayı aç	Batarya Kontrol Kartı
o	Bataryayı kapat	Batarya Kontrol Kartı
S	FSR sensörü oku	Sensör Kontrol Uydu Kartı



Şekil 4.8 Kol kontrol ana kartı yazılım algoritması

4.3 Motor Kontrol Uydu Kartı Yazılım Algoritması

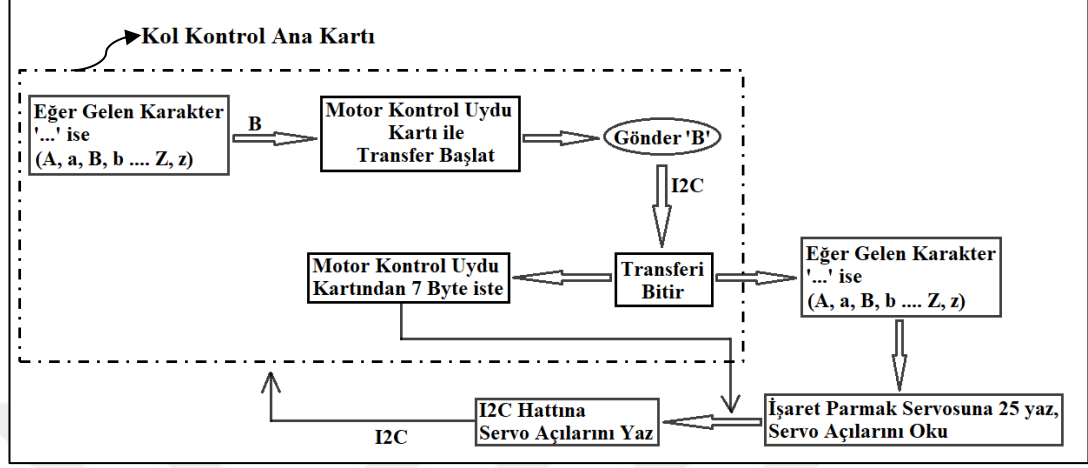
Bu bölümde motor kontrol uydu kartının, kol kontrol ana kartı üzerinden I²C aracılığıyla gelen komutlar dahilinde çalışma algoritması anlatılacaktır.

Motor kontrol uydu kartı kendisine I²C aracılığıyla iletilen 'A, a, B, b, ...' gibi karakterleri tanımlayarak her bir karaktere ayrı ayrı atanmış eylemleri yerine getirmektedir.

Motor kontrol uydu kartı, kendisine gelen tablo 4.1'de belirtilmiş ilgili karakterlere karşılık;

- 1- İlgili servo motorlara belirlenmiş konum açılarını iletir veya servoları deaktif eder.

- 2- Servo motor açılarını okur.
- 3- Servo motor açı bilgilerini I²C aracılığıyla kol kontrol ana kartına iletir.



Şekil 4.9 Motor kontrol uydu kartı yazılım algoritması

Parmak ve bilek hareketlerinin mekanik olarak minimum ve maksimum değerlerini elde etmek için servo motorlara gönderilen minimum ve maksimum açı değerleri tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Servo motor kontrol açıları

Servo Motor	Minimum Açı (°)	Maksimum Açı (°)
Başparmak	17	125
Başparmak Yan	25	80
İşaret Parmağı	25	115
Orta Parmak	5	120
Yüzük Parmağı	25	135
Serçe Parmak	25	120
Bilek	15	94

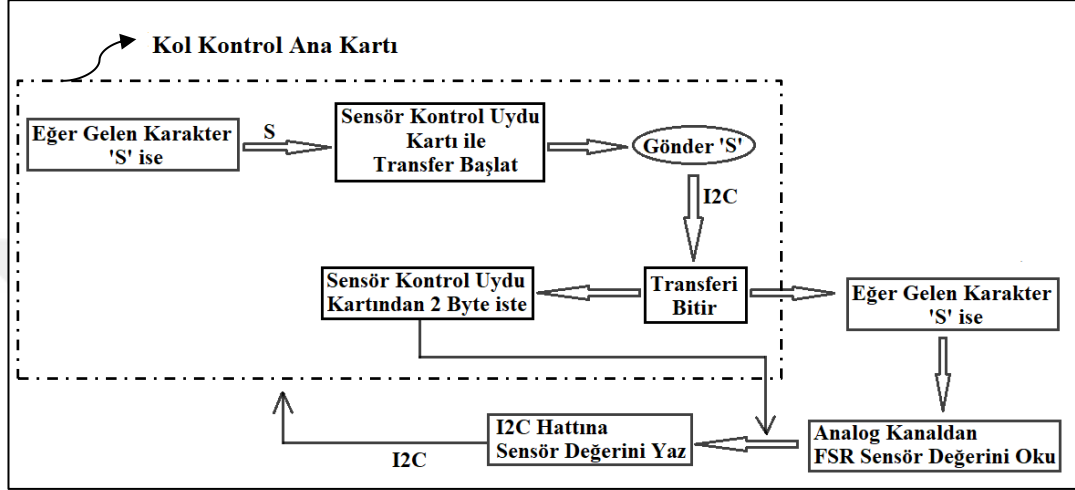
4.4 Sensör Kontrol Uydu Kartı Yazılım Algoritması

Bu bölümde sensör kontrol uydu kartının, kol kontrol ana kartı üzerinden I²C aracılığıyla gelen komut dahilinde çalışma algoritması anlatılacaktır.

Sensör kontrol uydu kartı kendisine I²C aracılığıyla iletilen 'S' karakterini tanımlayarak belirlenmiş eylemleri yerine getirmektedir.

Sensör kontrol uydu kartı, kendisine gelen 'S' karakterine karşılık;

- 1- Analog kanalından FSR sensör değerini okur.
- 2- Sensör değerini I²C aracılığıyla kol kontrol ana kartına iletir.



Şekil 4.10 Sensör kontrol uydu kartı yazılım algoritması

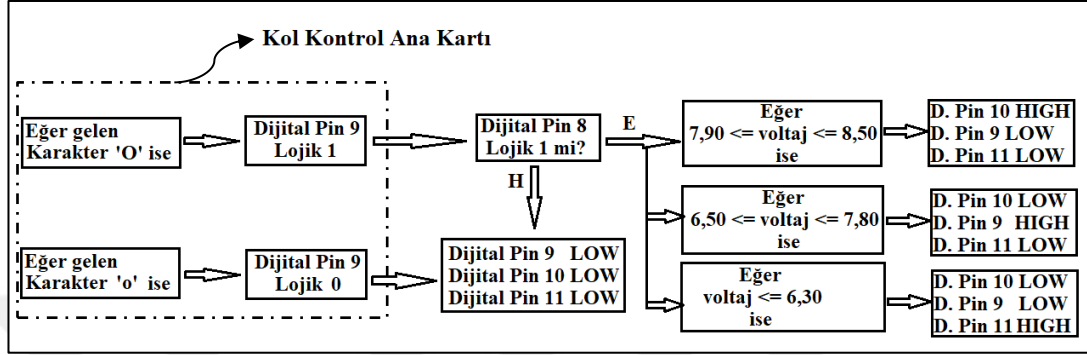
4.5 Batarya Kontrol Kartı Yazılım Algoritması

Bu bölümde batarya kontrol kartının, kol kontrol ana kartı üzerinden bir dijital pin aracılığıyla kontrolü anlatılacaktır.

Batarya kontrol kartının 8 nolu dijital pini, kol kontrol ana kartının 9 nolu dijital pini aracılığıyla lojik 1 veya lojik 0 konumlarına çekilerek regüle edilmiş batarya voltajının açılıp kapatılması sağlanmaktadır (şekil 4.11).

- 1- Batarya kontrol kartının 8 nolu pini lojik 1 seviyesinde ise batarya giriş voltajı okunur.
 - 1.1- Eğer giriş voltajı 7,90 – 8,50 volt arasında ise şekil 3.11'deki devrede görülen çift diyotlu kanal (dijital pin 10) aktif edilir.
 - 1.2- Eğer giriş voltajı 6,50 – 7,80 volt arasında ise şekil 3.11'deki devrede görülen tek diyotlu kanal (dijital pin 9) aktif edilir.

- 1.3- Eğer giriş voltajı 6,30 volttan küçük ise şekil 3.11'deki devrede görülen buzzer kanalı (dijital pin 11) aktif edilir.
- 2- Batarya kontrol kartının 8 nolu pini lojik 0 seviyesinde ise şekil 3.11'deki devrede görülen tüm kanallar (dijital pin 9, 10, 11) deaktif edilir.

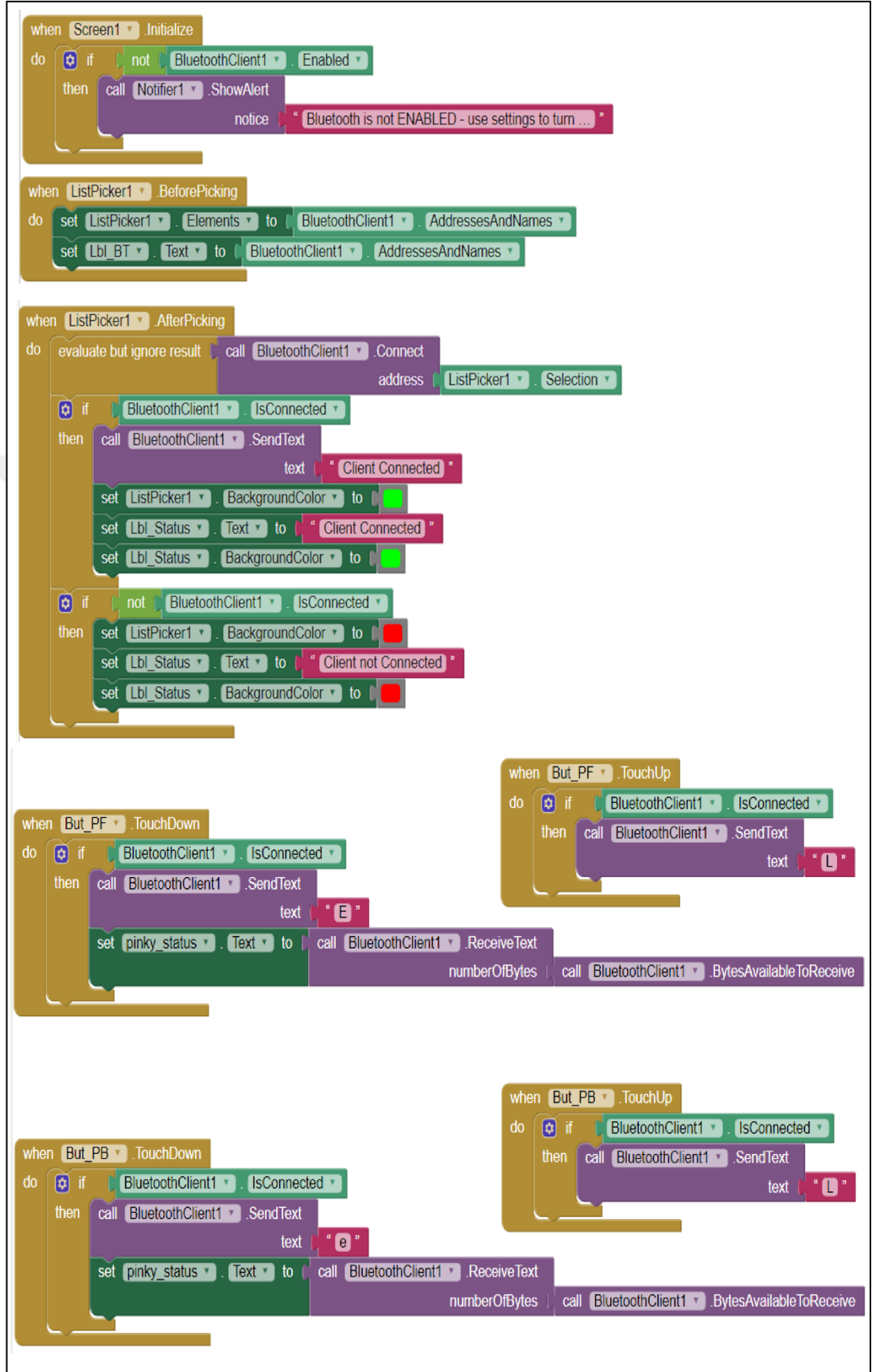


Şekil 4.11 Batarya kontrol kartı yazılım algoritması

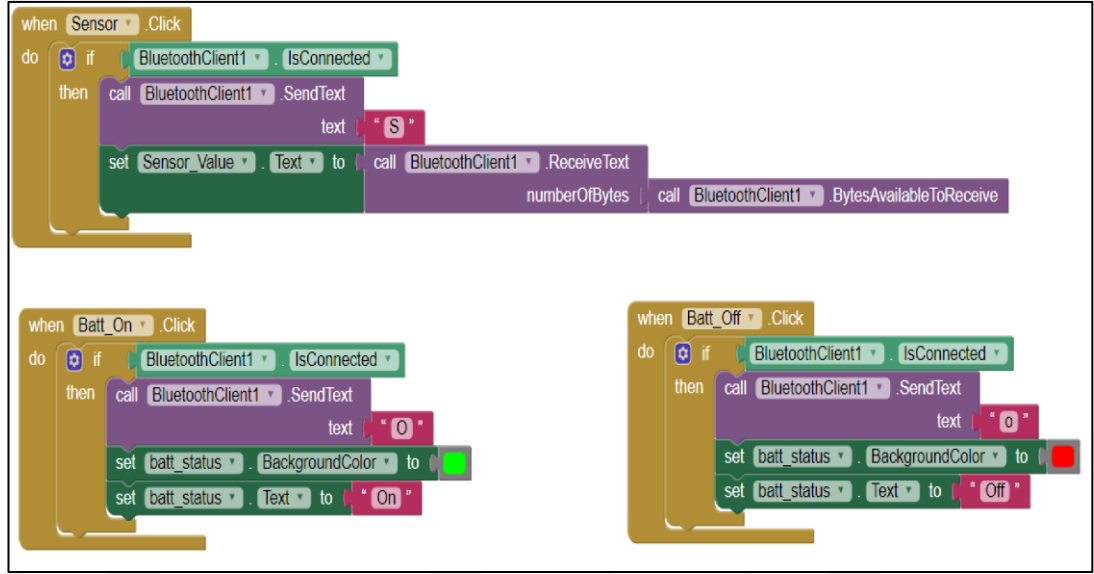
4.6 Android Yazılım Algoritması

Android yazılımı, MIT (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü) tarafından geliştirilen App Inventor 2 programı ile yapılmıştır. App Inventor'daki temel mantık gerekli yazılımı açık bir şekilde yazmak yerine kod bloklarını, bir yap-bozun parçaları gibi birleştirmeye dayanmaktadır.

Bu bölümde yazılım algoritması App Inventor kod blokları olarak verilecektir.



Şekil 4.12 Android yazılım algoritması-1



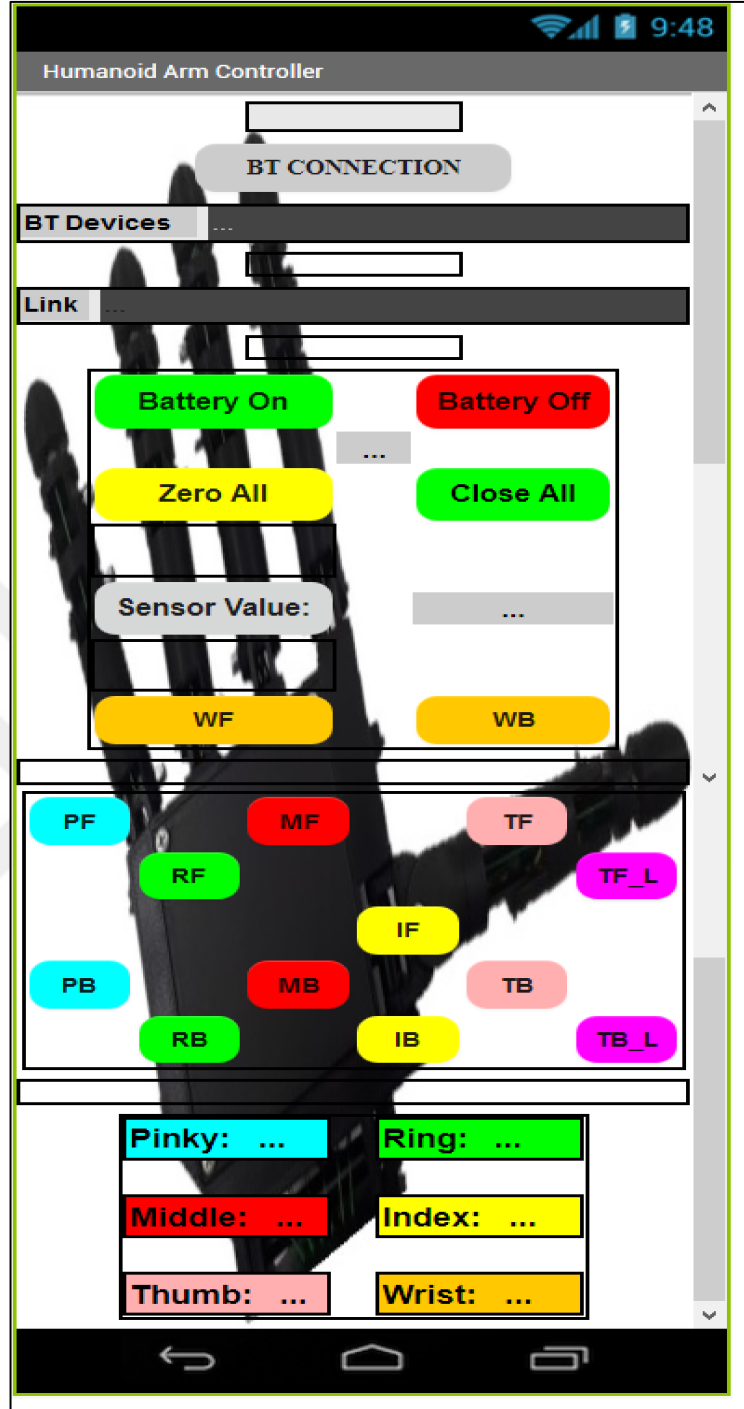
Şekil 4.13 Android yazılım algoritması-2

Şekil 4.12’de Bluetooth istemcisinin bağlantısı ve serçe parmağın hareketine ait blok şema gösterilmektedir. Diğer parmak ve bilek hareketleri, serçe parmak hareket bloğundaki aynı mantıkla gerçekleşmektedir. Bu nedenle ek olarak verilmemiştir.

- 1- Uygulama başlatıldığında bluetooth istemcisi hazır değil ise uyarı mesajı gösterilir.
- 2- Bluetooth istemcisi bağlandığında “istemci bağlı” mesajı gönderilerek arka planı yeşil renge boyanır.
- 3- Parmak kontrol tuşları basılı olduğu sürece aktiftir. Tuşa basıldığında parmak kapatılır ya da açılır.
- 4- Tuş basılıp bırakıldığında ise motorların güç tüketiminin önüne geçmek için motorları deaktif eden komut gönderilir.

Şekil 4.13’de FSR sensör verisinin alınması ve batarya voltajının açılıp kapatılması gösterilmektedir.

- 1- Sensör verisinin alınmasına yönelik buton “klik buton” olarak eklenmiştir. Butona her basıldığında 1 adet sensör verisi alınır.
- 2- Batarya kontrol butonları da “klik buton” olarak eklenmiştir. Butonlara basıldığında batarya çıkışını aktif ve deaktif eden komutlar gönderilerek durum çubuğu rengi yeşil ve kırmızı olarak değiştirilmektedir.



Şekil 4.14 Android kullanıcı arayüzü

Kullanıcı arayüzü ekrana tam olarak sığmadığından şekil 4.14 uzatılmış olarak verilmiştir. Kullanıcı arayüzünde, bluetooth istemcisi seçme, batarya çıkışını aktif deaktif ederek durumunu görme, FSR sensör verisini okuma, parmak ve bilek hareketlerini gerçekleştirerek servo motor açılarını okuma özellikleri vardır.

BÖLÜM BEŞ

MALİYET

Tablo 5.1 Robot kol maliyet tablosu

Ürün	Miktar	Birim Fiyat (TL)	Tutar (TL)
Arduino Mega	1 adet	46,30	46,30
Arduino Pro Mini	3 adet	9,00	27,00
Bluetooth Modül	1 adet	13,00	13,00
Servo Motor	7 adet	44,40	310,80
Servo Motor Diski	6 adet	2,25	13,50
FSR Sensör	1 adet	49,75	49,75
Yay	1 paket	8,05	8,05
Metal Misina	10 m	0,40	4,00
Li-Ion Pil Ünitesi	2 adet	12,80	25,60
Delikli Pertinaks	3 adet	5,00	15,00
IRFZ44N Mosfet	2 adet	3,00	6,00
Diğer Elektronik	1	20,00	20,00
Vida ve Somunlar	1	20,00	20,00
Filament	1,20 kg	85,00	102,00
Elektrik	19,308 kWh	0,4751	9,17
3Boyutlu Yazıcı Amortismanı	80,45 saat	2,00	160,90

TOPLAM = 831,07 TL

Toplam maliyet= 831,07 TL + AR-GE + İşçilik

Not: Kol üretiminde kullanılan komponentler farklı zamanlarda tedarik edildiği için toplam maliyet değişkenlik gösterebilir.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

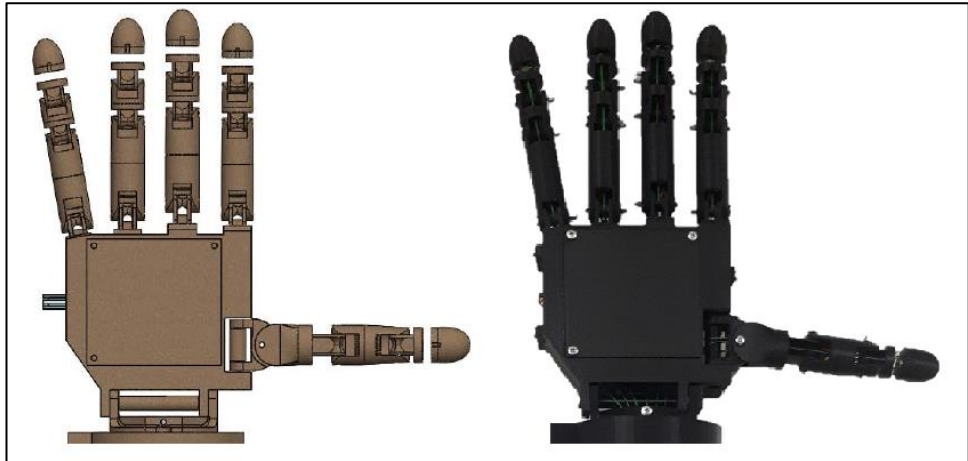
Önceki bölümlerde mekanik ve elektronik tasarımları ile yazılım algoritması açıklanmış olan insansı robot kol açıklanan esaslara göre üretilmiştir. Parmak ucuna kadar olan uzunluğu yaklaşık olarak 560 mm ve toplam ağırlığı yaklaşık olarak 1,7 kg'dır. Plastik parçalarının baskısı yaklaşık olarak 80 saat sürmüştür. Çalışma sonucunda Android cihaz ile uzaktan kontrol edilebilen ve avuç içersine gelen etkileri algılayabilen bir insansı robot kol başarılı bir şekilde elde edilmiştir.



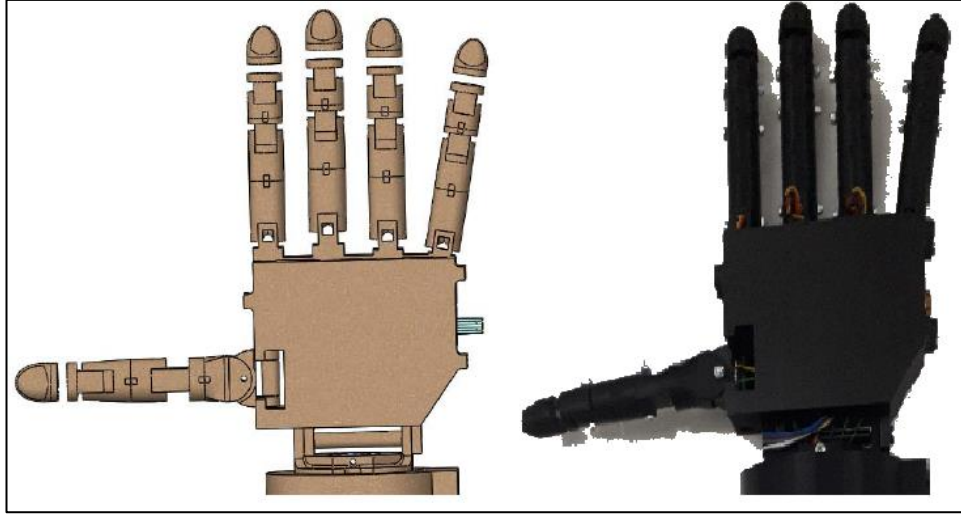
Şekil 6.1 İnsansı robot kol tasarım ve gerçekleştirilmiş hali ön görünüş (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 6.2 İnsansı robot kol tasarım ve gerçekleştirilmiş hali arka görünüş (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 6.3 İnsansı robot el tasarım ve gerçekleştirilmiş hali ön görünüş (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 6.4 İnsansı robot el tasarım ve gerçekleşmiş hali arka görünüş (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 6.5 İnsansı robot kol motor yerleşimi ve tendonlar (Kişisel arşiv, 2018)

Yukarıdaki şekillerde insansı robot kolun CAD tasarımı ile gerçekleştirilen modeline ait farklı perspektiflerden kesitler verilmiştir.

Kolun gerçekleştirilmesi sonrasında test aşamalarında bilek hareketlerinin rahat bir şekilde gerçekleştirilemediği görülmüştür. Tendonların gergin bir şekilde bağlandıktan sonra kendilerine kılavuzluk eden parçalar arasında baskı kuvveti oluşturarak sürtünme kuvvetini arttırdığı tespit edilmiştir. Bu, tasarım aşamasında ve tendonlar bağlanmadan önceki testler sırasında rahat bir şekilde dönebilen bileğin, hareket kabiliyetini olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bileğin dönme hareketini rahat bir şekilde gerçekleştirebilmesi için bilek eklemine yataklaması bir rulman ile gerçekleştirilmelidir.

Batarya kontrol kartında, voltaj seviyeleri arasındaki geçişler sırasında kısa süreli olarak motor akımlarında kesintiler yaşanabilmektedir. Uygun fiyatlı bir anahtarlamalı gerilim regülatörünün çıkış akımı bir mosfet devresi ile yükseltilerek bu problem aşılabılır.

İleriki çalışmalarda;

- Parmak uçlarının da etkiye duyarlı hale getirilmesi için sensör yapıları geliştirilmesi,
- Üst kol mekanik tasarımının da tasarlanarak gerçekleştirilmesi,
- Kolun hareket denklemlerinin ve çalışma uzayının belirlenmesi,
- Eklem noktalarına yerleştirilecek ivme ölçer, jiroskop ve bazen de manyetometre kombinasyonundan oluşan imu sensörlerinin yardımıyla eklemlerin uzaydaki konumları ve hareketlenmeleri gözlemlenerek teorik hesaplarla karşılaştırılması

planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Akkan, T., Akkan L.Ö. ve Çelik H., (2016). Mekatronikte proje tabanlı animatronik uygulamaları, 5. Uluslararası Meslek Yüksekokulları Sempozyumu UMYOS 2016, Kosova.

Auslander, D. M. (1996). What is mechatronics?. *IEEE/ASME Transactions On Mechatronics*, 1 (1), 5-9.

Bedini, S. A. (1964). The role of automata in the history of technology. *Technology and Culture*, 5 (1), 24-42.

Bluetooth Basics, (2013). 12 Ağustos 2018, <https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics>.

Cottom, D. (1999). The work of art in the age of mechanical digestion. *Representations*, 52-74.

Çamoğlu, D. (2013). *Bilgisayar kontrollü robotik* (3. Baskı). İstanbul: Dikeyksen Yayıncılık.

Dursun, F. (2015). *Seri iletişim*. 12 Ağustos 2018, <https://fatihdursunn.wordpress.com/2015/09/04/seri-iletisim/>.

Ernst, H. A. (1962, May). MH-1, a computer-operated mechanical hand. *In Proceedings of the May 1-3, 1962, spring joint computer conference* (39-51).

Friedenberg, J. (2010). *Artificial psychology: The quest for what it means to be human*. Psychology Press.

Fujita, M. (2001). AIBO: Toward the era of digital creatures. *The International Journal of Robotics Research*, 20 (10), 781-794.

Gül, Ç. (2017). *Anahtarlamalı (switching) ve lineer regülatörler*. 8 Ağustos 2018, <http://www.caglargul.com/2017/05/anahtarlamali-switching-ve-lineer-regulatorler.html?m=1>.

Hirose, M., & Ogawa, K. (2007). Honda humanoid robots development. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365 (1850), 11-19.

Hord, M. (2013). *I2C*. 12 Ağustos 2018, <https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c>.

İnce, G. (2011). *Tekinsiz vadi*. 24 Temmuz 2018, <http://www.acikbilim.com/2011/12/dosyalar/tekinsiz-vadi.html>.

Langevin, G. (2014). InMoov-Open Source 3D printed life-size robot. pp. URL: <http://inmoov.fr>, License: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/legalcode>.

Moran, M. E. (2006). The da Vinci robot. *Journal of endourology*, 20 (12), 986-990.

Moran, M. E. (2007). Jacques de Vaucanson: The father of simulation. *Journal of endourology*, 21 (7), 679-683.

Mori, M., MacDorman, K. F., & Kageki, N. (2012). The uncanny valley [from the field]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 19 (2), 98-100.

Osswald, D., Martin, J., Burghart, C., Mikut, R., Wörn, H., & Bretthauer, G. (2004). Integrating a flexible anthropomorphic, robot hand into the control, system of a humanoid robot. *Robotics and Autonomous Systems*, 48 (4), 213-221.

Öztürk, İ. ve Kural, S. (2017). Effect of printing parameters on tensile strength of 3d printing product. 1. *International University Industry Cooperation, R&D and Innovation Congress, Manisa*, 91.

Paik, J. K., Shin, B. H., Bang, Y. B., & Shim, Y. B. (2012). Development of an anthropomorphic robotic arm and hand for interactive humanoids. *Journal of bionic engineering*, 9 (2), 133-142.

Rajewski, J. (2018). *Asynchronous serial*. 12 Aġustos 2018, <https://alchitry.com/blogs/tutorials/asynchronous-serial>.

Serial communication, (2012). 12 Aġustos 2018, <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>.

Sirinterlikci, A., & Mativo, J. M. (2005). A novel approach in integrating product design into curriculum: Toy and entertainment animatron design. *Journal of manufacturing systems*, 24 (3), 196.

Sharkey, N., ve Sharkey, A. (2009). Electro-mechanical robots before the computer. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 223 (1), 235-241.

Tondu, B., Ippolito, S., Guiochet, J., & Daidie, A. (2005). A seven degrees of freedom robot arm driven by pneumatic artificial muscles for humanoid robots. *The International Journal of Robotics Research*, 24 (4), 257-274.

Unimate the first industrial robot, (b.t). 10 Aġustos 2018, <https://www.robotics.org/joseph-engelberger/unimate.cfm>.

Vorkoetter, S. M. (2003). *The battery eliminator circuit*. 8 Aġustos 2018, <http://www.stefanv.com/electronics/qf200312.html>.

What is Arduino?, (b.t). 5 Aġustos 2018, <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.

Yüzgeç, U., Büyüktepe, H. E., Karakuzu, C., (2016). Kablosuz eldiven sistemi ile kontrol edilen robot kol tasarımı. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 9 (2), 39-42.

