YÜKSEK HASSASİYETLİ BİYO-ELEKTRONİK EL TASARIMI

Enes Aydın
181405202

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı
Danışman: Doç. Dr. Nevin Taşaltın

İstanbul
Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Haziran, 2020

YÜKSEK HASSASİYETLİ BİYO-ELEKTRONİK EL TASARIMI

Enes Aydın
181405202
Orcid: 0000-0001-5906-9430

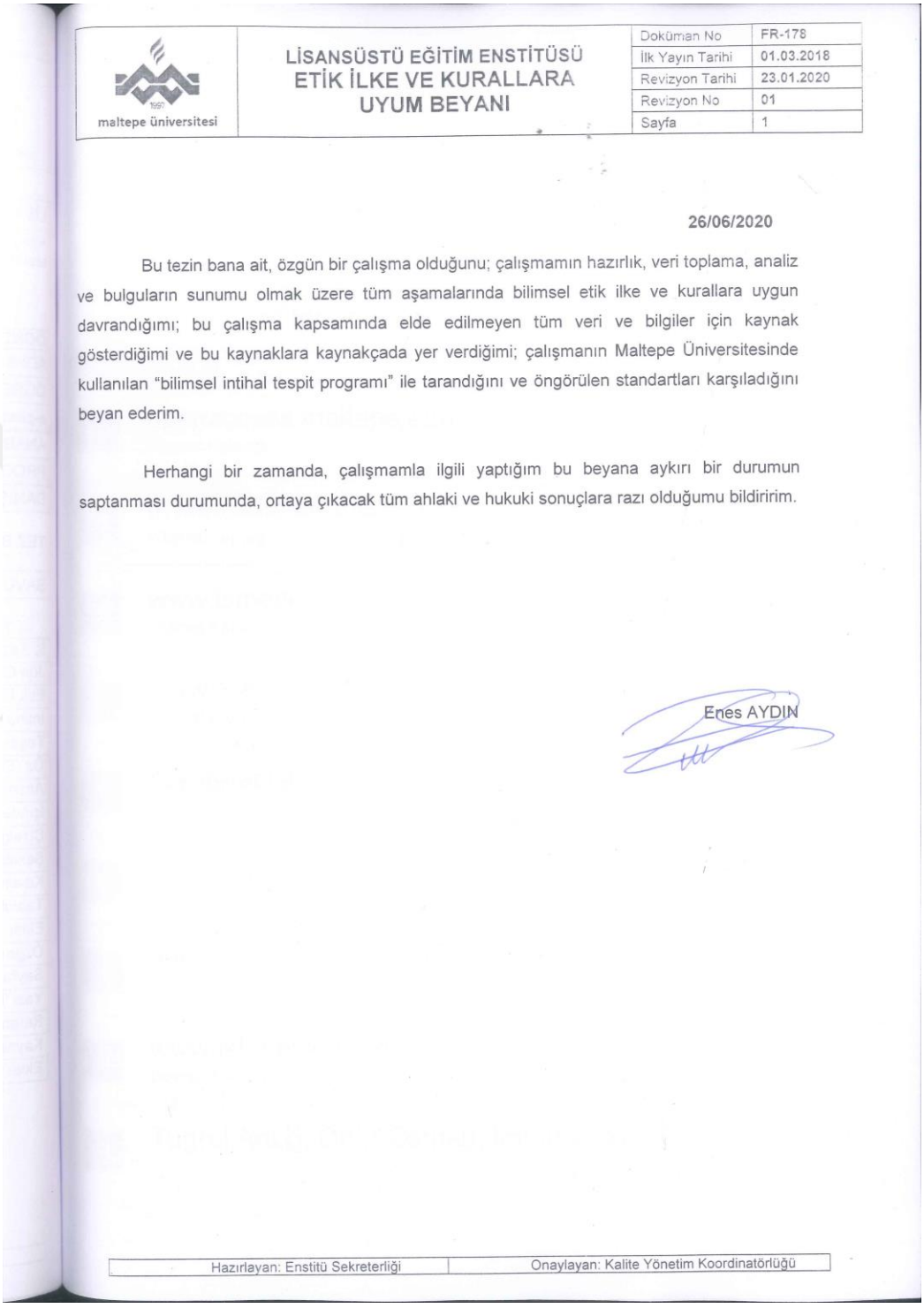
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı
Danışman: Doç. Dr. Nevin Taşaltın

İstanbul
Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Haziran, 2020



JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI



maltepe üniversitesi	LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI	Doküman No	FR-178
		İlk Yayın Tarihi	01.03.2018
		Revizyon Tarihi	23.01.2020
		Revizyon No	01
		Sayfa	1

26/06/2020

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bulguların sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilmeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; çalışmanın Maltepe Üniversitesinde kullanılan "bilimsel intihal tespit programı" ile tarandığını ve öngörülen standartları karşıladığını beyan ederim.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Enes AYDIN

Hazırlayan: Enstitü Sekreterliği	Onaylayan: Kalite Yönetim Koordinatörlüğü

TEŞEKKÜR

Tezimi hazırlamamda bana her zaman yol gösterici olan ve bana destek olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Nevin Taşaltın'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her daim yanımda olan ve beni destekleyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Enes Aydın

Haziran 2020

ÖZ

YÜKSEK HASSASİYETLİ BİYO-ELEKTRONİK EL TASARIMI

Enes Aydın
Yüksek Lisans Tezi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı
Danışman: Doç. Dr. Nevin Taşaltın
Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2020

Bu tezde, ellerinde fizyolojik olarak problem bulunan insanların yaşam standartlarını arttırmak için koldaki en büyük kas gurubu olan önkol kasından alınan tetikleme sinyali ile kontrol edilebilen biyo-elektronik protez el tasarımını amaçlanmaktadır. Önkol kasına bağlanmış Grove EMG sensöründen alınan filtre edilmiş EMG işaretlerini kontrol kartı Arduino ile işleyerek servo motorlarına hareket emri verilmesi gerçekleştirilmektedir. Servo motorlar üç boyutlu yazıcıdan elde edilen biyo-elektronik eli harekete geçirerek gerçekleştirilmek istenen komutu yerine getirmektedir.

Anahtar Sözcükler: Biyo; elektronik; robotik; el; tasarım.

ABSTRACT

DESIGN OF HIGHLY SENSITIVE BIO-ELECTRONIC HAND

Enes Aydın
Master Thesis
Department of Electrical-Electronics Engineering
Electrical Electronics Engineering Programme
Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Nevin Taşaltın
Maltepe University Graduate School, 2020

In this thesis; the bionic prosthesis is designed to increase the living standard of people who have physical problems in their hand areas. The proposed prosthesis is controlled by the trigger signal from the forearm muscle, which is the largest muscle group in the arms. The control card Arduino processes the filtered EMG signals from the Grove EMG sensor which is attached to the forearm muscles and motion commands are issued to the servo motors. Servo motors have executed the desired command by moving the bionic hand obtained from the three-dimensional printer.

Keywords: Bio; electronics; robotics; hand; design.

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....İİ
ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI..... İİİ
TEŞEKKÜR.....İV
ÖZ…….……V
ABSTRACT ..... Vİ
İÇİNDEKİLER ..... Vİ
ŞEKİLLER LİSTESİ……..…İX
KISALTMALAR……Xİ
ÖZGEÇMİŞ……..…….....Xİİ
BÖLÜM 1.
GİRİŞ……..……1
1.1 İNSAN KOLUNUN ANATOMİSİ ……1
1.2 İNSAN ELİNİN YAPISAL ANATOMİSİ……2
1.3 ELEKTROMİYOGRAFİ ……...3
1.3.1 İĞNELEME YÖNTEMİYLE EMG……3
1.3.2 TEK LİF EMG…….4
1.3.3 MAKRO EMG…….4
1.3.4 TARAMALI EMG……...4
1.3.5 YÜZEY EMG……..5
1.4 ENGELLİLİK VE ENGELLİLİK ÇEŞİTLERİ…….5
1.5 BİYO-ELEKTRONİK EL……..6
1.5.1 GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZDE BİYO-ELEKTRONİK EL UYGULAMALARI……...7
1.5.2 ARDUINO VE SENSÖRLER……12
1.5.2.1 ARDUINO……...12
1.5.2.2 SENSÖRLER……..14
1.5.2.2.1 EMG SENSÖR……..…14
1.5.2.2.2 GROVE-EMG SENSÖR…….…15
1.5.3 ELEKTROTLAR……....15
1.5.4 ÖN YÜKSELTİCİ……..16
1.5.5 YÜKSEK VE ALÇAK GEÇİREN FİLTRELER……..17
BÖLÜM 2 .GEREÇ VE YÖNTEM ……...……19
2.1 TASARIM…….19
2.1.1 BİYO-ELEKTRONİK ELİN MEKANİK TASARIMI…….19
2.1.1.2 TEK KANAL TEK FONKSİYON BİYO-ELEKTRONİK EL MEKANİK TASRIMI…….19
2.1.1.3 TEK KANAL ÜÇ FONKSİYON BİYO-ELEKTRONİK EL MEKANİK TASARIMI……..21
2.1.2 BİYO-ELEKTRONİK ELİN YAZILIM ALGORİTMASININ TASARIMI……22

2.1.3 TEK KANAL ÜÇ FONKSİYON BİYO-ELEKTRONİK ELİN YAZILIM ALGORİTMASI……..23
2.2 KALİBRASYON……...23
2.3 DOĞRULAMA……24
2.4 SERVO MOTORLARIN HAREKETE GEÇİRİLMESİ……...25
BÖLÜM 3. DENEYSEL BULGULAR VE YORUMLAR……26
BÖLÜM 4. SONUÇLAR……..……..……...29
KAYNAKÇA……..31

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Önkol kasları anatomisi…….....1

Şekil 2. Elin yapısı…….3

Şekil 3. Okada ve arkadaşları tarafından geliştirilen üç parmaklı biyo-elektronik el ……...7

Şekil 4. Utah/MIT tarafından hazırlanan biyo-elektronik el……...……..8

Şekil 5. UB Hand II isimli biyo-elektronik el……...9

Şekil 6. Shadow Hand isimli biyoelektronik el……...9

Şekil 7. Ottobock Michelangelo isimli biyo-elektronik el……..10

Şekil 8. I-Limb ultra biyo-elektronik el……..10

Şekil 9. I-Limb ultra revolution biyo-elektronik el…….11

Şekil 10. I-Limb quantum biyo-elektronik el ve I-Limb access biyo-elektronik el……11

Şekil 11. Arduino kartları……13

Şekil 12. Yükselteç ve filtreleme devresinin blok diyagramı…….14

Şekil 13. Grove-EMG sensör……..…15

Şekil 14. Elektrot…….16

Şekil 15. Ön yükselticinin referans ve devre korumalı şematik devresi……16

Şekil 16. Op-Amp'lı aktif yüksek geçiren filtre……..17

Şekil 17. Yüksek geçiren filtre frekans eğrisi…….17

Şekil 18. Op-Amp'lı aktif alçak geçiren filtre…….18

Şekil 19. Alçak geçiren filtre frekans eğrisi……18

Şekil 20. Tek kanal tek fonksiyon biyonik el mekanik tasarımı……...20

Şekil 21. Tek kanal tek fonksiyon biyonik el soket tasarımı…….21

Şekil 22. Tek kanal üç fonksiyon biyonik el mekanik tasarımı……22

Şekil 23. Tek kanal üç fonksiyon biyo-elektronik elin yazılım algoritması……..23

Şekil 24. Kalibrasyon blok diyagramı…….24

Şekil 25. Doğrulama işlemi blok diyagramı……...25

Şekil 26. EMG sinyali almak için kullanılabilecek elektrot lokasyonları……26

Şekil 27. Tek kanal tek fonksiyon biyonik el elektronik tasarımı……...27

Şekil 28. Tek kanal tek fonksiyon biyonik el mekanik tasarımı……...27

Şekil 29. Tek kanal tek fonksiyon biyonik el mekanik tasarımı……...28

KISALTMALAR

IDE : Arduino geliştirme ortamı

Optiboot : Arduino bootloader

AVRDud : Arduino üzerindeki mikrodenetleyiciyi programlayan yazılım

AVR-GCC : Derleyici

PWM : Darbe genişlik modülasyonu

ADC : Analog sinyal okuma

KB : Kilobayt

LCD : Sıvı kristal ekran

EMG : Elektromiyografi

sEMG : Yüzey elektromiyografi

SFEMG : Tek lif elektromiyografi

µV : Mikro Volt

CMRR : Ortak Mod İşaret Zayıflatma Oranı

DC : Doğru akım

F_C : Kesim frekansı

dB : Desibel

Hz : Hertz

SWAB : İlaçlı pamuk

PID : Oransal, İntegral, Türevsel

ÖZGEÇMİŞ

Enes AYDIN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Eğitim

Yüksek Lisans	2018-2020 Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD (devam ediyor)
Lisans	Yeni Yüzyıl Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği

İş/İstihdam 2018 - Halen ABB Elektronik A.Ş.

Kişisel Bilgiler

Doğum yeri ve yılı : Bayburt, 1995 Cinsiyet: E
Yabancı diller : İngilizce
e-posta : enesaydin.projects@gmail.com

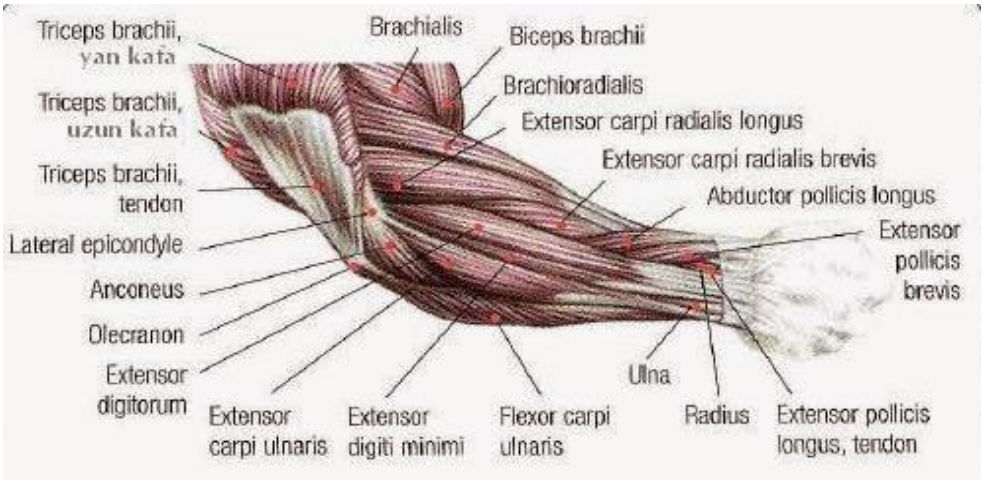
BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1 İnsan Kolunun Anatomisi

Kol anatomisi**,** bedenimizde birçok hareketler ve işlerin yapılmasında önemli bir rol edinen kol, iki bölüm şeklinde değerlendirilir. Omuz ekleminden dirseğe doğru uzanan bölüm kol, dirsekten el bileğine kadar uzanan bölüme önkol ismi verilir. Çoğunlukla kol kavramı bu iki bölümün bütünü için kullanılır.

Kol kısmında humerus ismi verilen tek kemik bulunur. Önkol kısmında ise, radius ve ulna olmak üzere çift kemik vardır. Kolun aşağı, yukarı, iç ve dış kısma yani çoklu yönlere hareketini omuz mafsalıyla, bölgede bulunan kaslar tarafından desteklenir [1].

Kol bölümünde birbirinden başka dört kas bulunur. Bunlar içinde en mühim kas iki başlı olan pazu kasıdır. Bunun görevi önkolun içe bükülmesini sağlamaktır. Önkol extansiyon ve fleksiyon, iç ve dış dönüş hareketleri ile dirsek desteğiyle, kol kısmından başlayarak, önkolda biten kaslar bağlantısıyla yapar [1]. Şekil 1'de önkol kas anatomisi gösterilmiştir. [2]. Bu anatomiden de inceleneceği üzere Önkolda 18 farklı kas bulunmaktadır. El ve parmaklardaki hareketler bu kaslar yardımıyla sağlanır.



Şekil 1. Önkol kasları anatomisi [2].

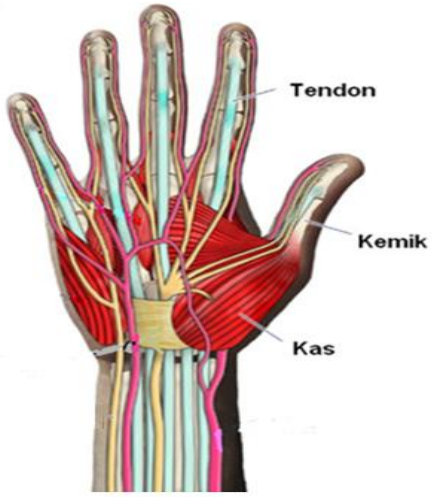
1.2 İnsan Elinin Yapısal Anatomisi

El anatomisi temel olarak 3 ana kısmından oluşmaktadır; Şekil 2'de temel anatomi yapısı verilmiştir.

Kemiklerin yapısında % 25 oranında su ve % 45 oranında inorganik madensel tuzlar ile kalsiyum, fosfat, magnezyum fosfat, karbonat ve az miktarda sodyum, %30 kadar da organik maddelerden oluşmaktadır [3]. El anatomisi yapısında toplam 27 kemik bulunmaktadır. Falanks olarak ifade edilen kemik yapısından 14 tane, Metakarpal olarak isimlendirilen kemik yapısından 5 tane, Karpal olarak adlandırılan kemik yapısından ise 8 adet bulunmaktadır. Falankslar parmaklarda bulunan diğerlerine nazaran uzun yapılara sahip kemiklerdir. Başparmakta 2 tane olmak üzere, diğer dört parmakta üç adet falanks bulunur. Avuç içine yakın olan Proksimal Falanks, parmak ucunda yer alan Distal Falanks ve bu ikisinin ortasında yer alan ise Middle Falanks olarak isimlendirmektedir. Her bir parmağın falankslarından sonra yer alan ve elin üst kısmında bulunan Metakarpal kemik yapısı bulunmaktadır [3]. Metakarplar ve falankslar elin kavrama hareketleri sırasında çok önemli fonksiyonlara sahiptirler. Avuç çukurlaşması ile elin objeyi daha fazla kavramasını ve yakalama olayının daha iyi yapılabilmesi sağlanır.

Tendonlar, parmakların hareketini destekleyen kasların kıkırdak halini almış olan bağıntılardır. Bükücü tendonlar (fleksor) ve kaldırıcı tendonlar (ekstansor) olmak üzere iki kasımdan oluşur. Parmakların her bir eklemi farklı bir kas-tendon sistemi tarafından hareket ettirilir [4].

El bileği, el ile parmakları hareket ettiren kaslar önkolun ön ve arka tarafında bulunurlar. Bu kaslardan önkolun ön yüzünde bulunanlar bilek, el ile parmakların fleksörleri, arka kısmında bulunanlar ekstansörleridir. Entrensek grubunu oluşturan kaslar parmakların açma ile kapama hareketlerini destekler ve bükülmelerine yardım eder. Baş parmağı hareket ettiren sekiz kas olması ve bu parmağın diğer parmaklardan çok fazla görev edinmesini sağlar. Opponens Pollicis kası baş parmak için özellikle önem arz etmektedir. Baş parmağın diğer her bir parmağın ucuna değmesine olanak verir ve birçok tipte çalışma yaptırmasında önemli rol oynar [5].



Şekil 2. Elin yapısı [3].

1.3 Elektromiyografi

Elektromiyografi (EMG); kaslar ve kasları yöneten sinir hücrelerinin (motor nöronlar) hareket halindeyken veya değilken ki durumunu değerlendirmek adına yapılan bir tanımlama çeşididir. Motor nöronlar kasların gerilmesine sebep olan elektrik sinyalleri ileterek, kasların hareketli olmasını sağlayarak elektrik akımı oluşturulur. EMG, elektromiyograf olarak adlandırılan ve elektromyogram olarak adlandırılan bir kayıt üretmek için kullanılan bir alet kullanılarak yapılır [6].

İğneleme yöntemiyle EMG genel olarak kullanılan ismi "Geleneksel EMG' dir. İğneleme yöntemi ile EMG 'ye ek olarak farklı tipte EMG ölçüm biçimleri de bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla, Tek Lif EMG (SFEMG), Makro EMG ve Taramalı EMG, Yüzey EMG(sEMG)'dir.

1.3.1 İğneleme Yöntemiyle Emg

İğneleme Yöntemi ile Elektromiyografi tekniğinde sinir-kas bölgelerinde bulunan hastalıkların teşhisi amacıyla motor ünitenin aktivitesini takip edebilmek için iğne elektrotlar kullanılır. Standart iğne EMG'sinde kas içine batırılan iğne sayesinde birçok motor üniteden aktivite kaydedilir. Kayıt için kullanılan elektrot tipi konsantrik iğne elektrodudur. Elektrodun alma bölgesi tek lif EMG elektrotundan geniş olduğundan birçok kas liflinden aktivite kaydeder. Genelde bir ölçümle birçok motor

ünitenin boyutu, ateşleme karakteristiği ve morfolojisi hakkında bilgi edinilebilir. Kayıt elektrodu yakınındaki kas liflerinin tek başına veya grup halinde, spontane yada istemli bir şekilde ateşleme yapması ile oluşan aksiyon potansiyelleri sebebiyle EMG potansiyelleri oluşur. Motor ünite aksiyon potansiyeli (MÜAP) birçok kas lifinin aksiyon potansiyellerinin toplamını tanımlayan bir ifadedir [7].

1.3.2 Tek lif Emg

Kas lifleri, akson dallarının fizyolojik özellikleri özel incelenmek istendiğinde seçici bir kayıt tekniği gerekmektedir. İstemli kasılma sırasında 300 μm alma çapı ile tek kas liflinden aksiyon potansiyellerini kaydeder. Tek lif EMG (TLEMG) motor ünite mikrofizyolojisi konusunda çalışmak için geliştirilmiştir [8-10].

1.3.3 Makro Emg

Motor ünite tarafından üretilen toplam elektriksel aktiviteyi yakalamak için elektrot kullanarak daha geniş kayıt bölgesine imkân veren bir teknik gerekmektedir. Bu teknik makro EMG'dir. Makro EMG tekniğinin amacı tüm motor ünitenin kas liflerinin çoğunluğunun elektriksel aktivitesi olarak tanımlanan makro motor ünite aksiyon potansiyelini kaydetmektir. Bu yüzden bu teknik tüm motor ünitenin aktivite toplamını yansıtarak motor ünitenin boyutu hakkında bilgi sağlar. Makro EMG kaydı seçici değildir ve tüm motor ünitelerden pek çok lif sinyalin birleşmiş bir aksiyon potansiyeli olarak kaydedilmesine sebep olur. Kayıtlar iğnenin kanalının geniş bir segmenti ile uzak yüzeydeki referans elektrotu arasında yapılır [8, 9, 11- 14].

1.3.4 Taramalı Emg

Bu teknikte iki başka elektrot kullanılır. Birinci elektrot tetik sinyali olarak incelenip motor üniteye sahip olan kas lifinden tek lif aksiyon potansiyelini kayıt etmek için kullanılır. Taramalı EMG klinik tetkiklerde kullanılmamıştır fakat motor ünite morfolojisini ve motor ünitenin farklı bölgelerindeki EMG sinyallerinin üretimini daha iyi anlamak için bir araştırma aracı olmuştur [9]. Taramalı EMG metodu motor ünitenin

geçici ve uzamsal karakteristikleri hakkında bilgi verir. Taramalı EMG motor ünitenin elektrik özelliklerinin yanında anatomik özellikleri hakkında da veri sağlar. Motor ünitenin kesit uzunluğunu ölçmek ve motor ünitenin bölgesi hakkında bilgi almak mümkündür. Taramalı EMG büyük motor ünitelerinin sayıca fazlalığını doğrulamada yardımcı olur [11, 15, 16].

1.3.5 Yüzey Emg

Kasların elektriksel aktiviteleri alma bölgesi büyük olan yüzey elektrotlarıyla da kaydedilebilir. Alma bölgesi elektrotlara yapılacak ayarlamalarla sınırlandırılabilir. Yüzey elektrotlarını kullanmak acısız ve enfeksiyon riski taşımadığından iğne elektroda göre daha çok tercih edilmektedir [8,17,18]. Yüzey EMG alınım yönteminden şöyle söz edebiliriz. Elektrotları uyumlu bir şekilde kolunuzun üzerine yerleştiriniz. Deney yapılan kişinin ilk önce kolundaki saat veya süs eşyaları çıkarılmalıdır. İki elektrotu yaklaşık 7 cm aralık olacak şekilde elektrotları sağ kolun önkol bölümüne yerleştiriniz. İki elektrotu çizgi ve kol ekseni ile paralel olacak şekilde düzenlenmelidir. Elektrotların yerleştirileceği bölgelerdeki direnci düşürmek amacıyla İlaçlı pamuk (swab) kullanarak bu bölgeleri ovarak temizleyiniz. Sol kol üzerinde herhangi bir yeri kalemle işaretleyiniz. Bu nokta referans elektrot için kullanılmaktır [19].

1.4 Engellilik ve Engellilik Çeşitleri

Engelli, yaralanma veyahut fiziksel, zihinsel bir rahatsızlık olması sebebiyle bazı hareketleri, duyuları ya da işlevleri kısıtlanan birey olarak tanımlanmaktadır [20, 21]. Engellilik, genetik kalıtsal hastalıklar yüzünden oluşabilir veya iş kazası gibi geçirilen bazı kazalar sonucunda meydana gelebilir. Yeti yitimi, Dünya Sağlık Örgütü'nün ve Yetiyitimi ve Sağlığın Uluslararası Sınıflandırması'na göre engelli olma durumu için kullanılan terimdir. Ampüte kişiler; bedenin duyusal, işlevsel, zihinsel ve psikolojik farklılıkları göz önünde bulundurularak; toplumcu ve yönetimci tutum tercihler sonucu, yaşamın birden çok alanda kısıtlılık ve engellerle karşılaşabilirler.

Engelli insanların psikolojik olarak en büyük etkenlerden birisi, sosyal çevrenin kişiye yaklaşım tarzıdır. Engel oranı düşük olanlar kendi öz gerekliliklerini

(yemek,tuvalet vs.) karşılayabilirler. Fakat engel oranı yükseldikçe özel veya yaşamsal gerekliliklerini ise bir başkasının desteği ile karşılayabilirler.

Engellilik çeşitleri çoğunlukla ele alındığında temel olarak 3 belli başlıkta toplanabilir. Vücudun bütünlüğü manasındaki bir engelin dolaylı olarak birçok farklı şekillerde kişiye engeller oluşturduğu gözlemlenmektedir.

Fizyolojik engellilikte bireyin doğumunda ya da sonradan geçirdiği rahatsızlık veya kaza sebebiyle vücut içerisinde bulunan hayati organların fonksiyon yetersizliği sebepleriyle ortaya çıkan durumda kişi fizyolojik olarak engelli görülmektedir. Mobilite bozuklukları, solunum bozuklukları, organ yetmezlikleri bunun bir çeşididir.

Zihinsel engellilik ise doğumda veya sonradan işitme ya da görme engelli veyahut daha geniş anlamda beyin ile ilgili algılama ve algıladığını doğru yorumlayamama durumları, algısal engellilik kategorisini kapsamaktadır. Bunların içerisinde öğrenme bozuklukları, dikkat yetersizlikleri, görme sorunları (körlük), işitme sorunları (sağırlık), psikiyatrik sorunlar (duygusal algı bozuklukları, sosyal bozukluklar; algılananları yorumlayamama sorunları, yanlış dürtülenme, vb.) söylenebilir..

Fiziksel engellilikte teknik açıdan vücut yaşam belirtilerini fazla etkilemeyen el ayak gibi uzuv kaybı veya uzuv felç'i gibi vaziyetler fiziki hareket eyleminin kısıtlandığı durumlar söz konusudur. Örnek olarak, yürüme engellilik, ortopedik engellilik verilebilir.

1.5 Biyo-Elektronik El

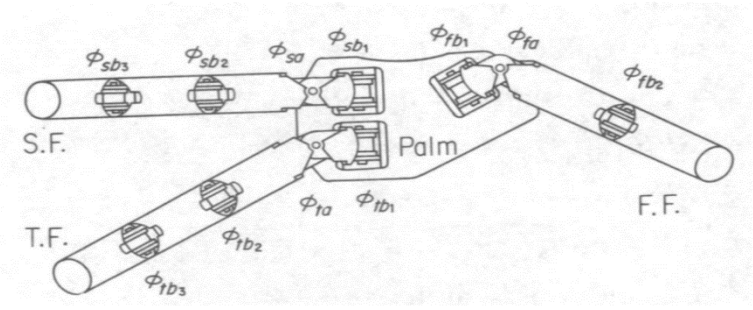
Biyo-elektronik kelimesi ilk kez 1958 yılında Jack E. Steele tarafından kullanılmıştır. Biyo-elektronik, teknik sorunları biyolojik işlevleri örnek alarak çözmeye uğraşan uygulamalı bir bilim dalıdır. Doğada var olan teknik ve sistemleri araştırıp yeni mühendislik sistemlerinde ve teknolojilerinde bu yöntemleri kullanmayı hedefler. Robotik alanında da biyolojik modellerden esinlenmiş ve benzeşimi yapılmış bir çok çalışma mevcuttur [22].

Biyo-elektronik protez el ise ellerinde veya kollarında fizyolojik problem bulunan bireylerin doğuştan gelen yetilerini kullanabilmelerini, istenilen hareketleri

yerine getirebilmesini ve yaşam standartlarını arttıracak teknolojik bir protezdir. Biyo-elektronik Protez El için geçmişten günümüze bir çok araştırma, bilimsel çalışma gerçekleştirilmiş, halen daha gelişime açık bir konudur. Biyo-elektronik Protez El tasarımları geçmişte milyon dolarları bulan maliyetler sonucu ortaya çıkmış, günümüzde ise milyon dolarlardan sadece birkaç bin dolara kadar düşmüştür. Ancak halen birçok ampüte bireyin bu ücreti karşılayabilecek ekonomik güce sahip değiller. Çalışmada yapılan araştırma ve geliştirmelerde ise bu yüksek maliyetlere sahip biyo-elektronik elleri herkesin satın alabileceği ucuz ve aynı işlevselliğe kavuşturmak ve bunu sadece birkaç yüz doları bulan düşük maliyete gerçekleştirmektir.

1.5.1 Geçmişten Günümüzde Biyo-Elektronik El Uygulamaları

1900'lerin ikinci yarısından itibaren robot el çalışmaları bir hayli hız kazanmaya başlamıştır. 1970'lerin sonlarında Okada ve arkadaşları tarafından geliştirilen üç parmaklı prototipin şeması verilmiştir [23] (Şekil 3). Bu sistemde Ø ile belirtilen data eklemlerin o anki konum bilgisini vermektedir. Birinci parmak (FF) 3 farklı serbest dereceli hareket yeteneğine sahiptir. İkinci Parmak (SF) ve Üçüncü Parmak (TF) 4 farklı serbest dereceli hareket yeteneğine sahiptir. Toplamda on bir serbest dereceli hareket yeteneğine sahiptir ve tendon hareket iletim mekanizmalı robot el somun açma hareketi ile bilim dünyasına sunulmuştur.



Şekil 3. Okada ve arkadaşları tarafından geliştirilen üç parmaklı biyo-elektronik el[23].

Utah/MIT de geliştirilen biyo-elektronikel 1986 da S.C. Jacobsen ve arkadaşları tarafından tasarlanmıştır [5]. İnsanlardan farklı olarak dört adet parmağa sahip ancak tıpkı bir insan parmağı gibi serbestliğe sahiptir. Bu dört parmak toplam onaltı serbest dereceli hareket sistemine sahip, bu tasarım sayesinde o döneme kadar geliştirilen harekete geçirme ve kontrol sistemleri tasarımları deneysel olarak test edilmiştir. Diğer biyo-elektronik el sistemlerine ek olarak yine bu tasarımda hissedebilir (tactile) sensörler kullanılmaya başlanmıştır ve biyo-elektronik el teknolojisinin geliştirilmesi adına önemli adımlar atılmıştır [24].

Melchiori ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen "UB Hand II" biyo-elektronik eli literatür araştırmalarında öne çıkan bir çalışmadır [6]. Toplamda 3 adet parmak yapısı tercih edilip serbestlik mimarisi onüç olarak belirlenenen bu tasarım insan kolunun sahip olduğu omuz ve direk hareket sisteminede sahip ilk çalışma olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan bu çalışmada biyo-elektronik parmakların kontrolü tendonlardan alınan sinyaller yardımı gerçekleştirilmiştir [25].

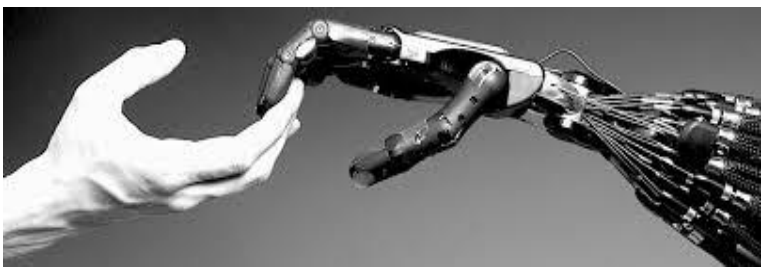


Şekil 4. Utah/MIT tarafından hazırlanan biyo-elektronik el [5].



Şekil 5. UB Hand II isimli biyo-elektronik el [6].

Shadow şirketinin ürettiği "Shadow" eli farklı bir tahrik unsuruna sahip bir tasarım olarak gösterilebilir [26]. Pnömatik kaslara sahip bu el toplamda beş adet parmağa, yirmibir serbestliğe ve pnömatik kas yapısına sahiptir. Cismin pozisyonunu, uzaklığını veya dönüşünü algılayabilen Hall-effect sensörleri kullanılmıştır. Basınç senörleri ve hissedebilir sensörlere sahip bu ellerde hava kaslarının valflerinin kontrolü, yaygın endüstriyel kontrol sistemlerinde kullanılan geri besleme denetleyicisi PID (Oransal, İntegral, Türevsel) kontrol elemanları ile yapılmaktadır.



Şekil 6. Shadow Hand isimli biyoelektronik el [26].

Michelangelo biyo-elektronik eli dünyada başparmağı elektronik açıdan pozisyon değiştirebilecek şekilde Ottobock şirket tarafından tasarlanan biyo-elektronik el için verilen addır. Bağımsız olarak hareket özelliğine sahip dört parmak ve ayrı pozisyonlanabilen baş parmak desteğiyle sağlıklı bir insanın elinin fizyolojik sahip olduğu işlevselliğe mekanik olarak sahiptir. İki adet servo motor ile donatılmış bu biyo-elektronik el doğal bir hareket elde edebilmektedir. Fizyolojik tasarıma sahip olduğu

için engelli bireylerin psikolojik yaklaşımı açısından oldukça öneme sahiptir. Bilek eklemi doğal görünüş yönünden olduğu kadar dört başka yönde hareketlerine müsaade vererek kullanıcının protezine fonksiyon ve mental açıdan adapte olmasında önemli rol oynar [27].



Şekil 7. Ottobock Michelangelo isimli biyo-elektronik el [27].

Günümüz biyo-elektronik el şirketlerinden en bilineni olan Touch Bionics I-Limb adında 4 farklı biyo-elektronik el tasarımı bulunmaktadır.

I-limb ultra, klasik el protezlerinin ötesinde Touch Bionics tarafından geliştirilen birtakım ilave özellikler oluşturan çok yönlü bir cihazdır. Temel faktörleri; harici güç kaynağı, her parmağın tam anlamıyla açılabilmesi beş föktörlü parmağın bulunması, baş parmağın manüel olarak dönebilmesi, uyumsal kavrama yeteneği, vari-grip özelliği, otomatik tutuş (kayma tespiti) özelliği, otomatik kavrayış şekilleri ve el hareketleri şeklindedir [28].



Şekil 8. I-Limb ultra biyo-elektronik el [28].

I-Limb Ultra Revolution çok faktörlü ve çok yönlü bir biyo-elektronik el olarak Touch Bionics tarafından sistemde yerini almıştır. I-Limb Ultra'dan farklı olarak; Hareketli başparmak, her bir tanesi tek başına bağımsız hareket oluşturan beş adet

parmak, uyumlu kavrayış, çoklu kavrayış, otomatik kavrayış ve orantılı kontrol özellikleri bulunmaktadır. Daha doğal tutuş imkanı oluşturan bir dizi esnek bilek faaliyetleri mevcuttur. [28]



Şekil 9. I-Limb ultra revolution biyo-elektronik el [28].

I-Limb Quantum daha obsiyonlu bir el olarak Touch Bionics tarafından oluşturulmuştur.. I-Limb Ultra Revolution'a ek olarak; Daha hız faktörlüdür, istenilen durumda parmakların hızı % 30 oranında daha fazla olabilmektedir, daha güçlüdür, diğer el dizaynlarına nazaran %30 daha güçlüdür, Ayrıca tasarım olarak daha minik olarak dizayn edilmiştir [28].



Şekil 10. I-Limb quantum biyo-elektronik el ve I-Limb access biyo-elektronik el [28].

Biosim yazılımıyla yönetilen I-limb access, birden fazla aktiviteyi yapmayı destekleyebilecek bir el protezi olarak Touch Bionics tarafından tasarlanmıştır.Temel özellikleri; Beş tane birbirinden bağımsız parmak özelliğini barındırması, farklı

kavrayış ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde manuel açıdan hareket sağlayan başparmağı özelliğinin olması, manuel olarak hareket ettirilebilen bilek kullanılabilir ya da elektronik bilek rotatörünün kullanılabilir olması, daha sağlam olması adına aluminyum şase kullanılması, pil ömrünü uzatmak nedeniyle güç kontrol mekanizmasının bulunması, pil belirli bir düzeyin altına indiğinde sesli sinyal vermesi, üst ekstremite makinelerinin birçoğu ile uyumlu olması, iki başka beden (Medium ve Small) ve renk (Naturel veya Siyah) olarak tasarlanması, bilek uzantısının olması olarak verilebilir [28].

1.5.2 Arduıno ve Sensörler

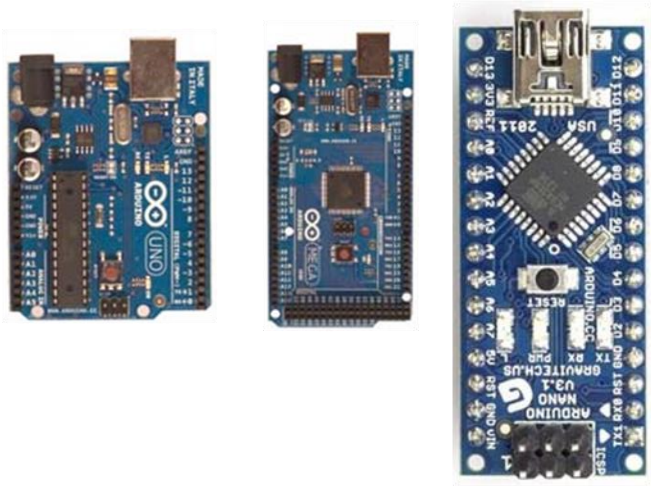
Kaslardan almış olduğumuz tetikleme sinyallerinin ölçümlerini ve algılamalarını çeşitli geliştirme kartları ve sensörler yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Kalibrasyon ve validasyon süreçlerinde sinyallerin alınması, anlamlar kazandırılması için Arduıno UNO kullanılırken biyo-elektronik elin iç kısmında komutların yerine getirilmesinde ise Arduıno NANO kullanılmıştır.Algılayıcı sensörlerden Grove EMG Sensörü, elektrotlar ile birlikte kullanılmıştır.

1.5.2.1 Arduıno

Arduino bir Giriş/Çıkış kartı ile İşleme/ Kablolama dilinin bir versiyonunu içeren üretim ortamından ortaya çıkan bir fiziksel programlama platformudur. Arduino kartlarının içeriğinde bir adet Atmel AVR mikrodenetleyici ile programlama ve diğer devrelere bağıntı için elzem yan elemanlar bulunur. Bütün Arduino kartında en azından bir 5 voltluk regüle entegresi ve bir 16MHz kristal osilator bulunmaktadır. Arduino kartlarında programlama için harici bir programlayıcıya gerek duyulmaz nedeni ise karttaki mikrodenetleyiciye önceden bir bootloader programı yazılıdır [29].

Arduino'nun temel bileşenleri: Arduino geliştirme ortamı (IDE), Arduino bootloader (Optiboot), Arduino kütüphaneleri, AVRDude (Arduino üstündeki mikrodenetleyici programlayan yazılım) ve düzenleyiciden (AVR-GCC) oluşur.Arduino yazılımı bir geliştirme alanı (IDE) ve kütüphanelerden oluşur. IDE, Java dilinde yazılmıştır ve Processing adlı dil ortamından oluşmaktadır. Kütüphaneler ise C ve C++

dillerinde tasarlanmıştır ve AVR-GCC ve AVR Libc. ile derlenmiştir. Arduino kaynak kodlarına buradan erişebilirsiniz. Optiboot bileşeni Arduino 'nun bootloader bileşenidir. Bu bileşen, Arduino kartlarının üstünde yer alan mikrodenetleyicinin programlanmasınlar destek olan bir bileşendir [30]. Şekil 6.1A'da Arduino Uno, Şekil 6.1B'de Arduino Mega ve Şekil 6.1C'de Arduino Nano kartları gösterilmiştir.



Şekil 11. Arduino kartları.

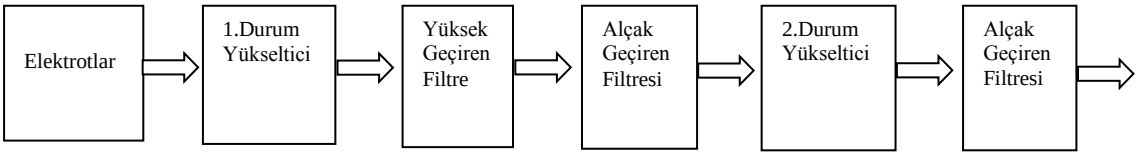
Arduino Uno, Arduino 'nun esas kartıdır. ATMega328 mikrodenetleyicisi bulunur. 14 Dijital Giriş/Çıkış Pini bulunmakta, 6 adet PWM çıkışı, 6 adet ADC girişi vardır. 32 KB hafızası bulunmaktadır [31]. Arduino Mega 2560'da ATMega2560 mikrodenetleyici barındırır. Giriş/Çıkış Sayısı Arduino Uno 'dan çok fazladır. (54 Dijital Giriş/Çıkış Pini, 14 PWM Çıkışı, 16 ADC Girişi). Hafızası da Arduino Uno 'ya nazaran daha yüksektir[32]. (256 KB Flash hafiza)Arduino Nano V3 te ATmega328 (önceki versiyonlarda ATmega168Dijital giriş/çıkış pinleri: 14 tane (6 tanesi PWM çıkışını destekler). Flash hafıza: ATmega328 adına 32 KB, ATmega168 adına 16 KB (2 KB bootloader için kullanılır) [33].

1.5.2.2 Sensörler

Sensör, otomatik kontrol sistemlerinin duyularımıza verilen isimdir. Bireylerin etrafında olan biteni duyu organlarıyla algılamasına benzer şekilde, makineler de sıcaklık, basınç, hız ve benzer değerleri sensörler aracılığı ile algılarlar [34].

1.5.2.2.1 Emg Sensör

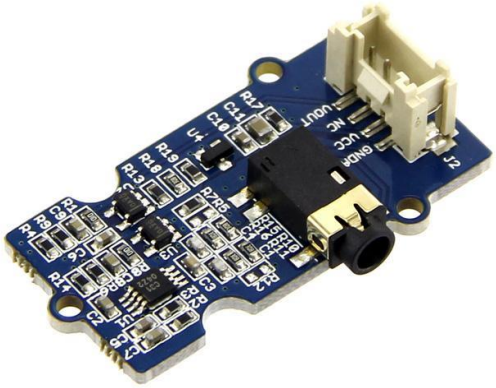
Elektrotlardan gelen bir EMG sinyalinin kalitesi kısmen amplifikatörlerin özelliklerine bağlıdır. EMG sinyallerinin zayıf genliği tipik olarak onlarca ila binlerce μV düzeyinde olduğu için, EMG uygulamalarında kullanılan amplifikatörlerin kazancının 1000 ila 10000 aralığında olması gereklidir. Sonuç olarak, yükselteç işlemi genelde birkaç aşamayı kapsar. Şekil 12'de, devrede uygulanan yükseltme ve filtreleme aşamalarının blok diyagramını göstermektedir. Sistemde en önemli safha, yani elektrotlara yakın birinci aşama, geleneksel olarak ön yükselteç olarak adlandırılır. Ön yükselteç tasarlanırken, yüksek bir ortak mod zayıflatma oranı (CMRR), yüksek bir giriş empedansı, sinyal kaynağına kısa bir mesafe ve güçlü bir doğru akım (DC) sinyal bastırma yapılmalıdır [35]. Ön yükselteçten alınan sonuçlar daha sonra, belirli bir kazanç elde etmek için ikinci bir kuvvetlendirme aşamasına girmeden önce yüksek geçiren ve alçak geçiren filtrelerden geçirilmelidir. İkinci yükselteç kademesi basit bir yükseltme devresidir ve kazancı farklı dirençler seçilerek kolayca ayarlanabilir. Yüksek frekanslı işaretleri bastırmak için, ikinci yükselteç aşamasında alçak geçiren filtre kullanılır. Son olarak, yükseltme ve filtreleme devresinden gelen çıkış sinyali bir analog-dijital dönüştürücüye (ADC) ulaşır [36].



Şekil 12. Yükselteç ve filtreleme devresinin blok diyagramı [35].

1.5.2.2.2 Grove-Emg Sensör

EMG sensörü, birey vücudunun birçok noktalarına bağıntı kurarak o noktalardaki kasların ve sinirlerin ortaya çıkarmış olduğu elektriksel sinyalleri Arduino ve benzeri mikro denetleyici sistemlerle okumaya destek olan bir sensör modülüdür. Boş durumda 1,5V'luk sinyal çıkışı sağlayan sensör, kas kasılması sonucu 3,3V'luk voltaj noktasına kadar yükselmektedir. Sensör çıkış noktası analog voltaj çıkışı şeklindedir. Bu sayede 5V'luk ve 3.3V'luk sistemlerle birlikte desteklenebilmektedir[37]. Şekil 13'de grove sensör yapısı verilmiştir.



Şekil 13. Grove-EMG sensör [37].

1.5.3 Elektrotlar

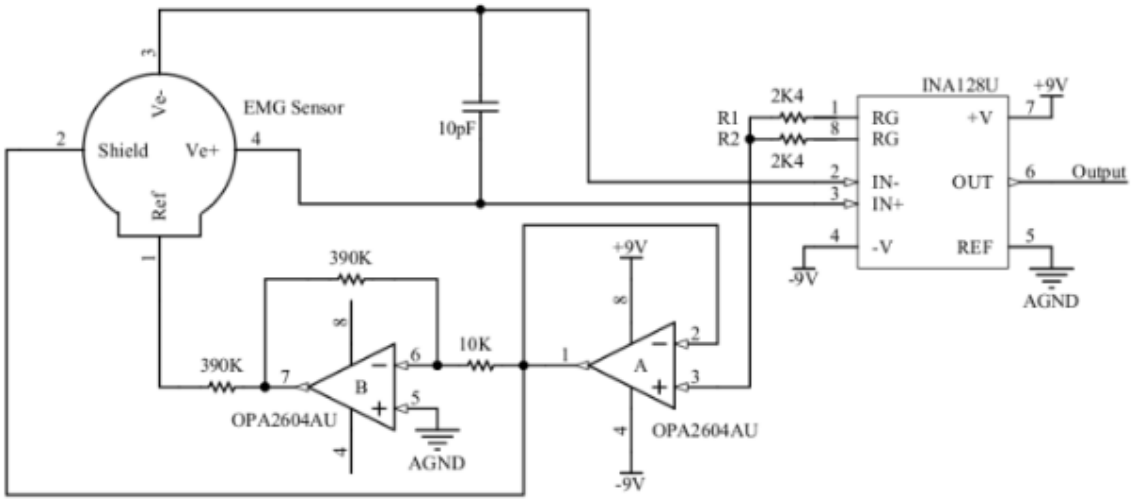
Elektrodların tasarımı ve kalitesi, EMG sinyallerinin kalitesini doğrudan etkilerken, elektrot tasarımı önemlidir. Piyasada yüzey elektrodu ve intramüsküler elektrot (tel veya iğne) olmak üzere iki elektrot bulunur. Her ikisi de EMG sinyal algılama için kullanılmıştır. Uygulanması kolay ve ekonomik olduğu için bu tez için yüzey elektrodları seçilmiştir. Şekil 14'de verildiği gibi, 3M şirkenin ürettiği elektrot tasarımda seçilmiştir [38].



Şekil 14. Elektrot.

1.5.4 Ön Yükseltici

Ön yükseltici devresi olarak referans kaynaklı ve korumalı tahrik devresi olan bir INA128 entegresi ve OPA2604 operasyonel yükseltici kullanmaya karar verilmiştir. INA128 entegresi, çok düşük ofset voltajı ile mükemmel doğruluk sağlayan düşük güçte, genel amaçlı enstrümantasyon yükselticidir. Şekil 15'de ön yükselteç tasarımı verilmiştir [39].

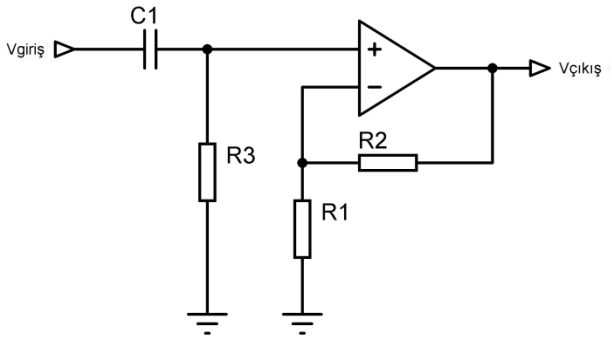


Şekil 15. Ön yükselticinin referans ve devre korumalı şematik devresi [39].

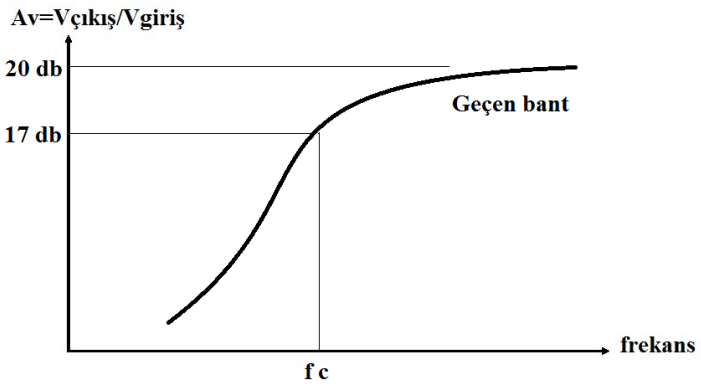
EMG sinyalinin zayıf olması nedeniyle, bazı yararlı EMG sinyal bileşenleri ile gürültü işaretleri arasındaki genlik farkı çok düşük olabilir. Ön yükselticinin kazancı çok fazla seçilirse, gürültü işaretleri eşzamanlı olarak kuvvetlenecek ve böylece yükselticin kararsızlığı ve doygunluğu ortaya çıkacaktır. Böyle bir sonucu önlemek için ön yükselticinin kazancı 10 civarında olacak şekilde tercih edilir.

1.5.5 Yüksek ve Alçak Geçiren Filtreler

Yüksek geçiş sağlayan filtre yapısında kesim frekansından (F_C) daha fazla oluşan frekanslarda sabit bir kazanım bulunmaktadır. Kesim frekansında, yüksek frekans kazancı 3dB azalmaktadır. 0 Hz ile kesim frekansı (F_C) arasında bulunan frekanslar bant sönümleme frekansı, F_C'den daha fazla frekanslar ise bant geçirme frekansıdır. Bant sönümleme frekansında kazanç daha da azalır. Şekil 16'da örnek bir yüksek geçirim sağlayan filtre verilmişitir. Şekil 17'de ise, yüksek geçirim filtrenin frekans eğri örneği gösterilmiştir [40].



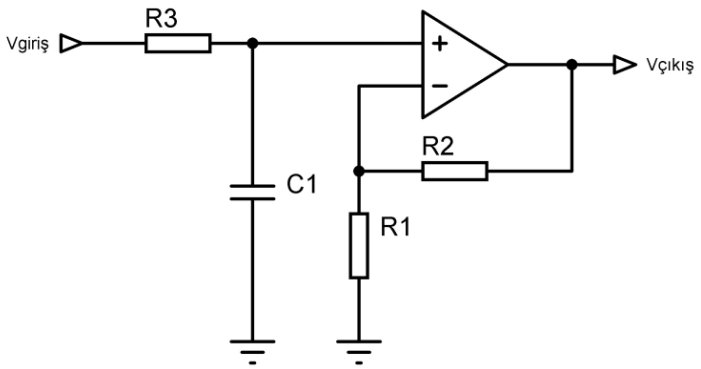
Şekil 16. Op-Amp'lı aktif yüksek geçiren filtre [40].



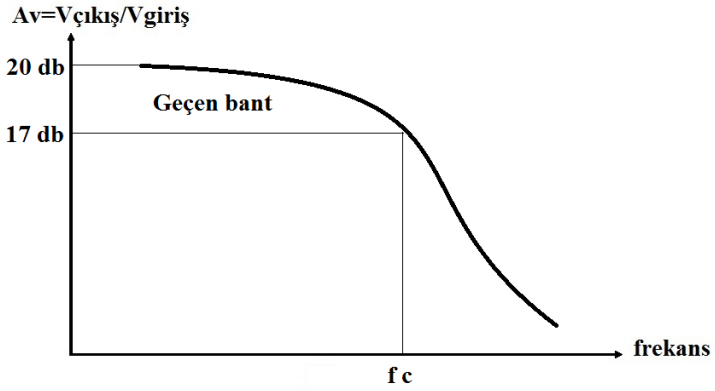
Şekil 17. Yüksek geçiren filtre frekans eğrisi [40].

Alçak geçirim sağlayan filtre yapısında kesim frekansından (F_C) daha az frekanslarda sabit bir kazanım bulunmaktadır. Kesim frekansında, alçak frekans kazanımı 3dB azalmaktadır. Kesim frekansından (F_C) daha fazla frekanslar bant

söndümleme frekansı, F_C'den daha az frekanslar ise bant geçirme frekansıdır. Bant söndürme frekansında kazanım oldukça azalmaktadır. Şekil 18'de örnek gösterilen bir alçak geçirim filtre verilmiştir. Şekil 19'da ise, alçak geçirim filtrenin frekans eğri örneği olarak gösterilmiştir [40].



Şekil 18. Op-Amp'lı aktif alçak geçiren filtre [40].



Şekil 19. Alçak geçiren filtre frekans eğrisi [40].

BÖLÜM 2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1 Tasarım

Robotik sistemlerin tümü mekanik hareket yetisine sahiptirler. Bu mekanik hareket kabiliyetini kullanıcının bilinçli olarak kullanmanı gerçekleştirebilmesi, donanımı kontrol edebilmesine bağlıdır. Donanım kontrolünü en uygun yazılım dili kullanılarak robotik sistemlerde istenilen fonksiyonu yapabilmesi için gereken komutlar öğretilmesi sağlanmış olur.

Gerçekleştirilen bu çalışmada tek kanal tek fonksiyon ve tek kanal üç fonksiyon olmak üzere iki adet farklı ürün ortaya çıkardık. Her iki üründe de yazılım ve donanım olmak üzere iki farklı tasarım iş paketi bulunmaktadır.

2.1.1 Biyo-Elektronik Elin Mekanik Tasarımı

Biyo-elektronik ellerde parmak uzuvlarının kayıpları, bilek altı, dirsek altı ve omuz altı kayıpları olmak üzere tasarımsal olarak 4 farklı uygulama alanına sahiptir. Bu çalışmada dirsek altı uygulama alanına yönelik model seçilmiştir. Dirsek altı için kullanılabilecek birçok açık kaynak model bulunmaktadır. Açık kaynak olan modeller arasında hareket kabiliyeti ve görsellik unsuru göz önünde bulundurulduğunda tek kanal üç fonksiyon'lu el için Inmoov'un el modeli seçilmiştir [42]. Tek kanal tek fonksiyonlu el içinse açık kaynak'lı tüm modeller istenilen ihtiyacı karşılamadığı için özgün bir çalışma yapılmıştır.

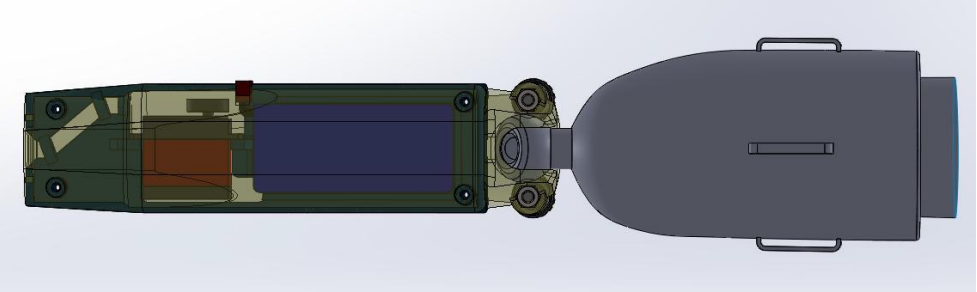
2.1.1.2 Tek Kanal Tek Fonksiyon Biyo-Elektronik El Mekanik Tasrımı

Tek kanal tek fonsiyon biyo-elektronik el'in tasarımını yaparken sıfırdan özgün bir çalışma yapılacağı için öncelikle ihtiyaçlar belirlenmiştir. Bu kapsamda sistem, tüm enerji ihtiyacını karşılayacak bir adet 7.4 V 2000mah'lık lipo pil, belirlenen fonksiyonu gerçekleştirebilmesi için gerekli olan mekanik enerjiyi sağlayacak yüksek tork sağlayabilecek servo motor, servo motor'da oluşabilecek yüksek akım çekmelere karşı önleyici olarak akım sensörü, kullanıcının kas dokusundan verdiği tetik sinyalini

algılayacak EMG sensörü(Bu çalışmada Grove'un EMG sensörü kullanılmıştır) ve tüm bu sistemin ahenk içinde çalışmasını sağlayacak programlanabilir kart, mekanik elin içerisine monte edilecek özelliklere sahip olarak tasarlanmıştır.

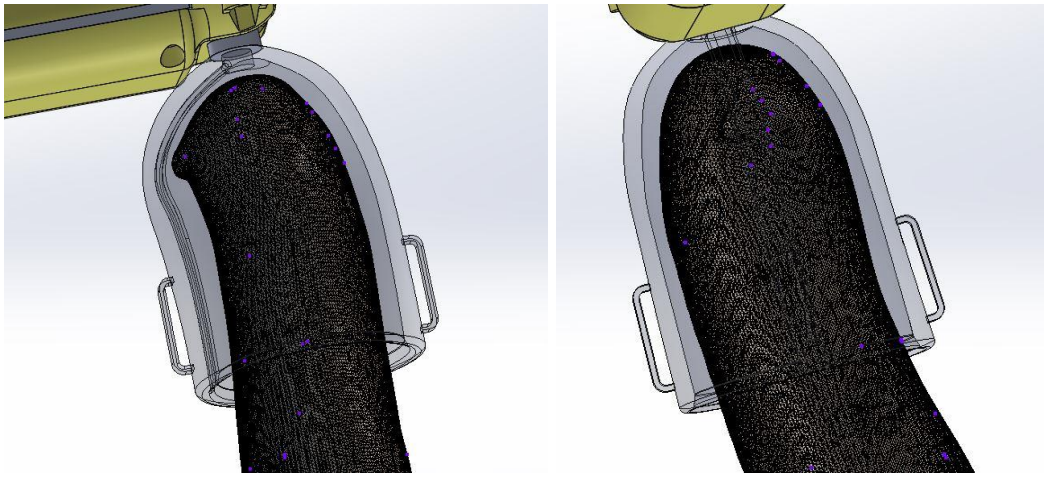
Tek fonksiyona sahip olacağı için biyonik elin, insanın günlük hayatta en çok ihtiyacı olacağı ve bu hareketi tek motor ile gerçekleştirebileceğimiz bir hareket olması gerekmekteydi. Bu sebeple "grasp" hareketi seçildi. İnsan fizyolojisine benzer olarak grasp hareketini veya diğer fonksiyonlardaki parmak hareketlerini gerçekleştirmek için her parmağa tendon olarak çelik halat kullanıldı. Çelik halat kullanılırken dikat edilmesi gereken husus sarmal yapısından tek bir sarmalın kullanulmasıdır. Aksi taktirde sürtünme katsayısı artıyor ve motorların üzerlerine düşen yük artmaktadır.

Tek kanal tek fonksiyon biyo-elektronik el'de tüm yapının elin içerisinde olması hedeflenmektedir. Bu sayede estetik olarak kaygılardan kurtulmuş olunacaktır. Hemde el'i kullnacak olan kişinin ergonomi açısından sorun yaşamaması amaçlanmaktadır. Eğer el'in ağırlığı fazla olursa dirsek altı uygulamarında el'i tutacak olan yapının ters omuz tarafından alacağı desteği zayıflatmaktadır.



Şekil 20. Tek kanal tek fonksiyon biyonik el mekanik tasarımı.

Dirsek altı engellilikte biyo-elektronik el'in dirsek üstü soket yapısı ergonomi açısından önem arz etmektedir. Eğer engelli birey için tasarlanan soket yapısı direk üstü'nü çok fazla sıkar veya gevşeme kaynaklı sürtünme olursa deride yaralara neden olur. Bu sebeple soket yapısı dirsek üstü'nün birebir aynısı olmak zorunda. ABS hastalarında uzuv sonunda tomurcuk oluşur. Bu tomurcuk düşünülerek tasarım yapılmalıdır. Bu çalışmada ABS hastası bireyin üst kol yapısı 3D tarayıcılarla taranarak dış katman oluşturulmuştur.

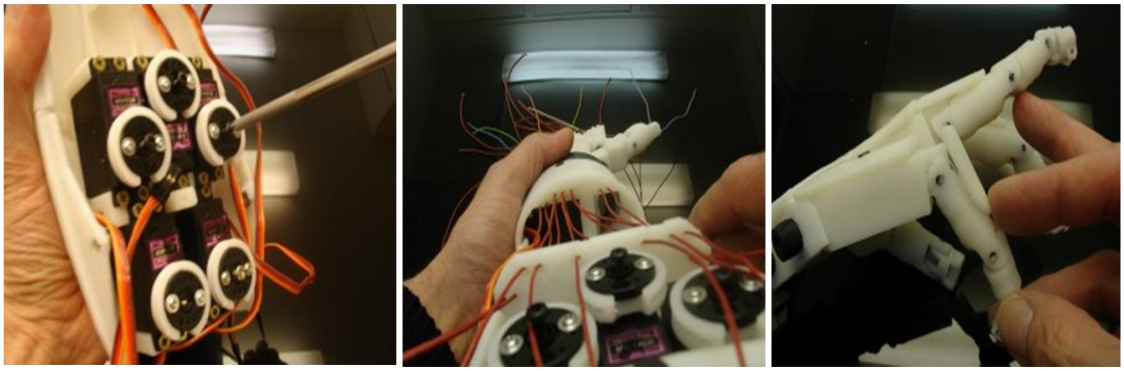


Şekil 21. Tek kanal tek fonksiyon biyonik el soket tasrımı.

Tek kanal tek fonksiyon elinin mekanik özellikleri arasında parmakları geri dönmesi için eklem boşluklarına esnek materyalden yapılma eklemler kullanılmıştır. Bu sayede parmaklar motor çekmediği sürece açık pozisyona kendisi dönmektedir.

2.1.1.3 Tek Kanal Üç Fonksiyon Biyo-Elektronik El Mekanik Tasarımı

Üç fonksiyona sahip biyonik el'in mekanik tasarımı için toplam altı adet servo motor kullanılmıştır. Her bir parmağın hareketi ve bilek hareketi için servo kontrolü gerekmektedir. Çok motorlu sistemde tüm motorlar aynı anda hareket ederse motorlara düşen yük fazla olacağı için ana kontrollör'ün beslemesi birbirinden ayrı yapılmalıdır. Aksi durumda kontrollör kararsız olarak çalışır ve istenilen hareket gerçekleştirilemeyebilir. Tek kanal üç fonksiyon biyo-elektronik elin mekanik özellikleri arasında parmakların geri açık pozisyona gelmesi için her bir parmağa iki adet tendon kullanılmıştır. Bu tendonlardan birtanesi motor pozitif yönde döndüğünde parmağı kapanma yönünde tahriklemek için, diğer tendon ise motor negatif yönde döndüğünde parmağın açılma yönünde tahriklemek için kullanılmaktadır.



Şekil 22. Tek kanal üç fonksiyon biyonik el mekanik tasarımı.

Bu tasarımın dezavantajı içerisinde 6 adet servo motor olduğu için kullanım açısından ağır olması sebebiyle daha az ergonomiktir. Motorların güçlü lipo pil ile beslenmesi gerekmektedir. Burada lipo pil tercih edilmesi sebebi anlık yüksek akım verebilmesi sebebiyledir.

2.1.2 Biyo-Elektronik Elin Yazılım Algoritmasının Tasarımı

EMG ile kontrol edilen biyo-elektronik eller engelli bireyin vücudundaki belirlenen bir kas gurubundan alınan tetikleme sinyallerinin belirli kombinasyonlarına göre hareket eder. Bu sinyalin maksimum ve minimum noktaları belirlendikten sonra bir eşik aralığı belirlenir ve kişi bu eşik aralığının üzerinde bir kuvvetle EMG sinyali gönderirse hareketin varlığı tanımlanır. Ancak her bireyin vücudundaki kas yoğunluğunun farklılığından, bireyin belirlenen kası istenilen kuvvette ve rahatlıkta kullanamama durumu ile karşılaşılmaktadır. Bu durumda engelli bireyin vücudundaki kas yoğunluğuna özel sistem kalibre edilmektedir. Kalibrasyon aşamasında kişiye özgü maksimum ve minimum değerleri belirlenir ve sinyal işleme prosedürü başlatılmış olur.

Engelli vatandaşlarımızın biyo-elektronik el kullanabilmesi için öncelikle sinyal alınması gereken kas gurubundan kullanılabilecek kas sinyalinin alınabilesi için o kas gurubunu nasıl kullanması gerektiğini öğreneceği bir rehabilitasyon sürecinden geçirilmesi gerekmektedir. Biyo-elektronik elden istenen her hareket bir EMG sinyaline karşılık geleceği için kişi bu EMG sinyalini gerçekleştirebilmelidir. Kişinin beyninin artık biyo-elektronik elin yapmasını istediği hareketi , o hareketin karşılık geldiği EMG sinyalini verebilecek hareket olduğuna alışması gerekmektedir. Bu sebeple kişi biyo-

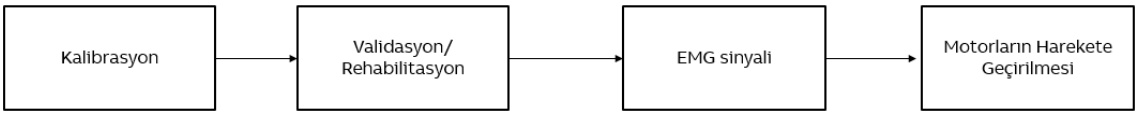
elektronik eli kullanma aşamasına geçmeden kişiye istenilen hareketi öğrenip/öğrenmediğini kontrol etmek için kişiye sürekli olarak istenilen EMG sinyalini verebilmesi için gerekli hareketi yapması beklenir. Bu süreç sonunda, başarı oranı yüzdesi % 90'a ulaşan her hareketi kişi başarmış ve öğrenmiş olarak kabul edilmektedir.

Sistem kişiye özgü kalibre edildikten sonra doğrulama aşamasındaki başarı oranı % 90 üzerinde ise, kişi artık biyo-elektronik eli kullanmaya hazırdır. Gerçekleştirilen bu biyo-elektronik el çalışmasında engelli bireyin biyo-elektronik eli kullanabilmesi sağlanmış olup biyo-elektronik kol sayesinde hayat standartlarını artıracak ve ihtiyaç duydukları hareketleri gerçekleştirecek bir sistem tasarlanmıştır.

Biyo-elektronik elin gömülü kontrol kartının algoritmasının üç ana aşamadan oluşması planlanmaktadır. Bu üç ana aşama; kalibrasyon, doğrulama ve servo motorların belirlenen harekete geçmesi için komut oluşturma olarak ifade edilebilir.

2.1.3 Tek Kanal Üç Fonksiyon Biyo-Elektronik Elin Yazılım Algoritması

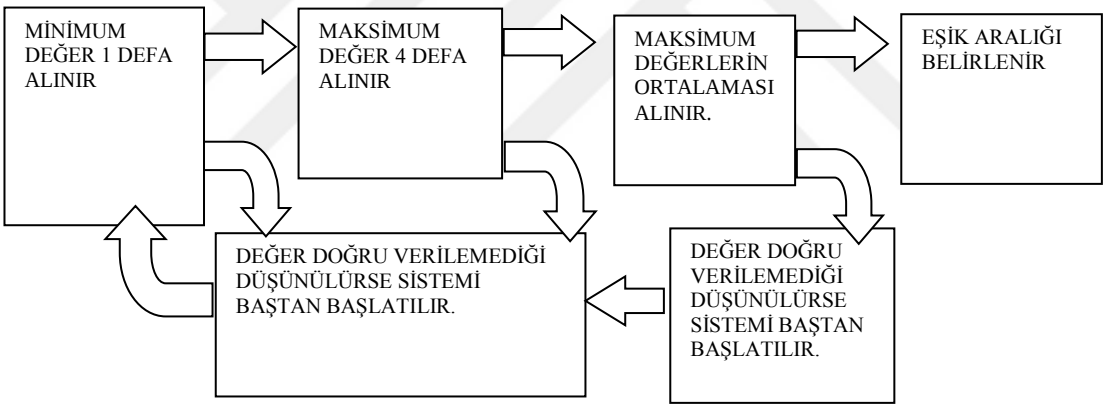
EMG ile kontrol edilen biyonik eller engelli bireyin vücudundaki belirlenen bir kas gurubundan alınan tetikleme sinyallerinin belirli kombinasyonlarına göre hareket eder. Bu sinyalin maksimum ve minimum noktaları belirlendikten sonra bir eşik aralığı belirlenir ve kişi bu eşik aralığının üzerinde bir kuvvetle EMG sinyali gönderirse hareketin varlığı tanımlanır. Ancak her bireyin vücudundaki kas yoğunluğunun farklılığından, bireyin belirlenen kası istenilen kuvvette ve rahatlıkta kullanamama durumu ile karşılaşılmaktadır. Bu durumda engelli bireyin vücudundaki kas yoğunluğuna özel sistem kalibre edilmektedir. Kalibrasyon aşamasında kişiye özgü maksimum ve minimum değerleri belirlenir ve sinyal işleme prosedürü başlatılmış olur. Şekil 23'de tek kanal üç fonksiyon biyo-elektronik elin yazılım algoritması gösterilmiştir.



Şekil 23. Tek kanal üç fonksiyon biyo-elektronik elin yazılım algoritması.

2.2 Kalibrasyon

Grove EMG sensörü 0 ile 1023 arasında değer göndermektedir. Sensörde bir sinyal girişi olmadığı sürece sensör çıkış voltajı 1,5 volt'tur. Bu gerilimin sayısal karşılığı 300 civarındadır. Her bireyin vücudundaki kas kütlesi farklı olduğu için önkol kasından alınan maksimum güç sistem çıkışında farklı voltaj değerleri oluşturacaktır. Kolun sabit ve hiçbir kasın kasılmadığı süre içerisindeki önkol kasından alınan değer minimum değer olarak düşünülmektedir. Minimum değer elde edilirken sabit tutulan koldan alınan işaretlerin ortalaması alınır. Sadece önkol kasının kasılı kaldığı süre içerisinde elde edilen değer maksimum sinyal değeri olarak tanımlanır Maksimum değer elde edilirken hastadan alınan değerin doğruluğu için 4 adet farklı kasılma değerlerinin ortalaması alınır. Gerçekleştirilen algoritma bireyin istemli kas hareketini algılayabilmesi için hastadan alınan minimum ve maksimum değerleri arasında bir değer elde edilmesi gerekmektedir. Minimum ve maksimum değer arasında değer elde ediliyorsa hareketin varlığı tespit edilir. Şekil 24'de kalibrasyon aşamalarının blok diyagramı verilmiştir.

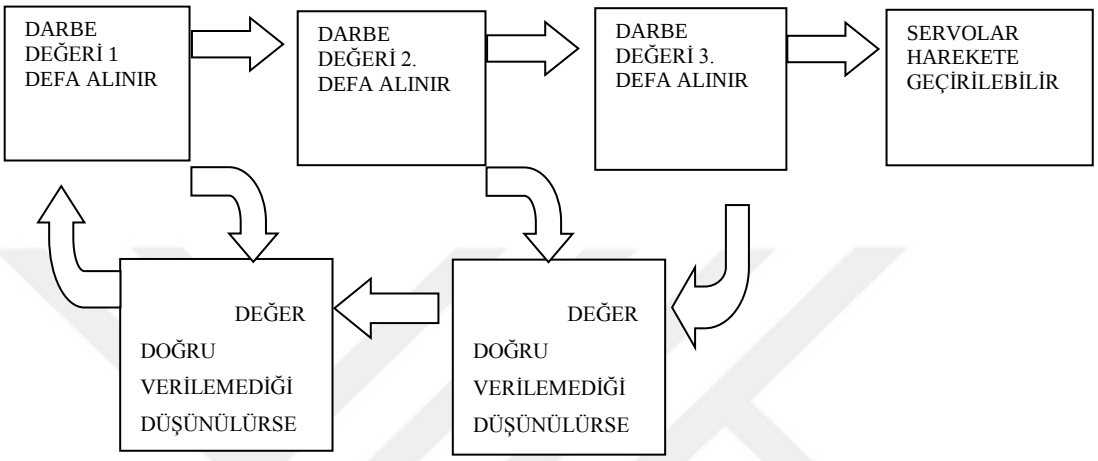


Şekil 24. Kalibrasyon blok diyagramı.

2.3 Doğrulama

Doğrulama işlemi kullanılmak istenilen yöntemin doğru ve kesin olarak devamlı bir şekilde isteneni ortaya çıkardığının kanıtlanması için yapılması ihtiyaç duyulan işlemleri kapsamaktadır [41]. Doğrulama adımı hastanın biyo-elektronik ele rehabilitasyonu için kullanılacak adımdır. Belirlenen parmak konumlarının hastanın istenilen komutu gerçekleştirebilmesi için öğrenme aşamasında önkol kasını doğru kasabilmesini öğretmektedir. Bu aşamada 3 hareket üzerine çalışma gerçekleştirilecektir. Bu 3 farklı hareket; bireyin hangi hareketi gerçekleştirmek

istediğini anlamak için örnekleme süresi boyunca bireyin önkol kasını kasması ve tetikleme sinyalini göndermesi gerekmektedir. Örnekleme süresi boyunca sadece bir tetik gönderilmiş ise 1.hareket, iki tetik sinyali gönderilmiş ise 2. hareket, üç tetik sinyali gönderilmiş ise 3. hareket'i gerçekleştirmek istendiği anlaşılmış olunur. Şekil 25'de doğrulama işleminin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 25. Doğrulama işlemi blok diyagramı.

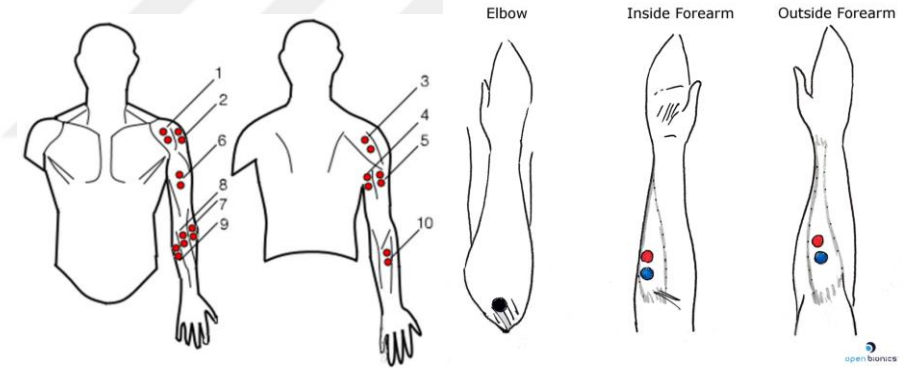
2.4 Servo Motorların Harekete Geçirilmesi

Biyo-elektronik eli kullanan engelli birey doğrulama kısmını başarı ile tamamladığı takdirde artık rahatlıkla üç hareket'in her birini veya aralarındaki geçişleri rahatlıkla gerçekleştirebileceği anlaşılacaktır. Engelli birey bu aşamada istediği hareket komutunu gerçekleştirebilmesi için önkol kasından göndereceği tetikleme sinyali periyoduna veya kombinasyonuna bağlı olarak servo motorların konumu değiştirilerek istenilen harekete elde edilecektir.

BÖLÜM 3. DENEYSEL BULGULAR VE YORUMLAR

Prototip üretiminde 3D Printer teknolojisi yaygın halde kullanılmaya başlanıldığı için herhangi bir plastik kalıp ihtiyacı ortadan kalmış bulunmaktadır. ZOTRAX'ın M200 3 boyutlu yazıcı ürünü kullanılarak tasarımlar gerçek hayata aktarılmıştır. 3 boyutlu yazıcı kullanımında dikkat edilmesi gereken unsurlar ise, kullanılan alt tabakanın gerekli olan ısı değerine ulaşması, alt tablanın düz bir konumda olabilmesi için gerekli kalibrasyonun yapılması, çıktı alınılması istenilen modelin dik konumda basılmasına dikkat edilmesi, 3boyutlu yazıcıların bulunduğu odanın sıcaklığının oda sıcaklığından (ortalama 22℃) düşük olması gereklidir.

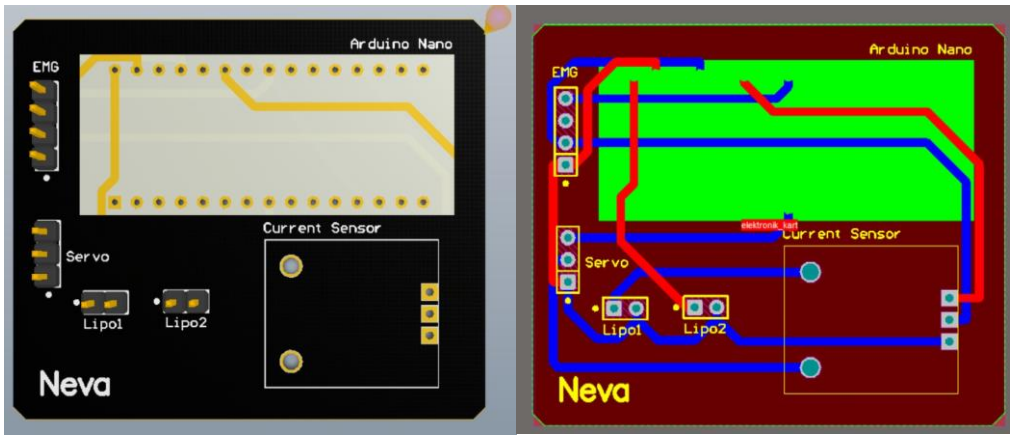
EMG sinyali alırken dikkat edilmesi gereken konu ise hasta bireyin biceps kasından veya omuz kasından alınacak bölgenin sinyal aktivitesinin yüksek olanı seçilmelidir.



Şekil 26. EMG sinyali almak için kullanılabilecek elektrot lokasyonları.[43]

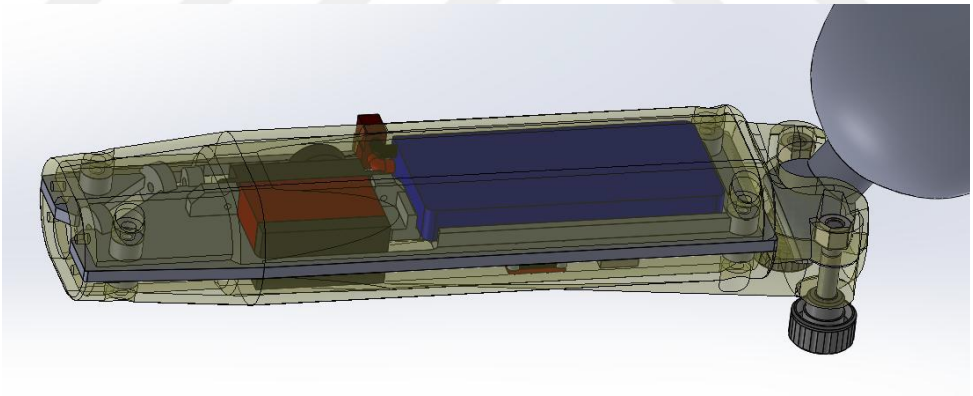
Burada karar verme süreci kas bölgesinin izlenmesi ile oluşmaktadır. Yüzey EMG alınacağı için elektrotlar takılmadan önce alkollü temizlik bezi ile yüzey temizlenmeli ve deri direncinden ötürü oluşabilecek gürültüleri engellemek amaçlı ultrason jeli uygulanmalıdır. Daha az gürültülü sinyal alınmak istenirse elektronik kart üzerinde sinyalin girişine RC gürültü engelleyici devresi yapılabilir[44].

Elektronik devrede kullanılacak kablo kalabalığı ve kablolardan ötürü oluşabilecek gürültüleri engellemek amaçlı elektronik kart tasarlandı. Bu kart üzerine yerleştirilecek komponentlerin montaj görselleri şekil 27'de gösterildiği gibidir.



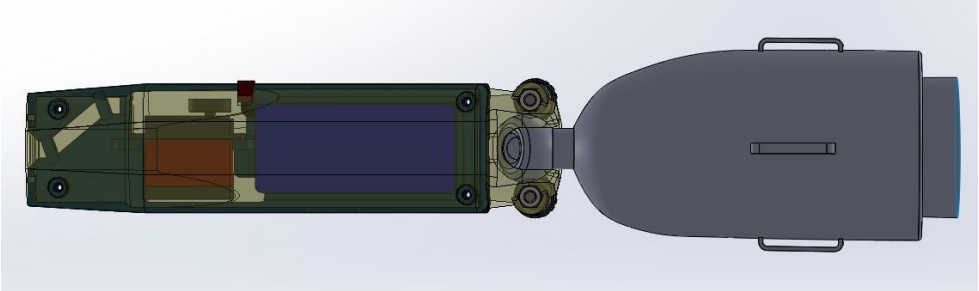
Şekil 27. Tek kanal tek fonksiyon biyonik el elektronik tasarımı.

Bu çalışmada mekanik kol tasarımı oluştururken dirsek hareketi mafsallı yapı ile sağlanmaktadır. Dirsek el ile istenilen pozisyona getirildiğinde mafsal iki adet cıvata yardımı ile sıkıştırılmaktadır. Tam bir insan dirsek hareket kabiliyeti sağlanmasada hastanın hayat kalitesini arttıran bir özelliktir.



Şekil 28. Tek kanal tek fonksiyon biyonik el mekanik tasarımı.

Tendonların çelik halat olması sebebiyle biyo-elektronik elin plastik materyalini aşındırmaktadır. Bunun kolun iç kısmında önüne geçmek için teflon boru ile çelik halat kılavuzlanırsa sürtünmelerden kaynaklı aşınmaların önüne geçilmektedir. Şekil 30'da kolun içindeki teflon kılavuz yolunu görebilirsiniz.



Şekil 29. Tek kanal tek fonksiyon biyonik el mekanik tasarımı.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR

Biyo-elektronik elin yapımında kullanılan malzemelerden, normal ellerden fark edilmemesi için kullanılan eldivenlere kadar birçok malzemesi geliştirilip daha uygun biçimlere getirilebilir. Şu anda kullanılan kavrama, kalem tutma, fare kullanımı gibi fonksiyonların yanı sıra yeni fonksiyonlar eklenebilir. Servo motorlar değiştirilip daha küçük veya daha fazla torka sahip servo motorlar eklenebilir. Batarya için daha hafif ve kolay şarj edilebilen bir model seçilebilir.

Grove-EMG sensörünün elektrotlarının insan vücudundan daha kolay sinyal alınabilmesi için engelli bireyden farklı kas demetlerinden sinyaller alınabilir. Elektrotlar daha hassas elektrotlarla değiştirilip sinyal kalitesi artırılabilir. Sinyal işlemede bir sinyalin özelliklerinin anlaşılabilmesi için o sinyalin RMS, FFT ve Histogram gibi bazı sinyal kullanarak sinyal tespitleri çok daha kolaylaştırılır.

Parmaklardaki hassasiyetin geliştirilerek bireyin daha rahat kavrama, tutma gibi hareketleri gerçekleştirmesi kolaylaştırılabilir. Biyo-elektronik ellerin dış görünüş olarak insanların ellerine daha çok benzemesi için üzerine geçirilen kauçuk eldivenlerin yerine en güncel teknoloji olan üç boyutlu biyolojik yazıcı ile insan eline dış görünüş olarak birebir benzeyen biyo-elektronik eller gerçekleştirmiş olunur.

Satılmakta olan profesyonel biyo-elektronik ellerin gerçek ellerden en büyük eksikliği dokunma hissinin eksik olmasıdır. Günümüzde bu konu biyo-elektronik el şirketlerinin araştırma-geliştirme çalışmalarında önemli bir yer kaplamaktadır. Ancak sadece laboratuar ortamında gerçekleştirilen biyo-elektronik ellerde dokunma hissi özelliği eklenmeye çalışılmaktadır ve satışta bulunan profesyonel biyo-elektronik ellerde uygulaması bulunmamaktadır. Biyo-elektronik ellerin parmaklarına ve yüzeyine eklenebilecek çok küçük basınç sensörü veya dokunma anında motorlarda gerçekleşecek zorlanmadan ötürü fazla akım çektiğinde biyo-elektronik elin bir doku ile temas ettiği anlaşılabilir. Biyo-elektronik elin doku ile teması gerçekleştiğinde ise bunu biyo-elektronik eli kullanan kişinin hissedebilmesi için biyo-elektronik el tarafından kişiye elektrik verilerek vücutta herhangi bir kas gurubunun kasılması sağlanarak dokunma hissi gerçekleştirilmiş olur.

Fizyolojik olarak ellerinde problem bulunan veya iş kazası, trafik kazası, savaş gazisi gibi nedenler yüzünden ellerini kaybetmiş bireylerin yaşam standartlarını arttırmayı hedefleyen biyo-elektronik el tezlerinde engelli bireylerin kullanabileceği bir tasarım gerçekleştirmek amaçlanmaktadır. Ancak bu teknoloji ilk üretildiği yıllarda üretilen prototipler insanların kullanabileceği ergonomik yapıya sahip değillerdir. Teknolojinin gelişmesi ile üretilen prototipler daha ergonomik ve daha insansı yapıya sahip olmaktadır. Günümüzde kullanılan biyo-elektronik ellerin maliyetleri yüksek olduğu için alım gücü yüksek engelli bireyler tarafından ve devlet tarafından karşılandığı takdirde kullanılabilmektedir. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi geliştikçe tasarlanan ellerin maliyetleri azalmakta ve biyo-elektronik el çalışmalarına olan ilgi artmaktadır.

İnsan vücudundaki kasların hareket emrini veren beyin, istenilen kas bölgesini elektriksel sinyal ile tetikler, ve bu tetik sinyalleri ile kasılan kaslar istenilen hareketi gerçekleştirmiş olunur. Ancak engelli bireyler bu elektriksel uyartı ile harekete geçebilecek uzuvlara sahip olamadıkları için hareketi gerçekleştiremezler. Bu tezde, engelli bireylerin uzuvlarını harekete geçirecek kas grupları üzerinden yüzey elektromiyogram elektrotları ile elektriksel sinyalleri elde edilmektedir. Bu sinyaller grove EMG sensörüne aktarılarak (kuvvetlendirilip filtrelenerek) kas üzerinden elektriksel sinyal elde edilmektedir. Bu sinyaller Arduino kontrol kartının özelliği sayesinde bilgisayar ekranında izlenebilir, hareketin varlığı Arduino ile tespit edilebilir ve belirlenen kas gurubundaki istemli her hareket bir tetikleme sinyali ile oluşturulabilmektedir.

Bu tetik sinyali vücudun en büyük ve en kolay kasılıp serbest bırakılabilecek kas gurubundan seçilmelidir. Bu çalışmada önkol kası seçilmiştir. Önkol kasının kas yoğunluğuna göre EMG sinyalinin çıkış gücü kişiden kişiye farklılık göstermektedir. Tasarlanan sistemin farklı bireylerde çalışabilmesi amaçlanmaktadır. Ancak her bireyin kas kütlesi eşit değildir, bu yüzden hastadan alınan EMG sinyalinin çıkış gücü kişiden kişiye göre değişim göstereceğinden öncelikle işaretin kalibrasyonu yapılmalıdır. Sinyal kalibre edilince istemli her hareket Arduino'ya bir tetik sinyali göndermekte ve gönderilen bu sinyal birer hareketi temsil etmektedir. Teznin ilerleyen aşamalarında, gönderilen tetikleme sinyali ile hangi hareketin yapılmak istenildiğin anlaşılması ve

servo motorların açılarının değişmesi ile istenilen hareket gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

KAYNAKÇA

[1] http://www.anatomi.gen.tr/kol-anatomisi.html (Erişim zamanı; Şubat, 8, 2020)

[2] http://kaanlazayiflama.blogcu.com/on-kol-kaslari-ve-bilek/7081837 (Erişim zamanı; Şubat, 8, 2020)

[3] http://www.iskelet.gen.tr/kemiklerin-yapisi.html (Erişim zamanı; Şubat, 8, 2020)

[4]http://elcerrahi.com/hasta-bilgilendirme/53-ektansor-tendon-yaralanmalar.html (Erişim zamanı; Şubat, 8, 2020)

[5]http://www.fztozdemir.com/el-bilegi-el-ve-parmaklari-hareket-ettiren-kaslar/ (Erişim zamanı; Şubat, 12, 2020)

[6] http://www.populermedikal.com/tetkik/elektromiyografi.asp (Erişim zamanı; Şubat, 20, 2020)

[7] Thornton, R.C., Michell, A.W., "Techniques and applications of EMG: measuring motor units from structure to function", Journal of Neurology, 259(3):585-594 (2012).

[8] Kimura, J., Electrodiagnosis in the Disease of Nerve and Muscle, Oxford University Press, New York (2001).

[9] Stålberg, E., Falck B., "The role of EMG in neurology" Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 103:579-598 (1997).

[10] Stålberg, E., Trontelji, J.V., Single Fiber Electromyography Studies in Healthy and Diseased Muscle, Second Edition, Raven Press, New York (1994).

[11] Diószeghy, P., "Scanning electromyography", Muscle Nerve, Supplement 11:66-71 (2002).

[12] Aminoff, M.J.,"Clinical Electromyography," Electromyography in Clinical Neurology, 249-283, Churchill Livingstone Inc., New York (1992).

[13] Trontelji, J.V., Jabre, J., Mihelin, M., "Needle and Wire Detection Techniques," in R. Merletti and P. A. Parker (Eds.), Electromyography, Physiology, engineering and Noninvasive Applications, John Wiley and Sons, Piscataway (2004).

[14] Stålberg, E., "Macro EMG, a new recording technique", Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry, 43:475-482 (1980).

[15] Stålberg, E., Antoni, L., "Electrophysiological Cross Section of the Motor Unit", Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, 43(6):469-474 (1980).

[16] Stålberg, E., Diószeghy, P., "Scanning EMG in normal muscle and in neuromuscular disorders", Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 81(6):403-416 (1991).

[17]Oh, S.J ., Clinical Electromyography: Nerve Conduction Studies, Lippincot Williams and Wilkins, Philadelphia (2003).

[18] Pozzo, M., Farina, D., Merletti, R., "Electromyography: Detection, Processing, and Applications," in J. Moore and G. Zouridakis (Eds.), Biomedical Technology and Devices Handbook, CRC Press LLC, Florida (2004).

[19] http://eee.ktu.edu.tr/labs/med.end/EMG.pdf (Erişim zamanı; Şubat, 25, 2020)

[20] Oxford Dictionary of English 2e, Oxford University Press, 2003.

[21] Büyük Türkçe Sözlük. Türk Dil Kurumu. (Erişim zamanı; Mart, 5, 2020)

[22] Az Tahrikli Çok Parmaklı Robotik El Tasarımı Ömer Faruk ERGİN
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2012

[23]] Okada, T., Object handling system for manual industry. IEEE
….Transactions on Systems, 9 (2): 79-89. (1979)

[24]] Butterfass, J., Hirzinger, G., Knoch, S., Liu, H., DLR's multisensory ….articulated hand part I: hard- and software architecture, pp. 2080-2086. IEEE ….International Conference on Robotics & Automation, May, 1998, Lauven. . 1998.

[25]] Lin, L., Huang, H.. Integrating fuzzy control of dextrous national taiwan ….university (ntu) hand. Transactions On Mechatronics, 1(3): 216-229..1996

[26]Shadow Robot Company, 2012 (Web sayfası: ….http://www.shadowrobot.com/hand/) (Erişim tarihi: Mart,11, 2020)

[27] Ottobock Michelangelo Biyo-elektronik Eli Özellikleri
http://dengeortopedi.com.tr/protezler/dirsek-alti-el-kol-protezleri/ottobock-michelangelo-biyo-elektronik-el/ (Erişim tarihi: Mart,30, 2020)

[28] Touch Bionics , I-Limb Ultra , I-Limb Revolution , I-Limb Quantum , I-Limb Access
http://www.ortoport.com.tr/icerik.php?tur=urun&mid=2&id=7 (Erişim tarihi: Mart,30, 2020)

[29] https://tr.wikipedia.org/wiki/Arduino (Erişim tarihi: Nisan,09, 2020)

[30] http://www.robotiksistem.com/arduino_nedir_arduino_ozellikleri.html (Erişim tarihi: Nisan,09, 2020)

[31] http://www.robotiksistem.com/arduino_uno_r3.html (Erişim tarihi: Nisan,09, 2020)

[32] http://www.robotiksistem.com/arduino_mega2560_r3.html (Erişim tarihi: Nisan,09, 2020)

[33]http://www.robotiksistem.com/arduino_nano_ozellikleri.html (Erişim tarihi: Nisan,09, 2020)

[34] https://tr.wikipedia.org/wiki/Sens%C3%B6r (Erişim tarihi: Nisan,15, 2020)

[35]] Day,S. Important factors in surface EMG Measurement. Calgary: Bortech Biomedical Ltd 2002.

[36] International Journal of Computer Applications (0975 –8887)Volume 82–No1, Surface EMG Signal Amplification and Filtering ,Jingpeng Wang,Liqiong Tang,JohnE Bronlund. November.2013.15

[37]http://www.robotistan.com/emg-sensoru-sinir-ve-kas-hareketi-olcum-modulu (Erişim tarihi: Nisan,15, 2020)

[38] http://multimedia.3m.com/mws/media/10804P (Erişim tarihi: Nisan,26, 2020)

[39] INA128 Datasheet . Texas Instruments Incorporated 2005.

[40]T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Elektrik-Elektronik Teknolojisi osilatörler ve filtre devreleri 523eo0455 http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Osilat%C3%B6rler%20Ve%20Filtre%20Devreleri.pdf (Erişim tarihi: Mayıs,02, 2020)

[41] Validasyon Nedir ? “ http://www.belgelendirme.com.tr/belgelendirme-standartlari/iso-13485-standart/201-validasyon-nedir ” (Erişim tarihi: Mayıs,05, 2020)

[42] http://inmoov.fr/hand-and-forarm/ (Erişim tarihi: Mayıs,06, 2020)

[43] ORIGINAL RESEARCH ARTICLE Front. Neurosci., On the Value of Estimating Human Arm Stiffness during Virtual Teleoperation with Robotic Manipulators 26 September 2017

[44] https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/front-end-amp-and-rc-filter-design.html# (Erişim tarihi: Mayıs,06, 2020)