

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

ENGELSİZ YAŞAM TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI PROJE DETAY RAPORU

PROJE ADI: EMG Sinyalleri Kullanılarak Ampute Bireylerin Hayatlarını Kolaylaştıracak Biyonik Kol Üretimi

TAKIM ADI: IEEE YTU BIOMECH

Başvuru ID: 388764

TAKIM SEVİYESİ: Üniversite-Mezun

DANIŞMAN ADI: Prof. Dr. Erhan Akdoğan

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|----|
| 1. Proje Özeti (Proje Tanımı)..... | 3 |
| 1.1 Mekanik | 3 |
| 1.2 Donanım..... | 4 |
| 1.2.1 EMG Sensör Kartları | 4 |
| 1.2.2 EMG Karar Kartı..... | 5 |
| 1.2.3 Motor Kontrol Kartı..... | 5 |
| 1.2.4 Güç Kartı..... | 6 |
| 1.3 Yazılım | 6 |
| 2. Problem Durumunun Tanımlanması..... | 7 |
| 3. Çözüm | 8 |
| 4. Yöntem..... | 9 |
| 4.1 Donanım | 9 |
| 4.2 Mekanik..... | 11 |
| 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü..... | 12 |
| 6. Uygulanabilirlik..... | 13 |
| 7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması..... | 13 |
| 8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar) | 15 |
| 9. Riskler | 16 |
| 10. Kaynaklar | 17 |

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Üst ekstremitate, kişilerin gündelik hayatlarındaki tutma, kaldırma, taşıma, vs. gibi en temel hareketleri yerine getirmelerini sağlayan uzuvlarıdır. Doğuştan veya herhangi bir sebeple amputasyon geçiren bireyler tüm hayatları boyunca yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirememekte ve kendini dışa bağımlı hissetmektedir [1]. Tüm yaşam zorluklarının yanında psikolojik olarak da etkilenen insanlar kendi içlerine kapanarak sosyal hayattan uzaklaşmaktadırlar [2]. Bizler de bu projeye UNDP kalkınma hedeflerinden olan eşitsizliklerin azaltılması sağlıklı ve kaliteli yaşam hedeflerini [3] baz alarak ülkemizin nüfusunun %3'ünü oluşturan [4] üst ekstremitateye sahip olmayan bireylerin gündelik hayatlarını kolaylaştırmayı ve yaşam standartlarını arttırarak topluma kazandırmayı amaçlamaktayız. Bu bağlamda engelli bireylere, sağlıklı bir insan elinin 6 farklı ana tutuş pozisyonunu gerçekleştirebilen bilek ve parmak hareketlerinin tamamını yapabilen 25 kg ağırlığı taşıyabilecek dayanıklılığa sahip ve aynı zamanda işlevsellik ve görünüşüyle ön plana çıkan tasarımı tamamen ekibimize ait olan bir biyonik kol tasarımı ve üretimi hedeflenmektedir.



Şekil 1: Tasarlanan Prototipin Görünümü

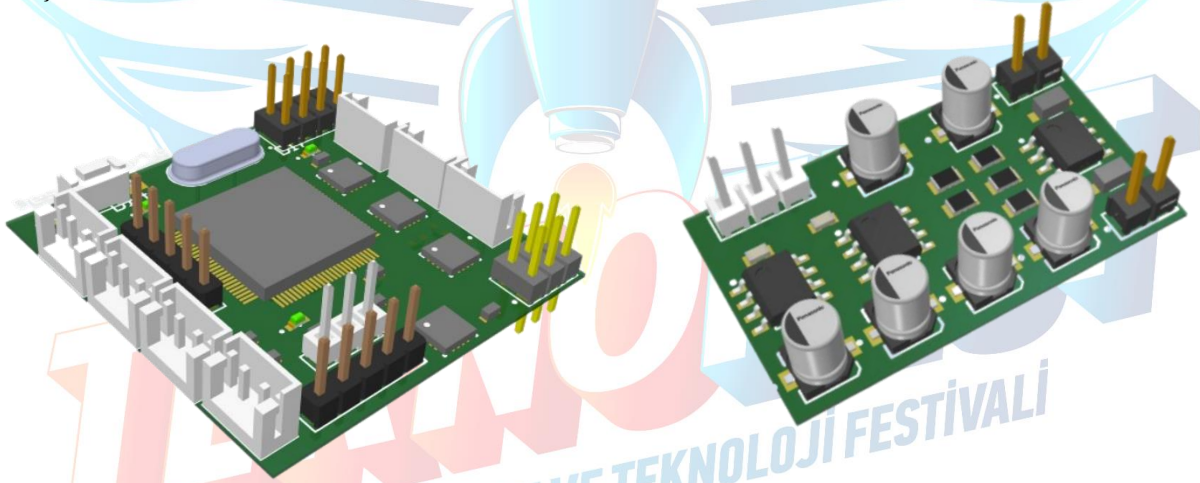
1.1 Mekanik

Projede ilk olarak geliştirme ve genel fikir yürütme aşamasında biyonik kol ve benzeri tasarımlar yapan şirketlerin ürettiği projeler ve makale araştırmaları yapıldı. Bugüne kadar yapılan tüm biyonik kolların tasarımları ve sistemleri incelendi. Ülkemizdeki ve dünyadaki biyonik kol projeleriyle ilgili gerçekleşen gelişmeler takip edilerek kendi projemizde kullanılacak bilgiler raporlandırıldı. Bu süreçte projenin daha sağlıklı ilerleyebilmesi için fizyoterapist, ortopedist ve bu sektörde bilgi sahibi olan kişilerle görüşerek ampute kişilerin biyonik koldan asıl beklentilerinin ne olduğu öğrenildi. Parmak, el ve kolun anatomik yapısı hakkında yine bu kişilerden bilgi alınarak yapılan tasarımların işlevselliğinin, edinilen bilgilerle artırılması sağlandı. Sonrasında bu bilgilerle beraber biyonik kolun ampute insanların kullanımında hem sağlıklı hem de kullanışlı olabilmesi için gereken malzemelerin ve tasarlanacak olan sistemin nasıl olması gerektiğine dair plan süreci mekanik birimi içerisinde yapıldı. Bu yeni süreçte ilk olarak 20 kişiden parmak, avuç ve kol ölçüleri alındı. Belirlenen ölçülerle, işlevselliği ve uygulanabilirliği göz önüne alınarak bir parmak sistemi tasarlandı. Bu parmak sistemi üç boğumlu ve tendonlu olarak tasarlanıp tüm parmaklara uyarlandı. Sonraki aşamada başparmağın dört yönlü hareketi iki ayrı sistemin birleştirilmesiyle oluşturuldu. Bu iki sistem, iki boğumlu ve tendonlu başparmak sistemi ve başparmağın avucun içine ve dışına hareketinin sağlanması için ek olarak kullanılan motorla tasarlanan sistem olarak tanımlanabilir. Diğer parmaklarla olan fonksiyonel hareketlerin ve avuçla olan nesneyi kavrama gibi günlük aktivitelerin, bu dört yönlü hareket kabiliyetiyle gerçekleşmesi sağlandı. Bilek için ise bileğin anatomik olarak iki yönlü hareketinin yani fleksiyonun ve ekstansiyonun sağlanması için iki motor kullanılarak bir sistem tasarlandı. Tüm sistemler tamamlandıktan sonra görünümünü insan eline benzetmek adına estetik bir tasarım yapıldı. Tüm süreç boyunca, yukarıda da bahsedilen biyonik kola ait tasarlanması gereken parçalar bilgisayar destekli tasarım programı olan Solidworks üzerinde gerçekleştirildi. Tasarım süreci tamamlanan parçalar 3B baskı makinesinde PLA filamentini kullanılarak basılıp tüm parçaların montajı yapıldı. PLA, sağlığa zararlı olmamasının yanı sıra diğer filamentlere göre daha hafif ve dayanıklı olmasından dolayı tercih edildi. Parmak ucu

basımı için ek olarak esnekliği ve yumuşaklığı gibi özellikleri göz önüne alınarak TPU filamentini kullanıldı ve böylece insan dokunuşunun gerçekliği, tasarlanan biyonik kolun parmağına uyarlandı.

1.2 Donanım

Donanım birimi, sistemde elektroniksel tüm ihtiyaçlar ve devre - donanım tasarımı ile ilgilenen ekibimizdir. Donanım birimi ekibimiz geçtiğimiz seneden bu yana EAGLE ve Altium gibi Baskılı Devre Kartı (PCB) Tasarımı programları kullanıp elektroniğin teoriksel boyutunda kendilerini geliştirerek yeni kullanılan komponent ve teknolojileri yakından takip etmektedir. Kullanıcıdan alınan analog verilerin anlamlandırılıp işlenmesi ve bu doğrultuda motorların harekete geçmesi sağlanırken hem gürültüden etkilenerek sinyallerin kaybolmaması hem de devrelerin kablo karışıklığı olmadan düzenli bir şekilde bir araya gelmesi adına çalışmalar yürütmektedir. Sistemde avuç ve kol içerisinde 4 farklı kart bulunmaktadır. Bu kartlar EMG Sensör Kartları, EMG Karar Kartı, Motor Kontrol Kartı ve Güç Kartı'dır. Tüm bu devrelerin tasarımları ve testleri takımımız tarafından simülasyon ortamında gerçekleştirilerek basıma hazır hale getirilmektedir. Daha sonraki süreçte kartların ve komponentlerin tedariki sağlanarak lehimlenme sürecine geçiş yapılmaktadır. Bu aşamanın da tamamlanmasıyla kartlar son testlerden geçirilerek mekanik hareket ve donanımsal güç birleştirilerek sistem tamamlanacaktır.



Şekil 2: Motor Sürücü Kartı

Şekil 3: EMG Sensör Kartı

1.2.1 EMG Sensör Kartları

Elektromiyografi (EMG), hareket esnasında çizgili kaslarda ve sinirlerde meydana gelen elektriksel aktivitenin ölçülmesi ve kaydedilmesine dayanan bir teşhis yöntemidir.

Ampute bireylerin protez kol ihtiyaçlarını karşılarken kullanıcıdan alınan verinin işlendiği, elektrik tabanlı myoelektrik protezlerde de elektromiyografi metoduna başvurulur. Protez kollarda elektrot yardımıyla elde edilen veri işlenerek motor hareketleriyle istenen parmak ve bilek hareketlerinin yapılması sağlanır.

Ampute bireylerden sinyaller elektrotlar yardımıyla alınır. Projede kullanım ömrü, rahatlığı ve ameliyat gerektirmemesi sebebiyle jelsiz kuru elektrotlardan

yararlanılmış ve Coapt Engineering tarafından tasarlanan elektrot sisteminden [5] esinlenerek gümüş kaplı pirinç elektrotlar kullanılmıştır.

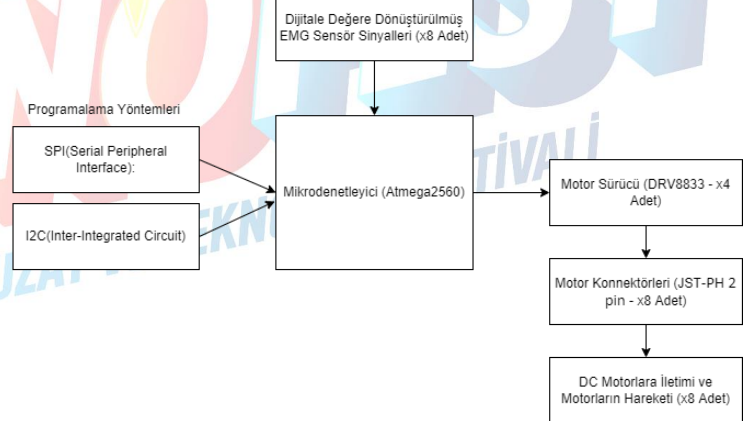
Projede sekiz ayrı kanal oluşturularak kas aktivitelerindeki değişimleri en yüksek seviyede gözlemlemek hedeflenmiştir. Bu sebeple parmak ve bilek hareketlerini sağlayan kas grupları belirlenmiş ve elektrot yerleşimleri buna göre yapılmıştır. Sekiz ayrı kanalın oluşturulması sekiz ayrı EMG kartının tasarlanması ile oluşturulmuştur. EMG kartlarından alınan verilerin sınıflandırılması için makine öğrenmesi kullanılmıştır. Böylece biyomekanik kolun temel hareketler ve bunların kombinasyonlarıyla en az 20 farklı hareketi yapması sağlanmıştır.

1.2.2 EMG Karar Kartı

EMG Sensör Kartları ile topladığımız elektrikselsel kas sinyallerini anlamlandırmak ve 8 kanaldan gelen bu verileri değerlendirmek için mikrodeneleyicili bir devre kartı kullanılmıştır. Bu kartın tasarlanma amacı düşük seviyedeki (mV seviyesinde) analog verilerimizin gürültülerden kolay etkilenmesinden dolayı 8 kanaldan topladığımız bu verileri uzun kablolar ile taşıyıp bazı sinyal paketlerini kaybetmemek adına bu 8 karta çok yakın mesafede, küçük ve işlevsel bir mikrodeneleyiciye ihtiyaç duyulmasıdır. Bu tasarım yapıldığında 8 analog veri girişi sağlanmıştır. Motor Kontrol Kartı'na aktarımı sağlayacak olan bu kompakt kartın sadece mikrodeneleyici entegresi ATmega328 80 TL civarında ve bu işlemi gerçekleştirmek için yeterli olan Arduino Nano'nun 130 TL civarında olması nedeniyle aradaki iletişim köprüsünün sağlanması Arduino Nano tarafından gerçekleştirilmesi tercih edilmiştir.

1.2.3 Motor Kontrol Kartı

Motor Kontrol Kartı üzerinde bulunan motor sürücü, mikrodeneleyici ve EMG Karar Kartı'ndan gelen verilerle motorların kontrolü sağlanmıştır. Kartta kullanılacak Atmega2560'm haberleşme ve yazılımın aktarılması için SPI ve I2C protokollerinin kullanıldığı pinler kartın yüzeyine

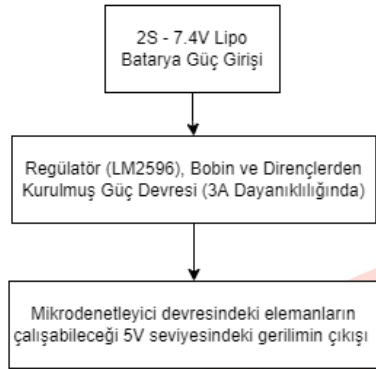


Şekil 4: Motor Sürücü Kartı Blok Diyagramı

çıkartılmıştır. Yazılan kod karta aktarılıp programlandıktan sonra EMG sensörlerinden toplanıp ADC ile dijitalleştirilen veriler karta girdi olarak verilir. Gelen veriler karttaki mikrokontrolcüde okunmakta ve yazılan program doğrultusunda 16 dijital pwm pini ile motor sürücülere iletilmektedir. DRV8833, H-Köprüsü yapısına sahip olduğundan bir motor sürücü ile aynı anda iki motor sürülebilmekte ve 3A akım dayanıklılığı ile devreyi korumaktadır. Mikrokontrolcü ve motor sürücüden alınan gerekli sinyaller DC motorlara jst-ph tipi konnektörlerle aktarılır. Motor konnektörlerine bağlı olan bilek ve başparmakta 2, diğer her bir parmakta birer adet

bulunan toplam sekiz adet DC motor, gelen veriler doğrultusunda çalışmakta ve sistemin hareket etmesini sağlamaktadır.

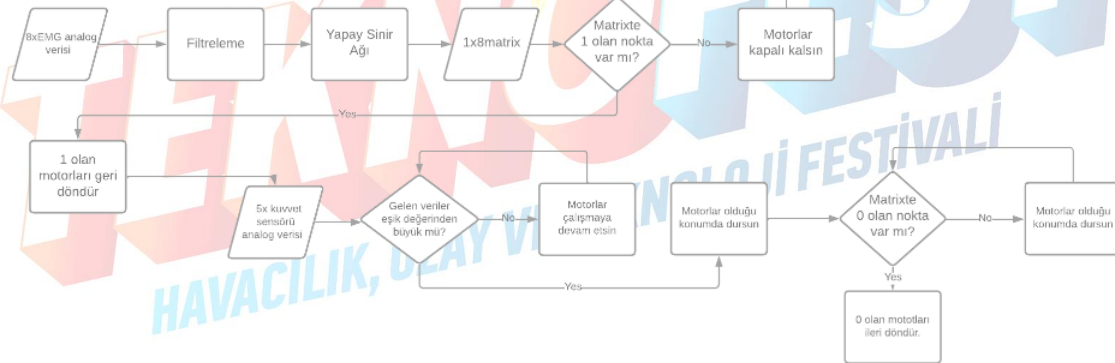
1.2.4 Güç Kartı



Şekil 5: *Güç Kartı* Blok Diyagramı

1A düzeylerinde bir akım kapasitesine sahip olması yetecekken 3A seviyelerine kadar dayanabilen bir devre tasarlanmıştır. Bu kartın üretiminin maliyeti yaklaşık 30 dolar iken (komponentler ve pcb üretimi dahil) hazır regülatör kartlarının 1,5 dolar (20 ₺) olması nedeniyle simülasyon tasarımı yapılmış olmasına rağmen sistemde hazır güç kartı tercih edilmiştir.

1.3 Yazılım



Şekil 6: *Yazılım Algoritması* Blok Diyagramı

Proje kapsamında sistemimiz basitçe EMG sensör kartları ile kaslardan alınan veriler ve kuvvet sensörlerinden alınan veriler sayesinde DC motorlarının kontrolü sağlanarak çalışmaktadır. İlk olarak kaslardan gelen 8 adet analog veriyi yazılımsal filtreleme yöntemleriyle filtrelemekteyiz. Daha sonrasında makine öğrenmesinde kullanılan veri seti, farklı yaş grupları, cinsiyetler ve kas kütlelerine sahip 100 kişiden toplanmıştır. Bu veriler MATLAB programı üzerine aktarılarak LSTM Algoritması'ndan yararlanılıp yapay sinir ağlarıyla sınıflandırılmıştır. Bu işlemin çıktıları sonucunda yapılan hareketler tespit edilmiştir. Ardından bu sinir ağı mikrodenetleyiciye aktarılmıştır. Gelen verilere göre

mikrodenetleyici, hareketleri anlamlandırarak DC motorlara sinyalleri iletilmiştir. Feedback mekanizması olarak DC motorun gerektiği yerde durması için de kuvvet sensöründen gelen direnç değerleri değerlendirilir. Belirli direnç değeri aşıldığında DC motorlar durur ve EMG sensöründen gelen analog değerler 0 olmadıkça aynı pozisyonda kalmaya devam ederler. EMG sensöründen gelen veriler 0 olduğunda motorlar ters hareket edip eski konumlarına dönerler. Sistemimizin algoritması bu şekildedir. Bu algoritma takımımız tarafından oluşturulmuştur.

2. Problem Durumunun Tanımlanması

- İnsanlar yemek yerken, su içerken vs. gibi temel ihtiyaçlarını giderirken kaşık/çatallarını ağızlarına götürürken bileğin 45-50 derecelik rotasyonuna ihtiyaç duymaktadırlar. Günümüzde bu zamana kadar tasarlanan tüm biyonik kol sistemlerinde tek doğrultuda, iki yönlü hareket eden bir sistem tasarımı nedeniyle kullanıcılar böyle bir hareketi sağlayamayarak ağızlarını kaşığa götürmeleri gerekmektedir. En basit örnekle bu gibi temel ihtiyaçlarını karşılarken bile, insanlar biyonik kola adapte olmaya çalışmaktadır.
- Günümüze kadar gerçekleştirilen biyonik kol sistemleri karbon, plastik gibi yapay maddeler bir araya getirilerek uzun ömürlü olması hedeflenmekte ve bu tarz malzemelerle üretilmektedir. Fakat kullanıcılar bu sistemleri kullanarak insanlarla temas ettiğinde yapaylık karşı tarafta hissedilmektedir. Örneğin çocuğunun kafasını okşayan, sevgisini gösteren ebeveynler veya önemli bir anlaşma sonucunda el sıkışırken bireyler kendilerini kötü hissetmekte ve yine karşı tarafa duygunun geçmesi engellenmektedir. Bu durum, bireyin dışında Harlow'un Rhesus Maymunları deneyinde olduğu gibi karşısındaki kişilerin de psikolojik durumunu, bağlanma durumunu da etkilemekte [6] ve zor durumda bırakmaktadır.
- Amputelerin yaklaşık %80'inde kaybettikleri ekstremitelerinin var olmayan kısmında şiddetli bir ağrı hissetmektedirler. Bu durum "Fantom Ağrısı" olarak bilinmektedir [7]. Fantom Ağrısı amputasyondan sonra geçen süreye bağlı olarak değişebilmektedir. Yapılan çalışmada fantom ağrısı, operasyon sonrasında ilk sene sonunda %61 ve ikinci yıl sonunda %59'luk bir oranla görülmüştür [8][9]. Amputasyondan hemen sonra bu ağrıyı hisseden amputelerin %61'inde ilk iki yıl boyunca hissedilmeye devam edildiği tespit edilmiştir [10]. Bu alanda uzman ortopedist ve fizyoterapistlerle görüştüğümüzde bu iki senelik ağrının insanları çok çaresiz bıraktığını ve psikolojik sorunlarının arttığını bizlere bildirdiler.
- Başparmak, tüm parmak fonksiyonlarının yüzde ellisini oluşturduğundan çok yönlü bir hareket kabiliyeti olması gerekir. Piyasadaki sistemlerde manuel olarak başparmağı hareket ettirerek farklı pozisyonlara getirmek, kullanıcılar adına ayrı bir uğraş gerektirmektedir.
- Biyonik kollarda bir diğer problem motorların durmasını sağlayacak komutun bulunmamasıdır. Birey, sisteme kollarını kapatma sinyalini verdiğinde sınır bulunmadığından tamamen parmaklar kapanmakta ve o esnada tutulan eşyalara hasar verebilmektedir. Örneğin kullanıcı bir nesneyi ne kadar sıkıldığını belirleyemediğinden yumurta gibi hassas veya elma gibi sert nesnelere aynı kuvveti uygulamaktadır. Bu durum hassas nesnelere kırılmasına sebep olmaktadır.

3. Çözüm

- Sağlıklı bireylerin bilekleri hem sağa hem sola hem yukarı hem aşağı hareket ederek 2 eksenli hareketi sağlayabilmektedir. Bu hareket kabiliyeti sonunda el ve bileği arasında 90 derecelik açıya kadar esneklik kabiliyeti sağlamaktadır. Tasarladığımız sistemde de bileğin 2 eksenli hareketi ve y ekseninde yukarı aşağı giderek hareket sınır derecesini arttırması sayesinde kullanıcılar bilek kabileyetini arttırarak farklı konum ve pozisyonlara erişerek sağlıklı bir bireyin yapabildiklerini biyonik kolla da yapabilecektir.
- İlk prototiplerin üretiminde 3B yazıcı ile her zaman PLA, ABS, PETG gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bu gibi filamentler sert ve dayanıklı yapılarıyla bilinen filamentlerdir. Karbon fiber gibi filamentler ise hafif ve dayanıklı fakat yüksek maliyetleri ile ön plana çıkmaktadır. Bizler ise farklı bölgelerde farklı özelliklere sahip bir el tasarımı istediğimizden çeşitli filamentlerden üretilenler birleştirilerek bütün elde edilmektedir. Bu nedenle kol, bilek gibi dayanıklı olması gereken yerler PLA ile, çark ve dişliler aşınmaması için ABS ile, parmak uçları ve avucun temas eden kısımları ise esnek yapılı TPU filamentleri ile üretilmektedir.
- Fantom Ağrısı, genellikle operasyon geçirerek kolunu kaybeden amputelerde görülmektedir. Birey amputasyon öncesinde her ne kadar sinir iletimi gerçekleşip gerekli hareketleri yerine getiremeye de birey kolun varlığını görmeye alışmakta ve fiziksel olarak hissedememesine rağmen psikolojik olarak hissedebilmektedir. Psikolojik olan bu ağrının insanların hayatlarında iki sene ve üzerindeki süreç boyunca bulunabilmesi sebebiyle kişiler, biyonik kol sistemlerini kullanamamakta veya tüm bu ağrılara katlanamamaktadır. Sistemin başlangıç noktası olan güdüğün bitim noktasına konulan bir kumaş ve sünger parçası ile kullanıcıya feedback olarak verilmesiyle bu ağrının giderilmesi hedeflenmektedir. Yine renk olarak gri renkli yapılmasıyla kullanıcının kendi kolundan bir robotik sisteme geçtiği, o sistemin kendi kolu olmadığı ona hatırlatılmakta ve uyum süreci kolaylaştırılmaktadır.
- 8 kanaldan gelen elektromiyografik sensör verilerinin her biri ayrı ayrı olduklarında tek bir durumu ifade etmektedirler: Kas kasılı veya kapalı. Bu sensör verilerinin birden fazlasının yan yana gelmesiyle çok farklı kombinasyonlar meydana gelmektedir. Bizler de kullanıcının sağlıklı eliyle, manuel olarak başparmağın eksenini tayin etmesi yerine kaslardan 8 farklı karttan gelen verileri yapay sinir ağları oluşturarak, sınıflandırılmış hareket türleri arasından yapay zekâ ile karar vermekteyiz. Yapılacak hareket için gereken motor hareketi belirlenerek sinyaller başparmaktaki iki motora ayrı ayrı gönderilerek otonom olarak gerçekleştirilmektedir.
- Her bir parmağa yerleştirilen kuvvet sensörleri yardımıyla sistemden bir geri dönüş alınarak motorların dönmesi durdurularak sabitlenecektir. Böylelikle kaslardan kasılma sinyali alınarak motorlar eli kapalı pozisyona getirilmeye çalışsa da parmakların kapanması durdurulacak ve tutulan nesnenin hasar alması engellenecektir. Kaslardan alınan verilerin tekrardan elin açılmasını işaret etmesiyle el açılarak tutma işlemi sonlandırılacaktır.

4. Yöntem

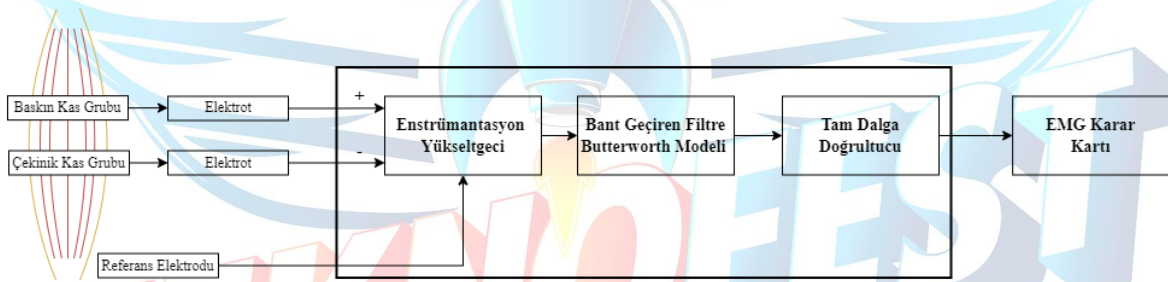
Projenin hayata geçirilme yöntemi aşağıda donanım ve mekanik başlıkları altında açıklanmıştır:

4.1 Donanım

Raporun bu kısmında protez kolda kullanılan elektromiyografi sistemi elektrotlar, devre şemaları ve makine öğrenmesi başlıkları altında incelenecektir:

Elektrot: Ampute bireylerden sinyaller elektrotlar yardımıyla alınır. Projede kullanım ömrü, rahatlığı ve ameliyat gerektirmemesi sebebiyle jelsiz kuru elektrotlardan yararlanılmıştır. Pirinç üzerine gümüş kaplama yapılan disk elektrotlar ile hem biyouyumlu hem de elektrik iletkenliği yüksek elektrotlar kullanılmış ve hedef kas gruplarından alınan sinyaller kablo yardımıyla EMG kartlarına iletilmiştir. Projede sekiz ayrı kanal oluşturularak kas aktivitelerindeki değişimleri en yüksek seviyede gözlemlemek hedeflenmiştir. Bu sebeple parmak ve bilek hareketlerini sağlayan kas grupları belirlenmiş ve elektrot yerleşimleri buna göre yapılmıştır.

Devre Şeması/Emg Kartı: Elektrotlardan alınan sinyaller, işlenmemiş veri olduğu ve anlamlandırılmaya ihtiyaç duyulduğundan 8 kanal için 8 ayrı PCB kartı üzerinde sinyal işleme yapılmıştır. Geliştirilen sistemin blok diyagramı aşağıda verilmiştir.



Şekil 7: EMG Kartı Blok Diyagramı

Tasarlanan EMG sensör kartının 3 girişi ve 1 çıkışı bulunmaktadır. Kasta 3 elektrot kullanılarak sinyal alınmaktadır. Bu elektrotlardan iki tanesi antagonist olan kas çiftine, bir tanesi de referans olarak dirseğe yerleştirilmektedir.

Kaslardan alınan sinyallerin genlikleri 0 ile 10 mV arasında değişmektedir. Bu nedenle üzerinde çalışabilmek için sinyaller yükseltme işleminden geçirilmektedir. Bu işlem için bir adet enstrümantasyon yükseltgeci kullanılarak kas grubu üzerindeki potansiyel değişimi belirlenen kazanç oranında yükseltilmiştir. Burada enstrümantasyon yükseltgeci kullanılmasının nedeni yüksek giriş empedansına sahip olması ve çok yüksek kazanç sağlamasıdır.

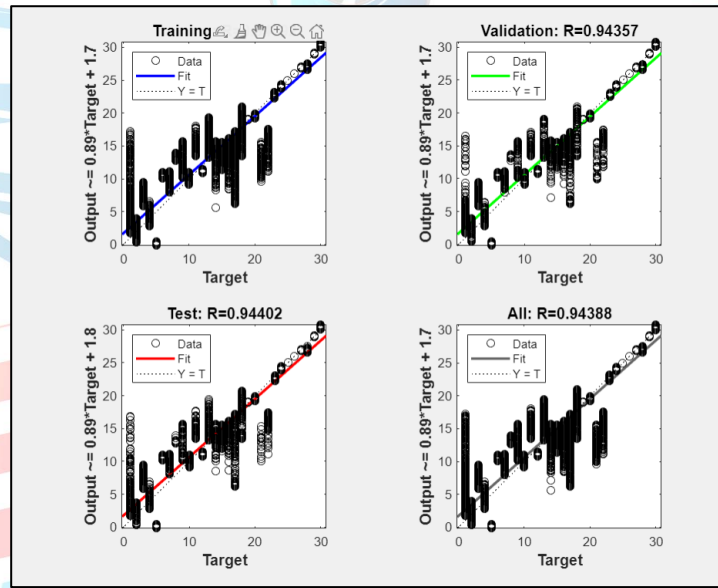
Yükseltme işleminin ardından sinyalleri EMG sinyallerinin baskın olduğu frekansta incelemek ve elektrotlar ile vücut içerisinde çevre dokudan veya hareketten kaynaklı alınan gürültünün engellenebilmesi için filtreleme işlemi uygulanmıştır. Hem analog hem de dijital filtreleme yöntemlerinden faydalanılarak 0-500 Hz arasında gelen sinyaller kas sinyallerinin baskın olduğu 50-150 Hz arasına bant geçiren filtre ile filtrelenmiştir. Analog filtre olarak dördüncü dereceden Butterworth modeli filtre kullanılıp durdurma ve geçiş bandında dalgalanmaların önüne geçilmiştir. Sinyalin daha iyi gözlemlenmesi için EMG kartının üzerindeki analog filtre devresinin yeterli

olmadığı görüldü. Bu nedenle MATLAB programı üzerinde dijital filtreleme yapılarak kaslardan alınan sinyalin daha gürültüsüz görünmesi sağlanmış oldu.

Yükseltilmiş ve filtrelenmiş sinyaller doğrultma devresine geçmektedir. Doğrultma devresi iki diyot ve opamp kullanılarak kurulmuştur. Doğrultma devresinin temel hedeflerinden biri sinyalin tüm dalgalarını pozitif bölgeye taşınmasıdır ve analog sinyal, EMG Karar Kartı'nın okuyabilmesi için uygun hale gelir.

Makine Öğrenmesi: EMG kartından alınan verilerin anlamlandırılması için makine öğrenmesi kullanılmıştır. Makine öğrenmesi ile biyonik kol parmak ve bilek hareketleri gerçekleştirmiştir. Bunun için yapay sinir ağları ile sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Sekiz tane EMG verisi alınacağından dolayı sınıflandırma için sekiz sınıf oluşturulmuştur. Bu sınıflar başparmak (thumb), işaret parmağı (index), orta parmak (middle), yüzük ve küçük parmak (ring + little), yumruk (fist), açık (abduction of all fingers), bilek supinasyonu, bilek fleksiyonu olarak belirlendi. Bu sınıflar belirlenirken literatür araştırması yapıldı ve ampute için en gerekli sınıflar olarak seçildi. Bu sınıflar ve sınıfların kombinasyonları ile biyonik kolun yapacağı hareketler oluşturulmaktadır. Bu hareketlerden altı tutuş hareketi belirlenmiştir: Silindirik, tip, kanca (hook), palmar, küresel, lateral [11].

Projenin makine öğrenmesi kısmı MATLAB programında yapılmıştır.

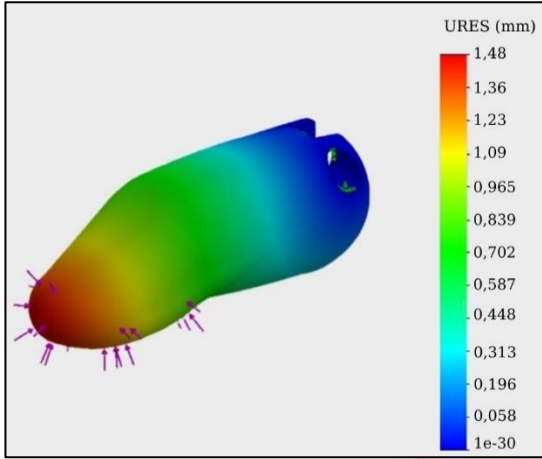


Şekil 8: Makine Öğrenmesi Modellemesi

| Training Progress | | | |
|-------------------|---------------|---------------|--------------|
| Unit | Initial Value | Stopped Value | Target Value |
| Epoch | 0 | 1000 | 1000 |
| Elapsed Time | - | 00:00:22 | - |
| Performance | 299 | 8.49 | 0 |
| Gradient | 1.14e+03 | 4.15 | 1e-07 |
| Mu | 0.001 | 0.001 | 1e+10 |
| Validation Checks | 0 | 0 | 6 |

Tablo 1: Eğitim Süreci Özet Tablosu

4.2 Mekanik

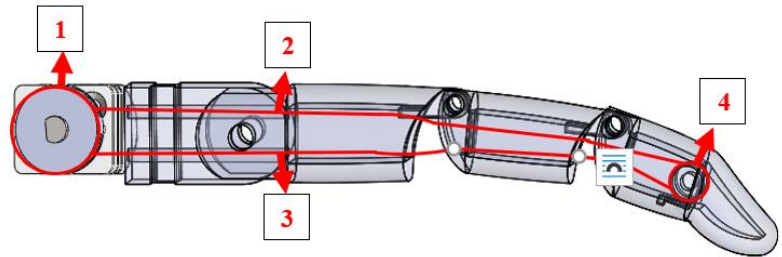


Şekil 9: Parmağın Yer Değiştirme Analizi

sonucuna ulaşılmıştır. Buradan hareketle parmağın güvenli bir şekilde kaldırılabileceği maksimum kuvvetin 285,25 Newton olduğu saptanmıştır. Parmağın analiz verilerine göre maksimum yer değiştirmesi Şekil 9'da 1,48 mm olarak bulunmuştur. Yapılan bu analizler sonucunda parmağın günlük faaliyetler sırasında karşılaşılabileceği kuvvetlere karşı değişim göstermediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, insan parmağının dayanabileceği kuvvet değerlerinden daha fazla güç uygulandığında bile herhangi bir bozulma görülmemiştir.

Parmak Sistemi:

Parmakların nesne kavrama kabiliyetinin artırılması amacıyla tendon sistemi uygulandı. Bu sistemle DC servo motorlardan gelen güç ile motor



Şekil 10: Parmak Yapısı

ucundaki makaraya benzer yapı (1) dönerek misina iplerinin (2 ve 3) bu makaraya sarılması sağlandı. Üstteki ip (2) makaraya saat yönünün tersine bağlanmıştır ve motorun çalışmasıyla ip makaraya sarılarak parmağın açılma hareketi sağlanmıştır. Altındaki ip (3) makaraya saat yönünde bağlanmıştır ve böylece parmağın kapanma hareketi makaraya sarılan ipin geri açılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Misina iplerinin parmaklarla olan bağlantısı ise, üstteki ipin (2) parmak ucundaki halkaya benzeyen yapıya (4) saat yönünde bağlanıp parmağın açılma hareketinin ve alttaki ipin (3) saat yönünün tersine bağlanıp parmağın kapanma hareketinin gerçekleştirilmesiyle sağlanmıştır.

Başparmak Sistemi:

Başparmağın avuç içine ve dışına olan hareketi DC motora bağlı ikili dişli sistemi ile sağlanmaktadır. Motorun ucundaki mile bağlı olan dişli (1) motorun hareket yönüyle doğru orantılı olarak dönmektedir. Motor gücüyle kazanılan bu hareket, ilk dişliye (1) dik olarak konumlandırılan diğer dişlinin (2) de dönüşünü de sağlamaktadır. İkinci dişli (2) aynı zamanda parmak ile sabit bir şekilde bağlantılı olduğundan dişlinin

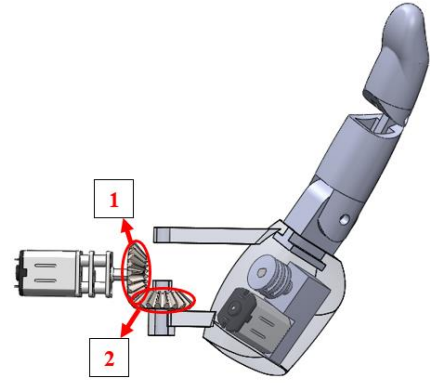
Mekanik biriminin oluşturduğu tasarımların CAD ortamında SolidWorks programı ile katı hal modelleri tasarlandı.

Parmak eklem noktalarından sabitlenerek 175 Newton'luk kuvvet parmak ucuna uygulanmıştır. Statik ve dinamik analizleri incelenen parmağın emniyet katsayısı,

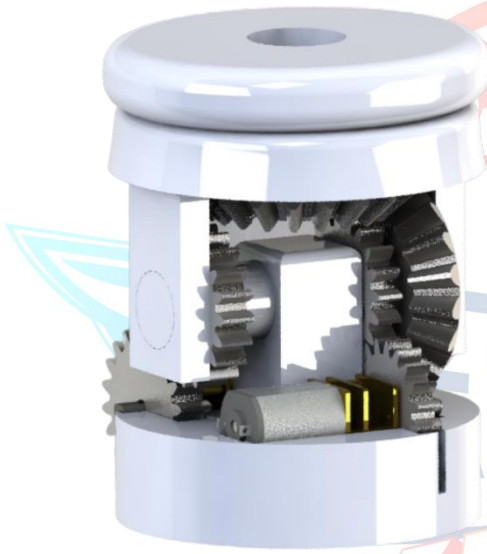
$$\text{Emniyet Katsayısı} = \frac{\text{Akma Mukavemeti}}{\text{Uygulanan Maksimum Kuvvet}} [12]$$

formülü ile hesaplandığında 1,63 olduğu

dönmesi parmağın avuç içine-dışına hareketini gerçekleştirmektedir. Ek olarak parmaklar için de uygulanan tendon sistemiyle parmağın açılma-kapanma hareketi sağlanmıştır. Başparmakta uygulanan bu ikinci sistem için ek bir DC servo motor kullanılmıştır. Böylece iki eksen de hareket kabiliyeti olan bir başparmak elde edilmiştir.



Şekil 11: Başparmak Yapısı

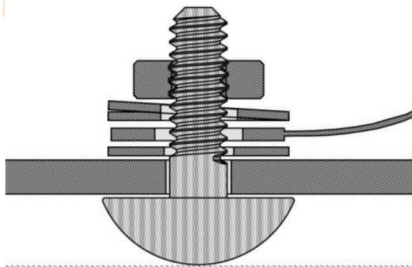


Şekil 12: Bilek Yapısı

Bilek Sistemi:

Başparmağın avuç içine ve dışına olan hareketi DC motora bağlı ikili dişli sistemi ile sağlanmaktadır. Motorun ucundaki mile bağlı olan dişli (1) motorun hareket yönüyle doğru orantılı olarak dönmektedir. Motor gücüyle kazanılan bu hareket, ilk dişliye (1) dik olarak konumlandırılan diğer dişlinin (2) de dönüşünü sağlamaktadır. İkinci dişli (2) aynı zamanda parmak ile sabit bir şekilde bağlantılı olduğundan dişlinin dönmesi parmağın avuç içine-dışına hareketini gerçekleştirmektedir. Ek olarak parmaklar için de uygulanan tendon sistemiyle parmağın açılma-kapanma hareketi sağlanmıştır. Başparmakta uygulanan bu ikinci sistem için ek bir DC servo motor kullanılmıştır. Böylece iki eksen de hareket kabiliyeti olan bir başparmak elde edilmiştir.

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü



Şekil 13: Metal Elektrot Tasarımı

(<https://coaptengineering.com/clinician-manual/dome-electrode-instructions>)

- Biyonik kolda kullanılacak olan elektrot sistemi takım tarafından tasarlanmıştır. Mevcut kollarda kullanılan elektrotlar geniş yüzeylidir ve kolun tamamını sararak rastgele sinyal almaktadır. Takımın tasarladığı sistemde ise elektrotlar araştırmalarımız sonucu en iyi sinyal alınabilecek kasların üzerine gelecek şekilde konumlandırılarak bir kol bandına yerleştirilmiştir.
- EMG sinyallerinin filtrelenmesi için mevcut sistemlerde filtreleme işlemi sadece dijital filtre ile sağlanır. Tasarladığımız sistemde ise filtreleme için hem analog hem dijital filtre kullanılmıştır. Böylece gürültüler engellenerek istenen frekans değerleri elde edilmiştir.
- İki eksen de sistemimizin gerçekleştirdiği bilek hareketi günümüzde birçok kullanıcıya ulaşan biyonik kollarda bile bulunmayan bir teknoloji olup kullanıcıların erişilebilirliğini

yüksek ölçüde arttıran bu önemli özelliğin çalışma prensiplerinden tasarımına kadar tamamen özgün bir tasarımla gerçekleşmesi mekaniksel tasarım anlamında en inovatif yönümüz olmuştur.

6. Uygulanabilirlik

Geçtiğimiz sene başladığımız bu serüvende ortaya koyduğumuz ilk prototiple aktif hareket eden bir biyonik kol sisteminin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. İletişime geçtiğimiz engelli bireyler kozmetik kol protezlerini bile bütçe olarak karşılayamazlarken robotik sistemli bir biyonik kolun hayatları boyunca erişemeyeceği ücretlerle satıldığını, yarar sağlayan giyilebilir ürünlerin oldukça pahalı olduğunu [13] söylemektedirler. İki senedir yaptığımız araştırma çalışmaları, uzman kişilerle yapılan görüşmeler ve uygulama denemeleri sonucunda oluşturduğumuz bu prototipin ürünleştirilmesiyle ilk olarak kullanıcıların testleri yapılarak adaptasyon süreleri ölçülmeli ve sistem bu dönüşlere göre revize edilip kişilere en uygun diledikleri gibi bir sistem teslim edilmelidir.

Ticari ürüne dönüştürülen ürün, maliyet üzerinden bakıldığında %100 kârla satışı gerçekleştirileceği düşünülse bile piyasadaki biyonik kollardan daha aşağıda bir fiyatlandırma ile bireylerin kullanımına sunulabilecektir.

Ayrıca yapılan sistem tasarımının kullanıcı tarafından kullanılması için herhangi bir operasyon geçirmeden tak-kullan yöntemiyle bir giyilebilir teknoloji ürünü olarak tasarlanmış olması ürünleştirmede en büyük avantajlarımızdandır. Herhangi bir etik kurul veya yasal süreç geçirmesi gerekmediğinden kullanıcılara en hızlı biçimde biyonik kolları ulaştırılabilecektir.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Tablo 2: Fiyat ve Özellik Kıyas Tablosu

| BİYONİK KOL KIYASLAMA TABLOSU | | | | |
|---|---|---|---|---|
|  INMOOV 23.300TL (~1.500 \$) |  I-LIMB ULTRA >775.000TL (50.000 \$) |  BEBIONIC 542.500TL (~35.000 \$) |  IEEE YTU BIOMECH BİYONİK KOLU 2021 11.666TL |  IEEE YTU BIOMECH BİYONİK KOLU 2022 6790.52TL |
| Kısıtlı Tutuş Pozisyonu | 6 Farklı Ana Tutuş Pozisyonu | 6 Farklı Ana Tutuş Pozisyonu | Kısıtlı Tutuş Pozisyonu | 6 Farklı Ana Tutuş Pozisyonu |
| Servo Motor Kullanımı | DC Motor Kullanımı | Step Motor Kullanımı | Lineer Aktüatör Kullanımı | DC Motor Kullanımı |
| Bilek Hareketi Yok | Bileğin Tek Eksenli Hareketi | Bileğin Tek Eksenli Hareketi | Bilek Hareketi Yok | Bileğin İki Eksenli Hareketi |
| Başparmağın Tek Doğrultuda Hareketi | Başparmağın İki Doğrultuda Hareketi | Başparmağın İki Doğrultuda Hareketi | Başparmağın Tek Doğrultuda Hareketi | Başparmağın İki Doğrultuda Hareketi |
| - | Yapay Zeka ile Hareketlere Karar Verme Sistemi | Yapay Zeka ile Hareketlere Karar Verme Sistemi | - | Yapay Zeka ile Hareketlere Karar Verme Sistemi |
| - | - | - | Kullanıcıyı Bilgilendiren Pil Durumu Göstergesi Var | Kullanıcıyı Bilgilendiren Pil Durumu Göstergesi Var |
| - | - | - | - | Parmak Ucundaki Sensörler Sayesinde Hassas Tutuş İmkânı Sağlaması |



Şekil 14: Takımın Geçtiğimiz Sene Tasarlanmış Olduğu İlk Sistem Prototipi

Tablo 3: Maliyet Tablosu

| | Malzemeler | Kullanım Amacı | Miktar | Fiyat |
|---|---|---|---------------|----------------------------|
| 1 | Batarya | Devrenin güç kaynağı olarak kullanılmakta ve sistemin tüm enerji ihtiyacı buradan karşılanmaktadır. | 1 Adet | 232,62₺ |
| 2 | Baskılı Devre Kartı | Elektronik devrelerin düzenini sağlayarak sistemin içerisindeki donanımsal ihtiyaçları gideren komponentleri bir araya getiren, bakır yollardan oluşan plakalardır. | 11 Adet | 460,88 ₺ |
| 3 | DC Motor | Mekanik parçaların hareket edebilmesi için elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmektedir. | 8 Adet | 348,98 ₺ |
| 4 | Elektronik Komponentler | Sistemdeki devrelerin tamamlanarak gücü iletmesini ve gerekli görevleri yerine getirerek çalışmasını sağlamaktadır. | 206 Parça | 3933,04₺ |
| 5 | Sensörler (Kuvvet Sensörü – Jiroskop) | Çevreden toplanan dönüş verilerinin alınmasını sağlayacak bu aksamlar sistemin feedback mekanizmasının en önemli parçalarıdır. | 6 Parça | 700,00₺ |
| 6 | Filamentler | Bilgisayar üzerindeki tasarımların 3B yazıcı ile somutlanarak gerçek hayatta fiziksel bir yapıya dönüştürülmesi sağlanmaktadır. | 2 kg | 425,00 ₺ |
| 7 | Metal Elektrot | Kaslarda oluşan elektriksel sinyallerin toplanarak sistemin veri toplamasını sağlamaktadırlar. | 8 Adet | 400,00 ₺ |
| 8 | Örgü İp Misina | Tendon sisteminin sağlanarak motorların hareketinin parmaklara iletilmesini sağlamaktadır. | 1 Adet | 90,00₺ |
| 9 | Vida, setskur, cıvata vs. gibi hırdavat ihtiyaçları | Tasarımı ve basımı gerçekleştirilen somut parçaların bir araya getirilmesini sağlamaktadırlar. | 50 Parça | 200,00₺ |
| | | | | TOPLAM: 6790,52₺ |

Tablo 4: İş - Zaman Çizelgesi

| FAALİYETLER | | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos |
|-------------|---|------|-------|------|-------|-------|---------|--------|---------|
| | Araştırma Süreci | | | | | | | | |
| | Mekanik | | | | | | | | |
| 1.1 | Genel Ölçüler ve Proje Gerekliliklerinin Belirlenmesi | | | | | | | | |
| 1.2 | Sistemin İlk Tasarımının Oluşturulması | | | | | | | | |
| 1.3 | Parmak ve Bilek Yapılarının Ayrıntılı Tasarımların Oluşturulması | | | | | | | | |
| 1.4 | Motor, Batarya ve Kartların Bulunacakları Yerlerin Tasarlanması | | | | | | | | |
| 1.5 | Parçaların 3B Yazıcı ile Üretilmesi ve Montajı | | | | | | | | |
| | Donanım | | | | | | | | |
| 2.1 | Baskı Devre Kartları'nda İhtiyaç Duyulacak Olan Özelliklerin Belirlenmesi | | | | | | | | |
| 2.2 | Baskılı Devre Kartlarının Tasarımı | | | | | | | | |
| 2.3 | Baskı Devre Kartların Üretilmesi, Test Edilmesi ve Lehimlenmesi | | | | | | | | |
| 2.4 | Yazılım Süreci | | | | | | | | |
| | Test Aşaması | | | | | | | | |
| 3.1 | Mekanik Tasarım Analizleri (Mukavemet Ölçümleri) | | | | | | | | |
| 3.2 | Tüm Sistemin Birleştirilerek Uyum ve Çalışabilirliğinin Test Edilmesi | | | | | | | | |

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar)

Dünya Sağlık Örgütü'ne göre 1 milyardan fazla insan bir çeşit engel ile yaşamaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2022 yılı Mart ayında yayınladığı bültene ve 2019 Türkiye Sağlık Araştırması'na göre Ulusal Engelli Veri Sistemi'nde kayıtlı ve hayatta olan engelli kişi sayısı 2.511.950 olup toplamda engelli nüfusun toplam nüfusa oranı %3'tür. Yine bu kaynaklara göre ülkemizde yaşayan engellilerin %13,78'ini ortopedik engelliler oluşturmaktadır. [4]

Engelli kişilerin daha az eğitim, daha kötü sağlık olanakları, daha düşük istihdam seviyeleri ve daha yüksek yoksulluk oranları gibi olumsuz sosyoekonomik sonuçlarla karşılaşma olasılığı daha yüksektir. Bu durumdaki zorluklarla mücadele eden bireylerin hayatlarına dokunabilmek adına düşük maliyetli fakat bir o kadar da işlevsel bir sistem tasarımı gerçekleştirilmektedir.

9. Riskler

Tablo 5: Risk Tablosu

| Olasılık | Etki | Değerlendirme | Riskler | Risk Yönetimi (B Planı) |
|----------|--------|-----------------------------|--|--|
| Düşük | Orta | Düşük, Dikkat Edilmeli | Yapay Sinir Ağları'nın 8 farklı EMG Kartı'ndan gelen verileri doğru şekilde sınıflandıramaması. | Toplanan veriler Excel tablosunda ortalaması alınarak yazılım aşamasında manuel olarak hareketlere karar verilecektir. |
| Düşük | Orta | Düşük, Dikkat Edilmeli | Projenin mekanik tasarım kısmında bilek tasarımının farklılaşması | Bileğin dönme hareketi sağlanması adına dış görünüşü değişse bile sistem değişikliği beklenmemektedir. |
| Düşük | Yüksek | Orta, Önemsenmeli | Çarklar ABS filamentli ile üretilmesine rağmen istenen dayanıklılığa sahip olmayabilir. | Metal çark basımı gerçekleştirilecektir. |
| Düşük | Yüksek | Orta, Önemsenmeli | Batarya gücünün sisteme ve motorlara istenen miktarda aktarılamayıp hedeflenen verime ulaşamaması | Daha yüksek kapasiteli batarya tercih edilecek veya harici bir pil eklenerek sisteme ayrı güç sağlanacaktır. |
| Yüksek | Yüksek | Yüksek, Çok dikkat edilmeli | Atmega 2560 tanımlı pinleriyle sınırlı kapasitede olan bir mikrodenetleyici olduğundan ekstra bir özellik eklenmesi veya kartların üretiminde hata olması durumunda kartları kullanışsız hale getirebilir. | Atmega2560'ın yetersizliği durumunda STM32F303VCT6 mikrodenetleyici ile kart yeniden tasarlanarak ARM mimarisıyla çalışan ve pinlerin tek tek atandığı farklı bir sistem tercih edilecektir. |

Tablo 6: Olasılık - Etki Değerlendirme Tablosu

| | | | | | | |
|----------|---|------|---|---|---|---|
| Olasılık | 5 | | | | | |
| | 4 | | | | | |
| | 3 | | | | | |
| | 2 | | | | | |
| | 1 | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | Etki | | | | |

10. Kaynaklar

- [1] Özdemir, S., (2017) Engelli Bireylerin Mânevî Rehabilitelerinde İletişimin Önemi, Harran Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi, Sayı 38, Sayfa 137- 159.
- [2] Cantimur, O., (2018), İED'in Hak Temelli Çalışmaları, Düünden Bugüne Engellilik Araştırmaları Konferansı Özet Kitabı, Sayfa 57.
- [3] Birleşmiş Milletler, (2015) Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, A/RES/70/1, Sayfa 1-35.
- [4] T.C. Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü ve TÜİK, (2022) Engelli ve Yaşlı İstatistik Bülteni, Sayfa 16-17.
- [5] Coapt Gen2, (2021) Handbook (V 9.2) Dome Electrode, Sayfa 1-19.
- [6] Sosyal, A.Ş., Bodur, Ş., İşeri, E., Şenol, S., (2005) Bebeklik Dönemindeki Bağlanma Sürecine Genel Bir Bakış, Klinik Psikiyatri Dergisi, Cilt 8, Sayfa 88-99.
- [7] Anaforoğlu, B, Erbahçeci, F., (2012) Amputelerde Fantom Ağrısı, Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi, Cilt 11, Sayı 1, Sayfa 25-31.
- [8] Nikolajsen, L, Jensen, TS., (2001) Phantom Limb Pain, British Journal Of Anaesthesia., Cilt 87, Sayfa 107-116.
- [9] Ketç, AK., (2008) The Experience Of Phantom Limb Pain In Patients With Combat-Related Traumatic Amputations, Archives Of Physical Medicine And Rehabilitation, Cilt 89, Sayfa 1127-1132.
- [10] Parkes, CM., (1973) Factors Determining The Persistence Of Phantom Pain In The Amputee, Journal Of Psychosomatic Research, Cilt 17, Sayfa 97-108.
- [11] Bağcı, D., Koçal, OH., (2016) Protez-Biyonik El Kontrolü İçin EMG İşaretlerinin Makine Öğrenmesi Metodlarıyla Sınıflandırılması, Sayfa 1-8.
- [12] Kutay, MG., (2009) Mukavemet Değerleri, Sayfa 1-84.

[13] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Sektörel Araştırma ve Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, (2020) Giyilebilir Teknolojiler Raporu, Sayfa 17.

