



## TEKNOFEST

### HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ ENGELSİZ YAŞAM TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI

#### PROJE DETAY RAPORU

**PROJE ADI:**

Beyin Dalgalarıyla Gerçek Zamanlı Biyonik El Kontrolü

**TAKIM ADI:**

Parzival Robotics

**Başvuru ID:**

367230

**TAKIM SEVİYESİ:**

Üniversite-Mezun

## İçindekiler

1. Proje Özeti (Proje Tanımı) .....	3
1.1. Projenin Tasarım Süreci .....	3
1.2. Projenin Donanım Süreci .....	4
1.2.1. Sistem Kontrol Kartı.....	4
1.3. Projenin Yazılım Süreci .....	4
2. Problem Durumunun Tanımlanması .....	5
3. Çözüm .....	6
4. Yöntem .....	6
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü .....	11
6. Uygulanabilirlik.....	11
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması .....	12
7.1. Tahmini Maliyet.....	12
7.2. Proje Zaman Çizelgesi.....	13
8. Proje Fikrinin Hedef Kitlesi (Kullanıcılar):.....	13
9. Riskler .....	14
10. Kaynaklar .....	15



## 1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

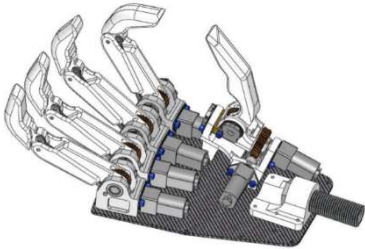


Şekil 1: İlk Prototip

İhtiyaçların her geçen gün artması yaşamın bir parçası olan teknolojinin yani teknolojinin uygulanması olan 'Biyonik El'in gelişmesine ve yıllar içerisinde kendini değiştirmesine neden olmuştur. Bu değişim ve gelişim sürecinde insanoğlu elektrik icadından başlayarak günümüz teknolojilerine kadar uzun bir süreçten geçmiştir. Bu süreç içerisinde teknolojinin sadece temel ihtiyaçların giderilmesi ya da iletişim için gerekli olduğu algılanmaması gerektiğini günümüzde kabul gören teknoloji tanımlarına bakıldığında açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Teknoloji, ARGE Bilim Teknoloji Komisyonunca kabul gören haliyle” toplumun gerektiği gibi hayatını kolaylaştırmak ve rahat etmelerini sağlamaktır”. Yapılan bu tanım doğrultusunda teknolojiyi ele alacak olursak teknoloji rastgele bir yerlere iletişim sağlamak değildir.

Birçok hastalığa çare olacaktır. Gelecek 10 yıl içerisinde tıp teknolojisi cihazların gelişmesine bağlı olarak çok hızlı ilerleyecektir. Nano boyutta geliştirilecek cihazlar ile şimdi büyük riskleri olan ameliyatlara kan akıtmadan yapılabilecektir. İnsan ömrü daha da uzayacak ve birçok kanser hastalığına çare bulunacaktır. Sinir zedelenmeleri nedeniyle sakat kalan vücut fonksiyonları, üretilecek yeni robot kol ve bacaklar sayesinde giderilecektir. İnsanlar bu yeni robot uzuvlar sayesinde hayatlarına kaldıkları yerden devam edebileceklerdir. Tıp teknoloji ile o kadar iç içe girecek ki insanların bazı organları cihazlar tarafından üretilecektir. Bunun üzerine tıp teknolojisi elektronik cihazların gelişmesine bağlı olarak birçok hastalığa çare olacağı düşünülmektedir. Nano boyutta geliştirilecek cihazlar hem büyük bir iş yükünü ortadan kaldıracak hem de riskli ameliyatlara daha minimal düzeyde hata oranına sahip olması sağlanacaktır. Uzvuunu kaybetmiş insanların hayatlarını daha rahat bir şekilde sürdürebilmesi için biyonik eller çok önemlidir. Kaza sonucu veya sinir zedelenmeleri nedeniyle sakat kalmış vücut fonksiyonları üretilecek robot kol ve robot bacaklar sayesinde giderilecektir. İnsanlar bu yeni robot kollar sayesinde yaşam kalitesini arttırarak hayatlarına devam edebileceklerdir. Tıp teknolojisi ile elektronik teknolojinin iç içe girmesi insan hayatının iyileşmesi ve yaşam kalitesinin artmasında ki payı çok büyüktür.

Bu teknolojiler, yavaş yavaş günlük hayatımızın birer parçası olacaktır. Bir teknolojinin sayılanlara ve sayamadığımız birçok duruma etkisi vardır. Bu etkilerin olumsuzluğunu en aza indirmek için teknolojinin amacına ve işlevlerine dikkat edilmelidir. Bir "Biyonik El" projesi oluşturulurken geniş bir yelpazeden bakılmalıdır. Proje oluşturulurken sadece insanın yaşamını kolaylaştıran fikrinin dışına çıkılarak insanların ruh sağlığı, nesnelere iyi kavrayabilmesi, materyalin vücuda uyumlu olması, bağımsız hareket edebilmesi, hareket hızı ve kavrama hassasiyeti, küçük bir batarya ile fazla enerjiye ihtiyaç duymadan çalışabilmesi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu standartlar göz önünde bulundurulduğunda uygun bir "Biyonik El" uygulamasının yanı sıra verimin ve teknolojinin geliştirilmesi, ekonomik açıdan fayda ve hayata kolaylık sağlayacaktır.

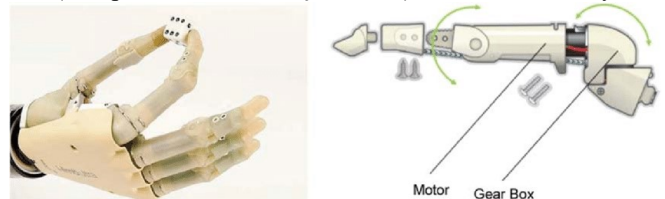


Şekil 2: Geliştirilen İkinci Versiyon

Bizler de bu doğrultuda çalışmalara başlamış bulunmaktayız. 2021 Teknofest İYT Engelli dostu kategorisinde ilk prototip yapılmıştır. 2021 Teknofest İYT Engelli Dostu Kategorisi yarışmasını başarı ile tamamlayarak Türkiye geneli 4. olmuş bulunmaktayız. İlk prototip Şekil 1'de gösterilmektedir. Yapılan prototip sonucunda eksikler, proje açıklıklar, hatalar ve nasıl daha iyi hale getirilebilir adına analizler yapılmıştır. Bu analiz doğrultusunda yapılması gerekenler belirlendi ve çalışmalara devam edilmektedir. Geliştirilmekte olan ikinci versiyon da Şekil 2'de gösterilmektedir.

### 1.1. Projenin Tasarım Süreci

Biyonik kol ve benzeri tasarımlar yapan şirketlerin ürettiği projelerin (ottobock, Bebionic, I-Limb vb.) detaylı araştırılması ile genel bir fikir yürütme aşamasına geçilerek ülkemizdeki ve dünyadaki gelişmelerin takip edilip temel alındığı ve bugüne kadar üretilmiş biyonik kolların analizlerinin yapıldığı aynı zamanda tüm bunların raporlandığı bir süreç gerçekleşmiştir (Şekil 3). Burada, tasarım sürecinde, biyonik kola ait tasarlanması gereken parçaların öncelikli olarak bilgisayar destekli tasarım (Fusion 360) ve genel ölçüler (kol, parmak, dirsek ölçüleri vb.) konularında detaylı araştırmalar yapılmıştır. Sonraki adımda bu ölçü birimlerinin baz alındığı bir sistem oluşturularak yüksek işlevde çalışan, insan psikolojisine iyi gelecek ve estetik bakımından göze hitap edebilecek parmak tasarımları birim görevlilerince hazırlanmıştır. Bunların ardından avuç tasarımları aşamasına geçilmiştir. Bu süreçte baş parmağın avuç üzerindeki konumunun ayarlanması, yüksek işlevli bir

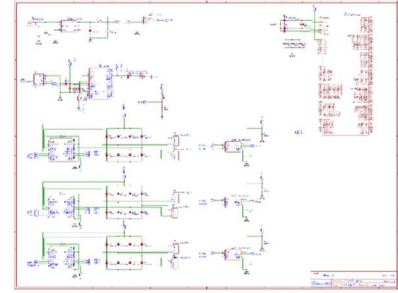


Şekil 3: I-Limb Örnek Parmak Tasarım Mekanizması

tasarımın çıkması hedeflenmiştir. Tamamlanan tasarımlar 3 boyutlu yazıcı tarafından üretilme aşamasına geçiş yapılacaktır. Biyonik kolun üretildiği malzeme, hafiflik ve dayanıklılık açısından avantaj sağlayabilecek potansiyele sahip madde olan PLA (Polilaktik Asit) filamenti kullanılmıştır.

## 1.2. Projenin Donanım Süreci

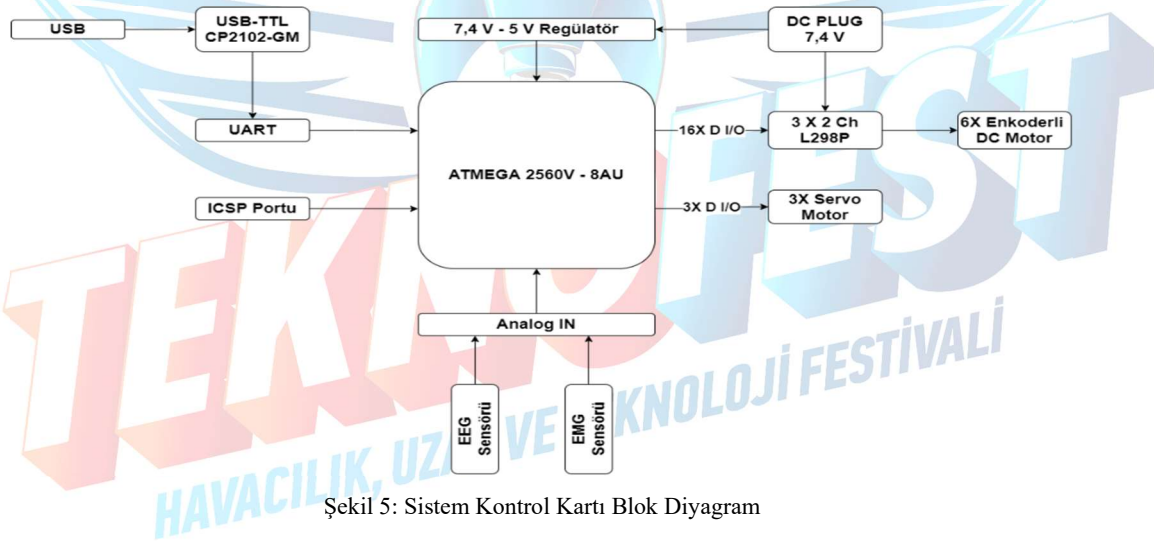
Biyonik kol alanında gerçekleştirilen çalışmalar ve piyasada hâli hazırda satılan Bebionic, Ottobock I-Limb gibi şirketlerin donanımsal aksamalarını ve akademik makale taraması yapılmıştır. Bu araştırma sonrasında kart üzerindeki ihtiyaçlara karar verilip kâğıt üzerine taslak çıkarıldıktan sonra kartın tasarımı için EasYeda programını kullanılarak Sistem Kontrol Kartı (Şekil 4) tasarımına başlandı.



Şekil 4: Sistem Kontrol Kartı

### 1.2.1. Sistem Kontrol Kartı

Sistem Kontrol Kartı üzerinde bulunan motor sürücü, işlemci entegreleri ve EEG ve EMG sensörlerinden gelen veriler sayesinde Enkoderli DC Motorların kontrolü sağlanacaktır. Sistem Kontrol Kartı ve motorlar gerekli enerjiyi 2 hücreli 7,4V'luk bataryadan almaktadır. Batarya, güç portu aracılığı ile karta bağlanmaktadır. Güç portundan sonra güç regülatörü kısmında gelen voltaj istenilen değere dönüştürülmektedir. Bu işlem sonucunda sistem, 5V 3A regüle edilen gerilim ile motorlar dışındaki tüm sistem beslenmektedir. EEG ve EMG sensörlerinden veri alınmaya başlanır. Bu veriler analog bir giriş aracılığıyla Sistem Kontrol Kartı'na gelmektedir. Gelen veriler Sistem Kontrol Kartı'ndaki mikrokontrolcüde okunmakta ve yazılan program doğrultusunda 15 dijital pin ile motor sürücülere iletilmektedir. L298P, H-Köprüsü yapısına sahip olduğundan bir motor sürücü ile aynı anda iki motor sürebilmektedir. Mikrokontrolcü ve motor sürücüden alınan gerekli sinyaller kullanılan motor türüne göre ilgili konnektörlere aktarılır. Motor konnektörlerine bağlı olan altı adet Enkoderli DC motorlara ve üç servo motor gelen veriler doğrultusunda çalışmakta ve sistemin hareket etmesini sağlamaktadır.



Şekil 5: Sistem Kontrol Kartı Blok Diyagramı

## 1.3. Projenin Yazılım Süreci

Proje kapsamında kullanılan Enkoderli DC Motorlar (EDM) konum geri bildirim mekanizması ile çalışmaktadır (Şekil 6). Dolayısıyla yazılım tasarımı konusunda EDM konum kontrolü esaslı bir kontrol algoritması baz alınarak çalışmalar yapılmaktadır. EEG ve EMG sensörlerinden gelen analog sinyalin işlenmesi sonucu EDM'lara uygun hale getirildikten sonra motorlar, istenen konuma gelene kadar sinyal gönderilmekte, istenen konuma ulaştığında ise sinyal gönderimi durmaktadır. Ayrıca motorlar, konum geri bildirim yapması sebebiyle el için manuel olarak bir konum belirleyip sinyallerin o sınırlar içerisinde gönderilmesini sağlayarak bir kayıt algoritmasının kullanımına olanak sağlamakta olup bu algoritma proje takımı tarafından tasarlanmıştır.



Şekil 6: Enkoderli DC Motor

## 2. Problem Durumunun Tanımlanması

2008’de açıklanan amputasyon istatistiklerine göre dünyada 10 milyon ampute birey bulunmaktadır. Bunların %30’u kol amputasyonlarıdır. Dirsek altı amputasyon ise %59 ile en çok görülen kol amputasyonu tipidir. Ampute bireylerin yaklaşık %30’u bu durumdan ötürü aynı zamanda depresyon ve anksiyete ile mücadele etmektedir. Bu sayıların gün geçtikçe arttığı düşünülürse ampute bireylerin topluma kazandırılması hem mühendislik hem de sosyal açıdan ciddi sorumluluklar içermektedir.

Raporun özet bölümünde de bahsedildiği üzere toplumsal açıdan sorun, doğuştan veya herhangi bir kazadan dolayı uzuvları olmayan insanların hayat içerisinde yeterli imkanlara sahip olmamasıdır. Diğer taraftan ise ülkemizde tamamen yerli ve milli bir biyonik kol üretimi bulunmamaktadır. Bu nedenle ilgili kişiler yurtdışında üretilen yüksek fiyatlı biyonik kolları tedarik etmek zorunda kalmaktadır. Bu proje ile yerli, milli ve düşük maliyetli bir biyonik kol üretimi gerçekleştirilmiş olacaktır. Örneğin I-Limb şirketinin tasarladığı Biyonik el yaklaşık olarak 50.000 \$ dan başlayan fiyatlar değerindedir [1]. Teknik açıdan değerlendirmek gerekirse diğer protez kolların kas sistemi (EMG) ile çalışmaktadır. Piyasada var olan biyonik eller EMG kontrollü olmasından dolayı tam yeterli seviyede değildir. Günümüzdeki birçok biyonik eller EMG kontrol yöntemini kullanmaktadır. Sadece yabancı ülkelerin araştırma merkezlerinde beyin dalgaları ile kontrol yöntemiyle araştırmalar yapılmaktadır.

Model Özellikler	Miquelangelo [2]	I-Limb [3]	Bebionic [4]	Sensor Hand [5]	Vincet Hand [6]
Geliştirici	Otto-Bock	Touch Bionics	Otto-Bock	Otto-Bock	Vincent Systems
Ağırlık (gr)	510	599	500	500	410
Çalışma Gerilimi	11.1 V	7.4 V	7.4 V		6-8 V
Batarya Tipi	Li-İon	Li-Po	Li-İon		Li-Po
Batarya (mAh)	1500	1300-2400	1300-2200		1300-2600
Aktüatör Cinsi		Dc Motor ile Worm Gear	Dc Motor Başlı Vida	Dc Motor	Dc Motor ile Worm Gear
Aktif Parmaklar	3	5	5	2	5
Kuvvet (N)	70	100	140	100	62
Hareket Kontrolü	EMG (4 Kanal)	Mobil Uygulama, EMG	EMG	EMG	Tek Tetik EMG
Geri Dönüş Bildirimi	Yok	Yok	Ses ve Titreşim	Yok	Titreşim

Geliştirilecek olan bu “biyonik elde” amaç, doğuştan veya herhangi bir kazadan dolayı uzuvlarını kaybeden engelli bireylerin hayatlarını kolaylaştırarak topluma daha rahat adapte olmalarını sağlamaktır. Klasik biyonik el yerine 3-boyutlu yazıcı teknolojisi, beyin sinyalleri, kas sistemi ve çeşitli sensörler kullanılarak; bilek kısmı, beş parmak ve dirsek hareketleri olan bir biyonik el tasarlanacaktır [7-9]. Aynı zamanda tasarlanacak olan biyonik elde hassas kavrama özelliğini ileriye taşıyarak bir anahtar veya kalem tutmayı sağlayacaktır. Proje oluşturulurken sadece insanın yaşamını kolaylaştırma fikrinin dışına çıkılarak insanların ruh sağlığı, nesnelere iyi kavrayabilmesi, materyalin vücuda uyumlu olması, bağımsız hareket edebilmesi, hareket hızı ve kavrama hassasiyeti, küçük bir batarya ile fazla enerjiye ihtiyaç duymadan çalışabilmesini amaçlanmaktadır.

### 3. Çözüm

Raporun problem başlığı altında değinilen sorunların takım tarafından üretilen optimal çözüm önerilerine değinilmesi gerekirse birçok şirket hareket kontrolü olarak kas sistemini (EMG) tercih etmektedir. Ama günümüzün teknolojisi ile EMG sistemi geride kalmış bir kontrol yöntemi. Buna karşılık olarak artık beyin dalgaları (EEG) ile kontrol yöntemi daha çok tercih edilmeli. Bizler de beyin dalgaları ile kontrol yöntemini kullanarak bir biyonik el yapılacaktır. Örnek takımınız yaptığı ilk prototipi “ [Buraya](#) ” tıklayarak ulaşabilirsiniz. (Link: <https://drive.google.com/file/d/1flebOzSadnWgV0mNuh1f7spIlnhPbQ4l/view?usp=sharing>)

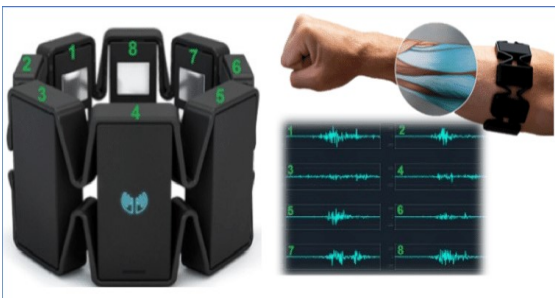
Geliştirilecek olan biyonik elin diğer projelerden ayıran en büyük özelliği beyin sinyalleri ile kontrol, hassas kavrama, yenilikçi ve özgün bir tasarım olmasıdır. Bununla birlikte, tasarım yanında işlevselliğe de önem verilmiştir. Bu doğrultuda herhangi bir kazadan veya doğuştan uzvunu kaybeden bir insan ihtiyaçlarını karşılaması için uzvunun eksikliğini hissettirmeyecek bir biyonik robot el tasarımı yapılacaktır. Tasarımda günlük hayatta ihtiyaç duyulacak ve yapılacak işlemlere herhangi bir engel olmayacak kullanılabilirlik hedeflenmektedir. Jel ile kafa derisine bağlı elektrotlardan gelen elektriksel aktiviteyi analiz ettikten ve işledikten sonra sınıflandırarak makine öğrenmesi [10] yöntemi ile robot elin kontrol edilebilir olmasıdır. Aynı zamanda koldaki Kas Değişimlerine göre de kontrol edilerek hibrit bir sistem oluşturulması öngörülmektedir. Bunun için, bireyin koluna yerleştirilen elektrotlar sayesinde koldaki kas değişim hareketleri algılanacak ve robot elin kontrolü sağlanacaktır.

Yapılan literatür araştırılması sonucunda beyin sinyalleri ile kontrolün nadir kullanılan ve aynı zaman uzun süre ar-ge geliştirme çalışmaları gerektiren bir yöntem olduğu görülmektedir. Bu yöntemi kullanarak geleceğe yön verilebilir.

### 4. Yöntem

Biyonik El eski çağlardan günümüze kadar gelen köklü bir uygulama değildir. Eski çağlarda günümüzde olduğu kadar önem veren ve değişik uygulamalar sunan bir yapı olmamıştır. Teknoloji zaman içerisinde gelişme ve değişime göstererek günümüzdeki yapısını oluşturmuştur. Teknoloji geniş bir kapsama alanına girmektedir. Bu nedenle proje uygulamasında yalnızca Biyonik El elemanlarından bahsetmek doğru olmayacaktır. Günümüzde Biyonik El, nesnelere iyi kavrayabilmesi, hareket hızı ve kavrama hassasiyeti baz alınarak vücuda uygun bir şekilde uygulanmaktadır. Yapılan araştırmalar etüt edildiğinde biyonik El’ in amacının, hastaların başkalarına bağımlı olarak yaşamak zorunda kalmamalarını sağlamak, çocukların içine kapanmalarını önlemektir [11]

Protezler; bir hastalık veya fonksiyon kaybı sonucu el, kol, ayak veya bacak gibi uzuvlarından ampütasyona uğramış bireyler için üretilen ve bu uzuvların yerine geçip ampüte bireylerin temel fiziksel hareketlerini yapmalarını sağlayan tıbbi cihazlardır [12]. Protez çalışmalarına örnek olarak diğer vücut çıkıntılarına göre daha karmaşık yapıya sahip olan el protezi çalışmaları verilir. Günümüzde kullanılan el protezleri için üç çeşit protez tipinden bahsedilmektedir. Birincisi kozmetik amaçlı işlevi neredeyse hiç olmayan sadece görsel açıdan bireye destek veren ürünlerdir. İkincisi vücut kontrollü protezler, birden fazla kablo tarafından çalıştırılıp, bu kablolar bireyin vücuduna bağlanır. Bu protezlerin en büyük avantajı elektrik güç kaynağına gerek kalmamasıdır. Üçüncüsü ise miyoelektrik biyonik el protezleridir [13]. Miyoelektrik Biyonik El, mekanik, elektronik ve ampüte bireyin invazif ya da invazif olmayan EMG sinyalleriyle birçok parçanın bir araya gelmesi ile oluşan elektro-mekanik bir sistemdir. Böyle bir sistemde elektrikli parçaların kontrolü ile birlikte mekanik parçalar tahrik edilerek yapılır [14]. Bu protezlerin en büyük avantajları çoklu serbestlik derecesine sahip olmaları ve aynı anda birden fazla hareketi yapabilmeleridir. Bunlara örnek olarak ticari boyutu da bulunan Otto Bock [15], TouchBionics [16], Deka Arm [17], Bebionic [18] ve benzeri ürünler verilmektedir. Bu protezlerin gelişiminde elin hareketlerini sağlamada EMG sinyallerinin işlenmesi büyük bir rol oynamaktadır [19].



Elektromiyografi (EMG), sinir sistemi tarafından kontrol edilen ve kas hareketleri neticesinde kas ve sinirlerde ortaya çıkan elektriksel aktivitenin kaydedilmesine dayanan bir yöntemdir. EMG sinyalleri vücuttan elektrotlar yardımı ile alınır ve gerilim kuvvetlendiriciden geçirilerek işlenirler. Kasların kasılma ve serbest durumlarından elde edilen sinyaller incelenerek çeşitli sınıflandırma algoritmaları ile istenilen hareketlerin tanımlanması sağlanabilmektedir. Myo Armband üzerinde bulunan sekiz farklı elektrot sayesinde bu sinyaller yüksek işleme ve sınıflandırma

yöntemleri ile hareketler algılanabilir. Thalmic Labs tarafından üretilen yazılım geliştirme kiti kullanılarak EMG ve jiroskop verilerine ulaşmak mümkündür. EMG sinyallerini Thalmic Labs tarafından verilen arayüz ile sınıflandırabileceği gibi ham EMG verilerini kullanarak çeşitli sınıflandırma algoritmaları ile de sınıflandırabilmektedir.[20]

Tademirci Ç., ve Ark., ön kol kaslarında kavrama esnasında oluşan kuvvetin EMG sinyalleri ile belirlenmesi ve analizi çalmalarında kavrama kuvveti ve EMG sinyalleri arsındaki iliklinin tahmin edilebileceğini görümlerdir.[21]

Kenan E., ve Ark., Myo Armband Thalmic Labs firması tarafından üretilen düşük enerjili kablosuz bağlantı (Bluetooth Low Energy) ile çalışmaktadır. Cihaz üzerinde 8 adet EMG elektrot, 3 eksenli ivmeölçer, 3 eksenli jiroskop ve 3 eksenli manyetometre bulunmaktadır. Çalışmada Python ortamında geliştirilen yazılım ile 8 kanallı EMG verisini ve 3 eksenli ivmeölçer verisi kol bandından toplanabilmektedir.[22]

### **Beyin Bilgisayar Arayüzünün (BCI) Tarihçesi**

Beyin Bilgisayar Arayüzü (BCI), insan beyin dalgalarını uygulamak ve toplamak için geliştirilmiş bir araştırma alanıdır. Bu teknoloji, nöronların dilini ileten, analiz eden ve uygulayan duylara dayanmaktadır. BCI, özellikle uzuvları üzerindeki kontrolünü kaybetmiş ve kollarını veya ellerini hareket ettirmek için kaslarını kullanmakta güçlük çeken insanlar için açık iletişim için parlak bir geleceğe sahip olduğu için keşfedilecek en heyecan verici teknolojilerden biridir. BCI, Beyin Makinesi Arayüzü (BMI) olarak da bilinir veya bazen Doğrudan Sinir Arayüzü olarak bilinir. BCI, beyin ve harici bir cihaz arasında doğrudan bir iletişim yoludur. Kortikal katmanlardaki nöronlar tarafından üretilen mikrovoltaj düzeyinde hücre dışı potansiyelleri kaydeden dört yöntem vardır; Elektroensefalografi (EEG), Elektrokortikografi (ECoG), Yerel Alan Potansiyelleri (LFP'ler) ve tek nöronlu aksiyon potansiyeli kaydı (tek ünite) [23].

Özellikle bilgisayar ve iletişim alanında teknolojinin gelişmesiyle birlikte "Beyin Bilgisayar Arayüz (BCI)" teknolojisi giderek olgunlaşıyor. Beyin aktivitelerinin belirli bir alanını kaydedip robot veya protez gibi harici bir cihaza komut verene kadar kafa derisi üzerinde küçük beyin dalgalarını yakalayıarak başlar. BCI ile ilgili araştırma ve geliştirmeler sadece protez ellere değil, tekerlekli sandalyeleri [24], [25] insansı robotları [26] ve mobil robotları [27] kontrol etmek gibi diğer uygulamalara da odaklanmaktadır.

### **Elektroensefalografi (EEG)**

Çalışmalar, protez cihazlarda yeni çözümler sunmak için EEG teknolojisini kullanmanın avantajlarını göstermiştir. Tipik olarak, çoğu araştırmacı Elektroensefalografiyi (EEG) hızlı iletişim için kullanır çünkü basit ve ucuz bir ekipmandır ve çok fazla prosedür gerektirmez. Ayrıca hastalar ve araştırmacılar için daha pratiktir [28]. Ayrıca EEG'nin yüzeyi, insan beyninden nöron kaynağını almak için herhangi bir ameliyat gerektirmez. EEG birçok BCI araştırmacısı tarafından tercih edilmektedir ve bu çalışmada nöron bilgisi kaynağı olarak kullanılmaktadır [29]. EEG, jel ile kafa derisine bağlı elektrotlardan gelen elektriksel aktiviteyi kaydettiği için invazif olmayan teknikler kullanır. Bu teknoloji, kas kontrolü (EMG) kullanmadan yeni alternatifler yaratır. Hem EEG hem de EMG teknolojilerinin sınırlamaları vardır. EMG, güçlü aktif kaslara sahip bir kişi tarafından kontrol edilebilirken, EEG aktif kas kullanılmadan beyin dalgası kullanılarak kontrol edilebilir. Karmaşık bir BCI sistemi, kullanıcıların belirli bir EEG frekansının çıktısını oluşturarak muhtemelen bir protez cihazı harici bir sistemi kontrol etmelerine olanak tanır. Elektroensefalogram (EEG), elektrotları kafa derisine iletken bir jel ile yerleştirerek bir sinyal kaydeder. Elektrotlar, mikrovolt ( $\mu V$ ) aralığında cilt üzerindeki voltaj farklılıklarını ölçer. İlk elektriksel aktivite 1924'te Hans Berger tarafından kaydedildi. İnsan beyninden EEG insan beyin dalgalarını kaydeden ilk kişi oydu. Berger, EEG sinyalini analiz ettikten sonra, çok düşük sinyale sahip Alfa dalgası (8-12Hz) olarak da bilinen Berger adlı ilk beyin dalgasını tanımladı [30].

### **Emotiv EPOC+ EEG Sensörü**

Birkaç yıllık araştırmaların sonuçları, çevresel kontrol için BCI sistemleri [31], heceleme sistemleri [32,33], robotik tekerlekli sandalye direksiyonu için arayüzler [34-36], oyun [37-39] gibi BCI uygulamalarına sahip çözümlerle umut vericidir. Mevcut literatürde, Emotiv EPOC+ cihazının ve uygulamasının değerlendirilmesinin sonuçlarını bildiren birkaç çalışma yayınlanmıştır. Örneğin, EPOC+ cihazı, EEG sinyallerinden algılanan göz kırpmaları üzerinde çalışan sentezlenmiş konuşmanın üretilmesi için BCI tabanlı bir sistem tasarlamak ve geliştirmek için kullanıldı [40].

EPOC+ cihazı ayrıca paralelleştirilmiş insanlar için tekerlekli sandalyeleri kontrol etmek için komutlarla beyin sinyallerini ilişkilendirmek amacıyla BCI cihazını entegre ederek bir konuşma etkileşim sistemini geliştirmek için kullanıldı [41]. Vourvopoulos ve Liarokapis tarafından yürütülen bir araştırma, EPOC+ gibi ticari BCI'ların hem gerçek hem de sanal ortamlarda etkili ve doğal robot navigasyonu için kullanılabilirliğini göstermiştir [42].

Video oyunları alanında, EPOC+ cihazı, video oyunları üretirken çeşitli uyaran modaliteleri ve oyun olaylarının neden olduğu kullanıcı deneyimi ve bilişsel süreçleri değerlendirmek için kullanılabilir [43]. [44]'te gösterildiği gibi, EPOC+ cihazı, oyun oynarken öne çıkan bilişsel beceriler açısından beynin ön lobunun (yürütme işlevi) nasıl çalıştığını analiz etmek için de kullanılabilir.

EEG'nin çalışma prensibi basittir; beyin tarafından üretilen sinyalleri veya potansiyel voltajı toplamak için kullanılır, ancak sorun, üretilen potansiyel voltajın küçük olması ve mikrovolt ( $\mu V$ ) cinsinden ölçülmesidir. Bu nedenle ölçüm için doğru ve hassas bir ekipman gerektirir. İleri teknoloji ile birlikte EEG de daha gelişmiş hale geldi ve özellikle nöroloji, fizyoloji ve psikolojide yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla piyasada NeuroSky Mindset, QuickAmp, G.tec Amplifier, Enobio, g®.MOBILab ve TrackIt sistemi gibi çeşitli araçlar bulunmaktadır. Kablosuz bir EEG cihazı olan



Emotiv EEG Headset, 2008 yılında geliştirildi. İnsan beyninden EEG kaydı yapmak için düşük maliyetli bir cihazdır. AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8 ve AF4 ile 10-20 Uluslararası Sistem pozisyonunda bulunan 14 elektrot ile önceden yapılandırılmış olarak gelen Emotiv EEG Kulaklık referans elektrotları Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu düzenleme, bu çalışmanın tek ilgi alanı olan beyin motor öncesi ve ön bölgelerini iyi bir şekilde kapsar. Klinik EEG başlığı, motor korteksin daha iyi kapsanmasını sağlar, ancak maliyeti, uzun kurulum süresi ve taşınabilirlik eksikliği, bu yaklaşımın pratik bir ticari çözüm olmasını engeller. Kulaklık hizalanır; bant geçiren filtreler ve kablosuz olarak dizüstü bilgisayara iletilmeden önce sinyali 128 Hz'de sayısallaştırır.[45]

Bu proje için daha öncesinde Teknofest İYT [Engelli Dostu](#) yarışma kapsamında çalışmalar yapılmıştır. Yarışma sonucu Türkiye 4.sü olup ve yapılan çalışmalar sonucu eksikler, proje açıklıkları ve hatalar saptanmıştır. Çalışma şekil 7'de gösterilmiştir.

Çalışmada tek kanal elektroansefalografi (EEG) cihazı ve tek elektrot elektromiyografi (EMG) cihazı kullanılmıştır. Bu doğrultuda dezavantajlar ile karşılaşılmıştır. EEG cihazı tek kanal olduğundan dolayı düşük çözünürlüğü sahip ve bu yüzden doğruluk yüzdesi düşük çıkmıştır. Farklı olarak bu projede geliştirilecek olan biyonik elde daha yüksek çözünürlüğe sahip 14 kanallı EEG cihazı kullanılacaktır. İlk versiyonda kullanılan tek kanallı EEG cihazı düşük el hareket fonksiyonlarına ve düşük hassasiyete sebep olmuştur ama bu proje geliştirilecek olan biyonik elde daha fazla el hareketi fonksiyonuna ve yüksek hassasiyete sahip olacaktır. Bir diğer sorun ise istem dışı çalışmasıdır. Bu soruna karşılık bir filtreleme yazılımı geliştirilmiştir. Bu sorunları aynı şekilde elektromiyografi (EMG) için de söylenebilir. Bu sebeple geliştirilecek olan biyonik elde 8 elektrot EMG cihazı kullanılacaktır. Bir diğer en büyük sorun ise kapama basıncı yani ne kadar düzeyde parmaklarını kapatacağını bilmediğinden dolayı eline verilen tüm materyalleri ezmesi ve kırması bu soruna çözüm olarak motorların boşa çektiği akım ve yükte olduğu akımlar karşılaştırılarak parmakların basıncı ayarlanacaktır.



Şekil 7: Öncesinde çalışma biyonik el

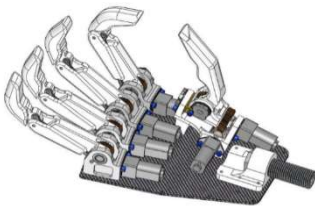
Bu projede geliştirilecek olan biyonik elin yapım aşamaları şu şekilde sıralanabilir:

**1.Aşama** İlk aşamada tasarımları yapılan parmak iskelet sisteminin 3D yazıcıdan basılacaktır. Şekil 8'de gösterilmektedir. Çıktı alınan parça üzerinde deneyler yapılacak. Tek parmak üzerinde yapılan deney sonucu hassas açma-kapama, kavrama hareketleri sorunsuz bir şekilde yapılana kadar üzerinde geliştirmeler bulunacaktır.



Şekil 8: İşaret Parmağı Örnek Tasarımı

**2.Aşama** Tek parmak üzerinde hassas kapama-açma, kavrama hareketinde başarılı olduğu takdirde aynı işlemleri tüm parmaklara uygulanacaktır. Ve tüm parmaklar için birer motor ama baş parmak için iki adet motor kullanılması gerektiğinden dolayı avuç içi tasarlanırken motorların montaj bölümlerinin dikkat edilerek tasarlanacaktır.Şekil 9'da gösterilmektedir.

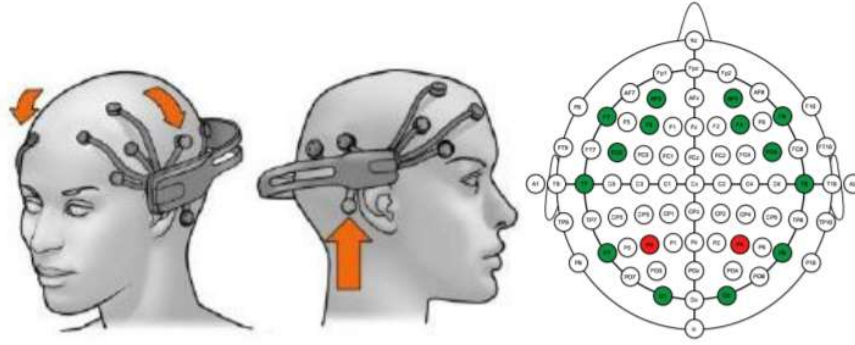


Şekil 9: Tüm parmaklar ve Avuç içi örnek tasarımı

**3.Aşama** Önceki aşamalar başarı ile tamamlandıktan sonra bilek eklemine geçilecektir. Bilek eklemine tek esen üzerin hareket kabiliyeti üzerinde karar verildi. Z ekseninin üzerin Roll (rotasyon) hareketi sağlayacaktır. 1. ve 2. aşamalardaki gibi hassas hareket kabiliyeti sağlana kadar üzerinde geliştirmeler bulunacaktır.

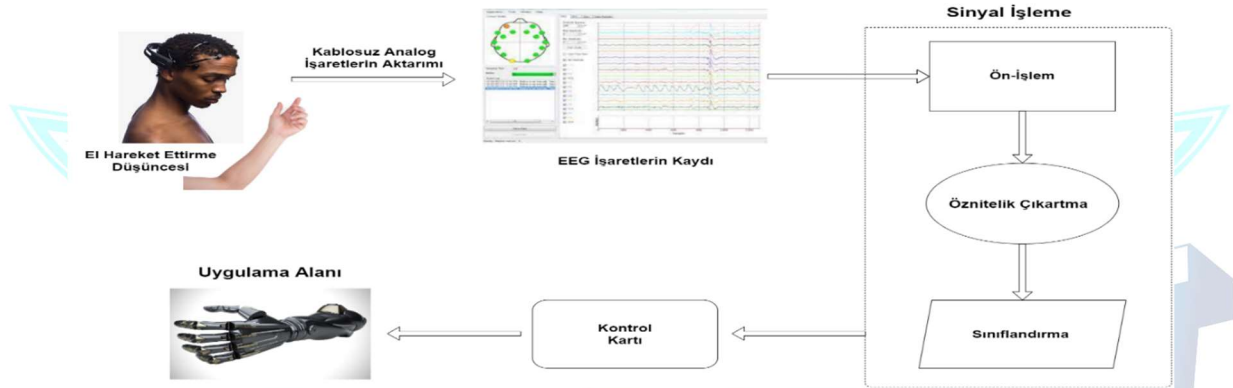






Şekil 13: Emotiv Epoc cihazı elektrot konumları. Yeşil kanallar ölçüm elektrotlarını kırmızı kanallar referans

Çalışmada izlenen genel yaklaşım Şekil 14’de gösterilmiştir. İlk olarak hangi fonksiyonlara ait hareketlerin kullanılacağına karar verilir. Fonksiyonlara ait EEG verileri çeşitli ön işlemlerden geçirilip gürültülerden ayrıştırılır ve analiz edilmek istenen bant(lar) elde edilir. EEG verilerinin yorumlanmasını kolaylaştırmak ve boyut uzayını azaltmak için özniteliklerden faydalanılır. Son olarak elde edilen öznitelikler çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları ile sınıflandırılır.



Şekil 14: El fonksiyonların verilerine ilişkin EEG verilerinin incelenmesinde genel yaklaşım

**8. Aşama** EEG’den alınan verilere ile işlemler bittikten sonra EEG’nin fonksiyonları atanacaktır. Atamalar bittikten sonra bir sonraki aşamaya geçilecektir.

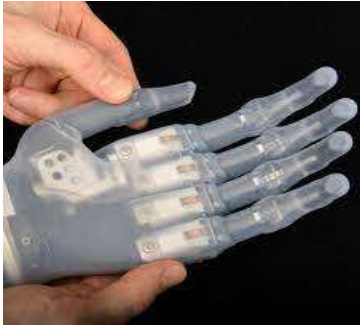
**9.Aşama** Bu aşamada Elektromiyografi (EMG) sensöründen veriler alınacaktır. Kullanacağımız EMG sensörü Myo Armband şekil 15’de gösterilmektedir. EMG, kaslar tarafından üretilen elektriksel aktivite değişimlerinin deri üzerinden okunmasına dayalı bir medikal görüntüleme tekniğidir. Elektrotlar ve iletken bir ortam yardımıyla deri yüzeyinden toplanıp kaydedilen elektriksel akım değişimleri EMG kayıtları olarak tanımlanır. Myo Armband, taşınabilir, 8 elektrotlu, pille çalışan, sinyalleri bluetooth haberleşme yöntemi ile bilgisayara aktaran, ucuz, tüketici seviyesinde bir EMG cihazıdır.



Şekil 15: Myo Armband

**10.Aşama** EMG üzerinden aldığımız verileri sınıflandırarak biyonik el hareket fonksiyon atamaları yapılacaktır.

**11.Aşama** Biyonik Elin hem EEG hem de EMG fonksiyonları ile hibrit çalışma deneyleri yapılacaktır. Deneyler sonucunda çıkan sorunlar çözüm üretilecek ve geliştirilecektir.



Şekil 16: Örnek Kılıf

**12. Aşama** Projemiz hem fizyolojik hem de psikolojik açıdan görsel konforda uygun seviyeye ulaşmayı hedeflemiştir. Bu yüzden fizyolojik ve psikolojik açıdan görsel konfor için çalışmalara başlanacaktır. Bu doğrultuda ilk adım görsel güzellik, esnetik görünüş çünkü insan psikolojisini, özgüven duygusunu ve sosyalleşme alanında çok fazla etkisi bulunmaktadır. Bunlara hitaben esnetik görünüş veren bir kılıf yapılacaktır. Kılıf yapılıken döküm yöntemi kullanılarak yapılacaktır. Döküm yöntemi için kalıp 3d yazıcıdan imal edilecektir. Örnek kılıf şekil 16'da gösterilmektedir.

**13. Aşama** Proje üzerinde deneyler yapılacaktır. Hibrit bir şekilde açma-kapama ve kavrama hareketlerin testleri yapılacaktır. Test sonuç çıkan veya çıkabilecek sorunlar teşhis edilerek çözümler üretilecektir.

## 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Projenin dış ve iç tasarımı araştırmalarımız sonucunda tamamen özgün bir şekilde tasarlanmıştır. Çözüm başlığı altında ifade edildiği gibi birçok şirket hareket kontrolü olarak kas sistemini (EMG) tercih etmektedir Buna karşılık olarak artık beyin dalgaları (EEG) ile kontrol yöntemi daha çok tercih edilmeli. Bizler de beyin dalgaları ile kontrol yöntemini kullanarak bir biyonik el yapılacaktır. I-Limb ve Bebionic şirketlerinin mekanik tasarımlarında, parmak yapıları üç eklemlili ve sürücü kartları ise gövde içerisindedir aynı zamanda EMG kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Sistemlerin çalışma mekanizmasında DC motorları kullanılmaktadır. Takım tarafından üretilmesi hedeflenen Biyonik kolda ise parmak yapıları iki eklemlili ve Sistem Kontrol Kartı ise alt kol kısmına gömülü şekilde ve motorlar ise avuç içinde olup çeşitinde ise Enkoderli DC Motorlar kullanılması hedeflenmektedir. Kullanılan bu motorlar sayesinde güç, tork ve pozisyon kontrolü yapılabilmektedir. Beyinden ve kaslardan alacağımız veriler ile ve motorların sistemin kontrolünü sağlayacak olan Sistem Kontrol Kartı proje takımı tarafından üretilecektir. Sistem kontrol kartında kullanılacak akım sensörleri parmak uçlarına herhangi bir sensör bağlamadan parmak basıncı kontrol edilebilecektir. Yani bir yumurtayı veya karton bardağı ezmeden/kıramadan tutabilecektir. Protez kolun sahip olduğu parmaklarda da özgün bir sistem kullanılmıştır.

Geliştirilecek olan biyonik elin diğer projelerden ayıran en büyük özelliği beyin sinyalleri ile kontrol, hassas kavrama, yenilikçi ve özgün bir tasarım olmasıdır. Bununla birlikte, tasarım yanında işlevselliğe de önem verilmiştir. Bu doğrultuda herhangi bir kazadan veya doğuştan uzvunu kaybeden bir insan ihtiyaçlarını karşılaması için uzvunun eksikliğini hissettirmeyecek bir biyonik robot el tasarımı yapılacaktır. Tasarımda günlük hayatta ihtiyaç duyulacak ve yapılacak işlemlere herhangi bir engel olmayacak kullanılabilirlik hedeflenmektedir. Bu projede geliştirilecek Biyonik Elin en büyük özelliği beyin sinyalleri ile kontrol edilmesi, jel ile kafa derisine bağlı elektrotlardan gelen elektriksel aktiviteyi analiz ettikten ve işledikten sonra sınıflandırarak makine öğrenmesi yöntemi ile robot elin kontrol edilebilir olmasıdır. Aynı zamanda koldaki Kas Değişimlerine göre de kontrol edilerek hibrit bir sistem oluşturulması öngörülmektedir. Bunun için, bireyin koluna yerleştirilen elektrotlar sayesinde koldaki kas değişim hareketleri algılanacak ve robot elin kontrolü sağlanacaktır.

Yapılan literatür araştırılması sonucunda beyin sinyalleri ile kontrolün nadir kullanılan ve aynı zaman uzun süre arge geliştirme çalışmaları gerektiren bir yöntem olduğu görülmektedir. Bu yöntemi kullanarak geleceğe yön verilebilir.

## 6. Uygulanabilirlik

Tasarımın üretim aşamasına gelmeden olabilecek en iyi hale gelmesi için çeşitli analitik hesaplar ve sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Burada bir takım kabuller yapılmak zorunda kalınmış olursa da, EEG veri analizi, sinyal işleme, makime öğrenmesi, malzemelerin dayanımı, sistemin hafifliği gibi bir takım özellikler bu çalışmalar ile teyit edilmiştir. Biyonik kolun yapması hedeflenen el konfigürasyonları el cerrahisinde kullanılan Sollerman El Fonksiyon Testi ile belirlenmiş olan gündelik hayatta en çok kullanılan 8 el hareketidir. Bu hareketler iki parmak tutuşu, anahtar tutuşu, tripod tutuşu, beş parmak tutuşu, diyagonal kavrama, silindirik kavrama, küresel kavrama ve geniş kavramadır [46]. Bu hareketlerin yapılabilmesi için parmaklarda oluşturulması gereken bükülme açısı ve bunun için gerekli motor açıları analitik olarak hesaplanmıştır. Ayrıca parmak basınçları incelenmiş ve riskli basınçlar oluşmadığı saptanmıştır.

Projenin hedef kitlesi bölümünde bahsedildiği üzere dünyada ve Türkiye'de ortopedi alanında birçok insanın mağdur olduğu görülmektedir. Bu proje, bahsedilen sorunun çözülmesi ve maliyetinin diğer şirketlerin tasarladıkları biyonik kollardan daha az olması sebebiyle sektörde tercih edileceği düşünülmektedir. Projenin Ar-Ge çalışmaları, seri üretim

yapılabilecek ticari ve yerli bir prototip olacaktır. Biyonik kolun insan ile birleştiği kısmın yani soket bölgesinin kişiden kişiye değişim gösterdiğinden dolayı bütün tasarımlar kişiye özgün yapılması gerekmektedir.

Tasarımın ticari bir ürüne dönüşmesi için tamamlanması gereken son adım bir prototip üretimi yapılması, prototipin performansını ölçecek deneylerin tamamlanması ve sonrasında Biyonik kolun gönüllü bir ampute birey ile denenmesidir. Bu çalışmalar sırasında kullanıcının ilgili beyin ve kas gruplarına yerleştirilecek sensörlerin konumlarının optimize edilmesi ve şu anda yetişkin bir kadın birey için tasarlanan protezin boyutlarının ayarlanması gerekecektir. Biyonik kol, parçalarının üretimi kolay, hızlı ve ekonomik olacak şekilde tasarlanmıştır. Özellikle her kullanıcının ampute olmayan elinin boyutlarına göre ayarlanması gereken soket, el iskeleti ve yumuşak aktüatörler 3-Boyutlu yazıcıdan basılacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede prototipin üretimi kolaylıkla seri bir hale getirilebilecektir.

## 7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

### 7.1. Tahmini Maliyet

Tüketime Yönelik mal ve malzeme alımları	Adet	Fiyat
Emotiv epoc + 14 kanallı mobil beyin sinyal sensörü	1	12.000 ₺
Esun filament pla+ 1.75 mm	9	2.000 ₺
Myo gesture control armband	1	5.000 ₺
Pololu 298:1 hp mikro motor	7	1.820 ₺
Atmega 2560 mikroişlemci	3	600 ₺
Atmega 328p mikroişlemci	2	160 ₺
Ch340g usb/ttl uart chip	5	115 ₺
Mg996r servo motor	2	120 ₺
Sintaş polyester macun	1	120 ₺
Su Zımparası 60/100/120/150/180/220 Kum	6	30 ₺
Polisan Akrilik Sprey Boya Parlak Siyah	1	80 ₺
Polisan Akrilik Sprey Boya Parlak Kırmızı	1	80 ₺
Polisan Akrilik Sprey Boya Parlak Gri	1	80 ₺
Polisan Akrilik Sprey Boya Parlak Beyaz	1	80 ₺
Polisan Akrilik Sprey Parlak Vernik	1	80 ₺
Mikro Metal Motorlar için 12 CPR Manyetik Enkoder	7	1.050 ₺
Emotiv BCI-OSC Software	1	1.400 ₺
Li-ion pil 18650 3200mah	8	880 ₺
605 ZZ minyatür rulman	24	480 ₺
3mm mil	1	30 ₺
2mm mil	1	30 ₺
PCB kart üretimi (PCBWAY, JLCPCB)	1	680 ₺
RTV2 kalıp silikonu	1	250 ₺
Kablo 0,75mm	1	15 ₺
Elektronik Sarf Malzemeleri ( Transistör, Triyak, Direnç vb.)	1	200 ₺
6 mm Çelik Bilya 100'lü	1	50 ₺
JX PDI-HV2060MG 60 KG Yüksek Tork Servo Motor	4	3.100 ₺
<b>TOPLAM</b>		<b>30.530 ₺</b>

## 7.2. Proje Zaman Çizelgesi

İP No	İş Paketlerinin Adı ve Hedefleri	Zaman Aralığı (0-5 Ay)
1	Mekanik 1- gerçek boyutlarda işaret parmağın CAD (bilgisayar destekli çizim) çizimi yapılarak 3d yazıcıdan basılacaktır.	0-1 Ay
2	Mekanik 2- çıktı alınan işaret parmağı için kullanılacak olan motorun montajı yapılarak yüksek hassasiyet ile parmağın açma kapama yapılması.	0-1 Ay
3	Mekanik 3- 1 ve 2. adımları aynı şekilde diğer tüm parmaklara uygulanacaktır. Ayrıca parmak uçlarından avuç içine kadar tasarım, üretim ve motor montajı bitmiş olacaktır.	0-1 Ay
4	Mekanik 4- bilek hareketi için kullanılacak yöntem seçilecektir ve CAD çizimi yapılarak 3 boyutlu yazıcıdan çıktı alınacaktır.	0-1 Ay
5	Mekanik 5- ön kol tasarımı yapılacaktır. 3d yazıcıdan üretilecektir.	1-2 Ay
6	Mekanik 6- dirsek hareketi için kullanılacak yöntem seçilecektir ve CAD çizimi yapılarak 3 boyutlu yazıcıdan çıktı alınacaktır.	1-2 Ay
7	Mekanik 7- pazı bölgesi için tasarım oluşturulacaktır. 3 boyutlu yazıcıdan basılacaktır.	1-2 Ay
8	Mekanik 8- omuz Bölgesi tasarım ve üretilecektir.	1-2 Ay
9	Elektronik 1- biyonic eldeki tüm bölgelerin motorları bilgisayar üzerinden kontrol edebileceğimiz manuel demo sistemi devre tahtasına kurulacaktır.	2-3 Ay
10	Mekanik 9- demo manuel sistem ile test edilecektir. Mekanik mekanizmanın daha iyi konuma getirilebilmesi için çalışma yapılacaktır.	2-3 Ay
11	Yazılım 1- epoc+ cihazı bluetooth üzerinden bilgisayara bağlayarak ham EEG verilerini alınacaktır.	2-3 Ay
12	Yazılım 2- alınan Ham EEG analizlerini ve kombinasyonlarını yapılacak tek veya birkaç fonksiyonlu demo sistem kurulacaktır.	2-3 Ay
13	Yazılım 3- myo armband cihazı bilgisayara bağlayarak koldaki kas hareket verilerini bilgisayarda görmek.	3-4 Ay
14	Yazılım 4- alınan koldaki kas hareketlerini analizlerini ve kombinasyonlarını yaparak tek veya birkaç fonksiyonlu demo sistem kurulacaktır.	3-4 Ay
15	Elektronik 1- epoc+ cihazı ile myo armband cihazının hibrit bir sistem ile kontrol edeceğimiz robot el için PCB tasarım yapılacaktır.	3-4 Ay
16	Elektronik 2- hibrit sistemin yazılımını yükleyerek kartın testi yapılarak sorunlar tespit edilecek ve sonrasında sorunlar giderilecektir.	3-4 Ay
17	Test 1- tüm sistemler tamamlanarak mekanik, yazılım ve elektronik bileşenlerin testi yapılacaktır. Sorunlar tespit edilecek ve sonrasında sorunlar giderilecektir.	4-5 Ay
18	Test 2- kendi üzerimizden veriler alınarak kalibrasyon yapılacaktır.	4-5 Ay
19	Ar-ge dönemine Giriş – Projede yapılabilecek geliştirmeler ve güncellemeler yapılacaktır.	4-5 Ay
20	Test 3- son testler yapılacaktır.	4-5 Ay

## 8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

2008'de açıklanan ampütasyon istatistiklerine göre dünyada 10 milyon ampute birey bulunmaktadır. Bunların %30'u kol ampütasyonlarıdır. Dirsek altı ampütasyon ise %59 ile en çok görülen kol ampütasyonu tipidir. Ampute bireylerin yaklaşık %30'u bu durumdan ötürü aynı zamanda depresyon ve anksiyete ile mücadele etmektedir. Bu sayıların gün geçtikçe arttığı düşünülürse ampute bireylerin topluma kazandırılması hem mühendislik hem de sosyal açıdan ciddi sorumluluklar içermektedir.

Dünya'da 1 milyardan fazla insanın (dünya nüfusunun yaklaşık %15'i) herhangi bir engellilikle yaşadığı tahmin edilmektedir [47]. Ülkemizde ise Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2021 yılı Şubat ayında yayınladığı bültene göre Ulusal Engelli Veri Sisteminde kayıtlı ve hayatta olan engelli kişi sayısı 2.511.950 olup engelli nüfusun toplam nüfusa oranı %3'tür. Yine aynı bültene göre ülkemizde yaşayan engellilerin %13,78'ini ortopedik engelliler oluşturmaktadır [48]. Protez kolun, bireylerin engel durumuna göre ne kadar uzunlukta olacağı kişiye özgü tasarıma sahip olduğundan bu tarz bir protez kola ihtiyaç duyan tüm ampute kişiler tarafından kullanılabilmesi hedeflenmektedir. Gelecek yıllarda sağlıklı bir insan koluna göre daha avantajlı özelliklere sahip olmasıyla daha fazla insan tarafından tercih edileceği öngörülmektedir.

Herhangi bir sebeple dirsek altından el uzvunu kaybetmiş ve fonksiyonel protezlere maddi sebepler sonucu erişimi olmayan ampute bireylerdir. Çalışmanın destek görmesi halinde yapılacak olan geliştirmeler ile benzer Nöroprotez teknoloji farklı tip protezlere de uygulanabilir. Bu sayede projenin daha fazla ampute bireye fayda sağlayabilmesi amaçlanmaktadır.

## 9. Riskler

Olasılık	Etki				
	1:Çok Hafif	2:Hafif	3:Orta	4:Ciddi	5:Çok Ciddi
1:Mümkün Değil	1	2	3	4	5
2:Az Olasılık	2	4	6	8	10
3:Olasılık Dahilinde	3	6	9	12	15
4:Yüksek Olasılık	4	8	12	16	20
5:Kaçınılmaz	5	10	15	20	25

Tablo 1:Etki ve Olasılık Matrisi

Risk	Olasılık	Etki	Puan	Sınıf	Tedbir (B Planı)
Biyonik Elin Ağır Gelmesi	3	4	12	Yüksek Derecede Önemli	Donanımda ki bazı parçaları biyonik elin içerisinden çıkarıp ufak bir bel çantası yapılacaktır
Biyonik elde kullanılacak olan bazı parçaların piyasada satışı çok fazla bulunmadığından tedarik etme kısmında ürüne ulaşamaması	3	6	18	Yüksek Derecede Önemli	Bu parçalar muadili ile değişiklik yapılarak temin edilecektir.
3 Boyutlu Yazıcının Arızalanması	2	2	4	Düşük Derecede Önemli	Takım üyeleri tarafından 3 boyutlu yazıcı onarabilir, eğer onarılamayacak durumun da ise yedek 3 boyutlu yazıcı ile devam edilebilir.
Geleceğin etkisiyle sürekli çıkan teknolojik gelişmelerden geri kalma riski	4	15	60	Yüksek Derecede Önemli	Geleceğin etkisiyle sürekli çıkan teknolojik gelişmelerden geri kalma riskine karşı önlem olarak ise projemiz açık kaynaklı ve geliştirilebilir durumda yani sürekli güncelleme yapılmasıdır.
Elektronik PCB (Baskı Devre Kartı) kartların yanması, arızalanması veya hasar görmesi.	3	7	21	Orta Derecede Önemli	Elektronik PCB (Baskı Devre Kartı) kartların fiziksel hasara, kısa devre, yüksek akıma karşı korumalı tasarlandı ve aynı zamanda kolay sök-tak özelliği ile yedekleri ile kolayca değiştirilebilecektir.

Tablo 2: Risk Tablosu

## 10. Kaynaklar

[1] : [www.ossur.com](http://www.ossur.com)

[2] : Feix, T.; Romero, J.; Ek, C.H.; Schmiedmayer, H.B.; Kragic, D.A. Metric for Comparing the Anthropomorphic Motion Capability of Artificial Hands. *Robotics. IEEE Trans. Robot.* 2013, 29, 82–93. [CrossRef]

[3] : . Connolly, C. Prosthetic hands from Touch Bionics. *Ind. Robot. Int. J.* 2018, 35, 290–293.

[4] : Medynski, C.; Rattray, B. Bebionic prosthetic design. In *Proceedings of the MyoElectric Controls/Powered Prosthetics Symposium (MEC)*, Fredericton, NB, Canada, 14–19 August 2001; pp. 1–4.

[5] : <https://www.ottobock.com/prosthetics/upper-limb-prosthetics/solution-overview/myoelectric-devicesspeedhands/>

[6] : VINCENT Hand. Weingarten (Germany): Vin-Cent Systems. 2013.

[7] : Cengiz T, Muhammed E. ve İlyas E. Myo Bileklik ile Gerçek Zamanlı Protez Kol Kontrolü Ağustos 2020

[8] : Beyda T, Turgay K. ve Arif G. Control of Robotic Hand Simulator via Human Hand Motion Analysis Based on EMG

[9] : C. M. Lighty, P. H. Chappell\*y, B. Hudginsz and K. Engelhartz Intelligent multifunction myoelectric control of hand prostheses

[10] : Muhammet A. ve Enes Ç. Büyük Veri Analizinde Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi Uygulamaları, Aralık 2017

[11] : ] Biyonik el uygulaması bitirme projesi Mücahit Taşgıran, Özlem Çorumlu Hakan Maden Yakın Doğu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Lefkoşa 2016

[12] : Edin, B. B., Ascari, L., Beccai, L., Roccella, S., Cabibihan, J. J. and Carrozza, M. C. “Bio-inspired Sensorization of a Biomechatronic Robot Hand for the Grasp-and-lift Task,” *Brain Research Bulletin*, 75(6): 785- 795, 2008.

[13] : K. Talbot, “Using Arduino to Design a Myoelectric Prosthetic”, M.S. Thesis, Department of Physics, College of Saint Benedict, Saint John's University, 2014.

[14] : Karaçizmeli, C., Çakır G. and Tükel, D., “Robotic Hand Project”, 2014 IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference, 2014, pp. 473-476.

[15] : <http://www.ottobock.com.tr/en/prosthetics/upper-limb/>

[16] : <http://www.touchbionics.com/>

[17] : [http://www.dekaresearch.com/deka\\_arm.shtml](http://www.dekaresearch.com/deka_arm.shtml)

[18] : <http://bebionic.com/>

[19] : Edwards, J., “Signal Processing in Next-Generation Prosthetics”, *IEEE Signal Processing Magazine*, 32(1): 5-9, 2015.

[20] : Kenan Erin ve Barış Boru EMG ve jiroskop verileri ile endüstriyel robot kolunun gerçek zamanlı kontrolü, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2), 509~515, 2018

[21] : Taşdemirci, Ç. ve Kişioğlu Y., “Ön Kol Kaslarında Kavrama Esnasında Oluşan Kuvvetin EMG Sinyalleri ile Belirlenmesi ve Analizi”, *DÜBTED*, 5(2):455-465, 2017.

[22] : Kenan ERİN ve Barış Boru EMG Tabanlı İnsan Robot Etkileşimi, Kasım 2020

[23] : Schwartz AB, Cui XT, Weber DJ, Moran DW. Brain-Controlled Interfaces: Movement Restoration with Neural Prosthetics. *Neuron*, vol. 52; 2006. p. 205–220.

[24] : Rebsamen B, Guan C, Zhang H, Wang C, Teo C, Ang MH, Burdet E. A Brain Controlled Wheelchair to Navigate in Familiar Environments. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 18(6); 2010. p. 590–598.

[25] : Wang Y, Hong B, Gao X, Gao S. Implementation of a Brain-Computer Interface Based on Three States of Motor Imagery. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology – Proceedings*; 2007. p. 5059–5062

[26] : Bryan M, Green J, Chung M, Chang L, Scherer R, Smith J, Rao RPN. An Adaptive Brain-Computer Interface for Humanoid Robot Control. 2011 11th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots; 2011. p. 199–204.

[27] : Bento V, Paula L, Ferreira A, Figueiredo N, Tomé A, Silva F, Cunha JP, Geogieva P. Advances in EEG-based Brain-Computer Interfaces for Control and Biometry

[28] : Menendez RG de P, Noirhomme Q, Cincotti F, Mattia D, Aloise F, Andin SG. Modern Electrophysiological Methods for Brain-Computer Interfaces. *Computational Intelligence and Neuroscience*, Vol 2007, Article ID 56986.

[29] : Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, Pfurtscheller G, Vaughan TM. Brain-Computer Interfaces for Communication and Control. *Clinical Neurophysiology*, vol. 113; 2002. p. 767-791.

[30] : Anupama HS, Cauvery NK, Lingaraju GM. Brain Computer Interface and Its Types - A Study. *International*

Journal of Advances in Engineering & Technology, vol. 3(2); 2012. p. 739-745.

[31] : Cincotti F, Mattia D, Aloise F, Bufalari S, Schalk G, Oriolo G, et al. Non-invasive brain-computer interface system: Towards its application as assistive technology. *Brain Res Bull* 2008;75:796–803.

doi:10.1016/j.brainresbull.2008.01.007.

[32] : Pires G, Nunes U, Castelo-Branco M. Comparison of a rowcolumn speller vs. a novel lateral singlecharacter speller: 580 Assessment of BCI for severe motor disabled patients. *Clin Neurophysiol* 2012;123:1168–81.

doi:10.1016/j.clinph.2011.10.040.

[33] : Pires G, Nunes U, Castelo-Branco M. Statistical spatial filtering for a P300-based BCI: Tests in ablebodied, and patients with cerebral palsy and amyotrophic lateral sclerosis. *J Neurosci Methods* 2011;195:270–81.

doi:10.1016/j.jneumeth.2010.11.016.

[34] : Millan J d. R, Galan F, Vanhooydonck D, Lew E, Philips J, Nuttin M. Asynchronous non-invasive brain-actuated control of an intelligent wheelchair. 2009 Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., IEEE; 2009, p. 3361–4. doi:10.1109/IEMBS.2009.5332828

doi:10.1109/IEMBS.2009.5332828

[35] : Lopes AC, Pires G, Vaz L, Nunes U. Wheelchair navigation assisted by human-machine sharedcontrol and a P300-based Brain Computer Interface. 2011 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst., IEEE; 2011, p. 2438–44.

doi:10.1109/IROS.2011.6048355.

[36] : Pires G, Castelo-Branco M, Nunes U. Visual P300-based BCI to steer a wheelchair: A Bayesian approach. 2008 30th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., IEEE; 2008, p. 658–61. doi:10.1109/IEMBS.2008.4649238.

[37] : Pires G, Torres M, Casaleiro N, Nunes U, Castelo-Branco M. Playing Tetris with non-invasive BCI. 2011 IEEE 1st Int. Conf. Serious Games Appl. Heal., IEEE; 2011, p. 1–6. doi:10.1109/SeGAH.2011.6165454.

[38] : Wang Q, Sourina O, Nguyen MK. EEG-Based “Serious” Games Design for Medical Applications. 2010 Int. Conf. Cyberworlds, IEEE; 2010, p. 270–6. doi:10.1109/CW.2010.56.

[39] : Holz EM, Höhne J, Staiger-Sälzer P, Tangermann M, Kübler A. Brain-computer interface controlled gaming: Evaluation of usability by severely motor restricted end-users. *Artif Intell Med* 2013;59:111–20.

doi:10.1016/j.artmed.2013.08.001.

[40] : Soman S, Murthy BK. Using Brain Computer Interface for Synthesized Speech Communication for the Physically Disabled. *Procedia Comput Sci* 2015; 46:292–8. doi:10.1016/j.procs.2015.02.023

[41] : Al-Hudhud G. Affective command-based control system integrating brain signals in commands control systems. *Comput Human Behav* 2014; 30:535–41. doi:10.1016/j.chb.2013.06.038.

[42] : Fakhruzzaman MN, Riksakomara E, Suryotrisongko H. EEG Wave Identification in Human Brain with Emotiv EPOC for Motor Imagery. *Procedia Comput Sci* 2015; 72:269–76. doi:10.1016/j.procs.2015.12.140.

[43] : McMahan T, Parberry I, Parsons TD. Modality specific assessment of video game player’s experience using the Emotiv. *Entertain Comput* 2015;7:1–6. doi:10.1016/j.entcom.2015.03.001.

[44] : Mondéjar T, Hervás R, Johnson E, Gutierrez C, Latorre JM. Correlation between videogame mechanics and executive functions through EEG analysis. *J Biomed Inform* 2016;63:131–40. doi:10.1016/j.jbi.2016.08.006.

[45] : Mohamad Amlie Abu Kasima , Cheng Yee Lowb \*, Muhammad Azmi Ayuba , Noor Ayuni Che Zakariaa , Muhammad Haszerul Mohd Salleha , Khairunnisa Johara , Hizzul Hamlia User-Friendly LabVIEW GUI for Prosthetic Hand Control using Emotiv EEG Headset 2016 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, IRIS 2016, 17-20 December 2016, Tokyo, Japan

[46] : Sollerman, C., & Ejeskär, A., 1995: Sollerman hand function test: a standardised method and its use in tetraplegic patients. *Scandinavian journal of plastic and reconstructive surgery and hand surgery*, 29 (2), 167-176.

[47] : T.C. Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı ve Dünya Sağlık Örgütü, (Kahane T. Ve Ross-Larson B.), Dünya Engellilik Raporu, Anıl Group Matbaa, Ankara, 2011.

[48] : T.C. Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü ve TÜİK, Engelli ve Yaşlı İstatistik Bülteni, Şubat 2021, s. 3-4.