

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

ENGELSİZ YAŞAM TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI PROJE DETAY RAPORU

PROJE ADI: Dirsekten Eklemeli Biyonik kol

TAKIM ADI: ITU BIOBEE

Başvuru ID: 418201

TAKIM SEVİYESİ: Üniversite-Mezun

İçindekiler

İçindekiler.....	2
1. Proje Özeti (Proje Tanımı).....	3
1.1. Mekanik.....	3
1.2. Donanım.....	4
1.2.1. Genel Kontrol Bileşenleri.....	4
1.2.2. Motor Sistemleri Kontrolü ve Kullanımı.....	4
1.2.3. Güç.....	4
1.2.4. Yazılım.....	5
2. Problem Durumunun Tanımlanması.....	5
3. Çözüm.....	5
4. Yöntem.....	6
4.1. Mekanik.....	6
4.2. Donanım.....	6
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü.....	8
5.1. Mekanik.....	8
5.2. İmplant.....	8
6. Uygulanabilirlik.....	
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması.....	9
7.1. Malzeme ve Maliyet Tablosu.....	9
7.2. Proje Zaman Tablosu.....	10
8. Proje Fikrinin Hedef Kitlesi.....	12
9. Riskler.....	12
10. Kaynakça.....	13

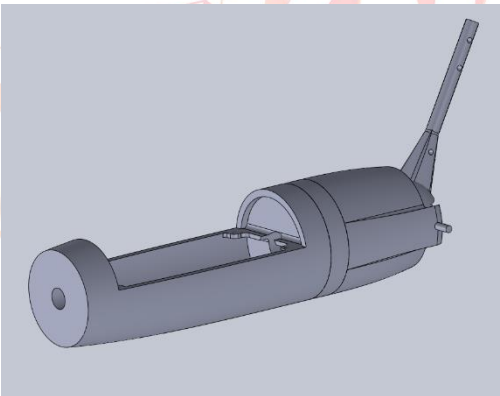
1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Teknolojinin ilerlemesi sağlık alanında da insan hayatının kurtarılması ve yaşam kalitesinin yükseltilmesinde farklı çözüm yollarının ortaya çıkmasını sağlamış ve birçok hastalığın tedavisinde kolaylığı beraberinde getirmiştir. Projede insan vücuduna implantasyonu yapılan, hareket girdilerini EMG'ler ile çevresel sinir sisteminden alınan yanarda kinezyoloji ve malzeme açılarından da insan vücuduna uyumlu bir biyonik kol tasarlamak ve üretmektir.

1.1 Mekanik

Projede takımımızın mekanik ekibi kol tasarımında kinezyolojik ve görsel olarak insan vücuduna benzerliği ön planda tutmuş ve hareket mekanizmalarını da bu ilkeye göre tasarlamıştır. Tasarımda öncelik parmaklara verilmiş ve bu hareket mekanizmasında düşük maliyet ve kütlelerinden dolayı servo motorlar seçilmiştir. Kolun bileğe yakın tarafında bulunan servo motorların ürettiği güç, elin ve parmakların içerisindeki kılavuzlar sayesinde kablolarla parmağın ucuna iletilecek, bu şekilde parmağın kavrama görevini yerine getirmesi tasarlanmıştır. Bunun yanı sıra avuç içinde bulunan servo motorlar aracılığıyla parmakların avuç içine dik eksende dönüşleri sağlanması tasarlanmıştır.

İnsan kolunun ve elinin hareketinin büyük oranda gerçekleşmesini sağlayan bilek kısmı, protez kolların da kilit noktası olmaktadır. Üç eksende müsaade ettiği hareketi ve elimizle kaldırdığımız-taşıdığımız yüklerin oluşturduğu momentin büyük bir kısmını üstlenmesi ile bilek kısmının tasarımı ve üretimi, protez kolun



Şekil 1: Biyonik kolun gövde ve implant bölümlerinin montaj durumu

kullanılabilirliği açısından son derece önemlidir. Bileğin izin verdiği hareketi protezde tanımlamak ve günlük yaşamında bir bireyin taşıdığı yükleri taşıyabilmesi adına tasarlanan kolun bileğinde eksenleri birbirine dik iki silindirden oluşan bir mekanizma kullanıldı. Bu silindirlerin içine yerleştirilen birer adet servo motor ile bireyin günlük yaşamına sorunsuz devam edebileceği bir tasarım yapıldı.

Biyonik kolun önkol bölümü 2 parçadan oluşmaktadır. Bu iki parça kolun kendi merkezinden geçen eksene dik eksendeki dönüşü için bir shaft ile birbirine bağlanmaktadır. Bu mile bağlanan bir servo motor ile de 2 parça arasında dönme sağlanmaktadır.

İmplant parçası humerusun boyutları ve bu alandaki başka uygulamalar göz önüne alınarak tasarlanmıştır. İmplant, humerusun kesidinin daha geniş olduğu kondil

kısımında genişlemekte kemiğin içine doğru sabit çaplı bir silindir olarak kemiğin içinde devam etmekte ve 3 tane vidayla kemiğe tutturulmaktadır.

1.2 Donanım

1.2.1 Genel Kontrol Bileşenleri

Biyonik isminden de anlaşılacağı üzere bu bir robottur. Projenin elektronik ve yazılım yönü ağır basmaktadır. Biyonik kolumuzun devresinde 4 adet Atmega 328 mikroişlemciye sahip Arduino Nano ve malzeme listesinde de belirtilecek çok sayıda servo ve dc motor kullanılacaktır. Projenin mekanik özellikleri ne kadar önemli olsa da bu proje de en kritik nokta kontrol sistemidir. Elektromiyografi (EMG) ile vücudun üst kısmının farklı noktalarından alınacak veriler aracılığıyla biyonik kol hareket kazanacaktır. Myo kol bantları kullanılarak alınacak bu veriler son derece hassas bir şekilde analog olarak ölçülecektir. Bu ölçümler hastane ortamında farklı vücut tipine ait insanlar üzerinde bir standart oluşturmak üzere denenecektir.

1.2.2 Motor Sistemleri Kontrolü ve Kullanımı

Proje kendi içerisinde mekanik olarak 4'e ayrılmıştır ; el, bilek, kol ve implant bölgesi. El içerisinde kontrol edilmesi gereken 4 adet redüktörlü micro dc motor bulunmaktadır. Bu motorlar Encoder yardımı ile kontrol edecek olup yaklaşık 30 derecelik bir açıda gidip gelmeyi sağlayacaktır. Burada bu motorların tercih edilmesinin ana sebebi boyutlardır. Boyutlarının yanında hızları da ciddi bir etmendir. Encoderler bu motorların kontrollü ve istenilen şekilde dönmelerini sağlayacaktır. Bilek ile elin birleşme noktasında da bir emax marka servo motor kullanılacaktır. Bu motor ile insan eli bir masaya konulduğunda baktığı yön x eksenini kabul edilirse, y eksenine göre hareket etmesini sağlayacaktır. Bu bilek bölgesinde bulunacak bir başka motor ise milin ucunda bulunan bir güç aktarım sistemi aracılığıyla bileğin yanal hareketini sağlamakta olup bu motorlar birer servo olup aynı arduino nano kartından aldıkları emg ölçümü sonucu ortaya çıkmış olan verilerle hareketlerini sağlayacaklardır. Parmakların hareketini de kolun içine yerleştirilmiş emax marka motorlar yapacaktır. Bu motorlar ayrı bir güç ünitesinden güç alacaktır. Dirsek bölgesinde 1230SG Monster Torque Coreless bir servo motor kullanılacak olup bu da kol parçasının dirseğe yakın olan kısmında bulunacaktır. Kolun kendi eksenini etrafındaki dönüşü ise bir redüktörlü encoderli dc motor ile sağlanacaktır. Dirsekte bulunan ve son bahsedilen motor arduino nano kartı ile bağlantı kuracaktır. Bütün Nano kartları Emg kartından analog input olarak verilerini alacaktır.

1.2.3 Güç

Projenin devresinde iki ayrı şarj edilebilen lityum pili bulunacaktır. Bu lityum pilleri devrede bulunan bazı bileşenlere doğrudan, diğer bileşenlere ise arduino nano

kartları üzerinden dağıtılacaktır. Bu batarya sistemleri ikisi birden devreye bağliken paralel bağli olacak. Bu bataryalar yüzeye gömülü olacaktır. Burada bahsi geçen batarya piyasada bulunan değil bir proje takımının geliştirmekte olduğu bir bataryadır. Bu iki bataryadan birinin şarjı bittiğinde diğer batarya devrede seri bağli bir şekilde çalışmaya devam edecektir. Eğer bu batarya çalışma takvimine yetişmezse alternatif bir lityum pili belirlenecektir.

1.2.4 Yazılım

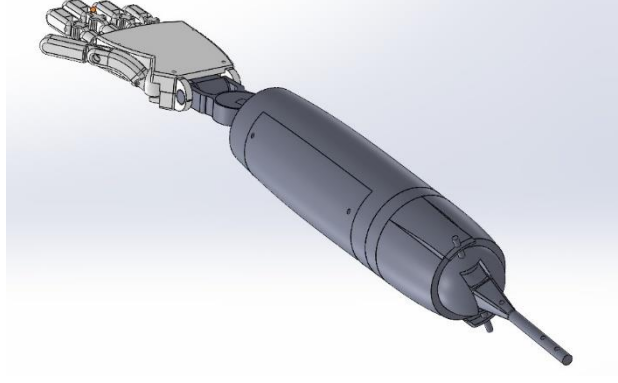
Projede arduino kartları ve atmel marka atmega 328 kullanılacak olduğundan dolayı en uygun programlama dilinin c olacağına karar verilmiştir. Kartlar ayrı ayrı programlanacak olup emg kartından kendine gelen verilere göre çalışacaktır. Atmel Studio derleyicisi kullanılarak mikroişlemciye program aktarılacaktır.

2. Problem Durumunun Tanımlanması

Ampütasyon, insanlık tarihinin başından beri çözüm üretilen rahatsızlıkların başında gelmektedir. Bu alanda, çok fazla çalışmanın gerçekleştirilmesi bu tedavilerin belirli bir seviyeye kadar optimize edilmesine ve bu konuda çok fazla veri elde edilmesine karşın istenen seviyede atılımlar henüz elde edilememiştir. Ampütasyon tedavisinde en çok kullanılan 2 tedavi uzvun re-implantasyonu veya protez uygulamalarıdır. Re-implantasyon ile tedavi edilen hastalarda her zaman memnuniyet sağlanamamaktadır (Tamai, 1982). Protez uygulamalarında gerek tasarlanan protezin konforu gerekse hareket uyumu problemlere yol açmaktadır (Graham, 1998).

3. Çözüm

Bahsedilen problemlere çözüm olarak vücutla birleşik ve sistem girdilerini EMG elektrotları vasıtasıyla çevresel sinir sisteminden temin eden bir biyonik kol seçilmiştir. Bunun yanında bireyin memnuniyetini etkileyen diğer problemler ise bahsedildiği gibi kütle, kolun dinamik uyumu ve kolun statik uyumudur. Kütle problemi hafif motor seçimleri ve mekanizmanın basitleştirilmesiyle elde edilmiş, dinamik uyumluluk insan kolunun dinamik analizleri doğrultusunda bir tasarımla giderilmiş, statik uyumluluksa biyonik kolun humerusa yapılan bir implant yoluya bağlanması ile çözülmüştür. Bu implantta kemiğin yapısına zarar vermemek ve mukavemet açısından kemiğe minimum zarar verecek bir yöntem seçilmiştir (Füchtmeier, 2007). Bu implant kemiğin kesidinin ortasından geçen bir şafta stratejik yerlerden kemiğe vidalanmasıyla oluşturulmaktadır. Biyonik kolun kendi malzemesi içinse hem düşük maliyet ve yoğunluğu hem de yeterli mukavim özelliklere ve imalat kolaylığına sahip olmasından dolayı Polilaktik Asit (PLA) seçilmiştir (Van de Velde, 2002).



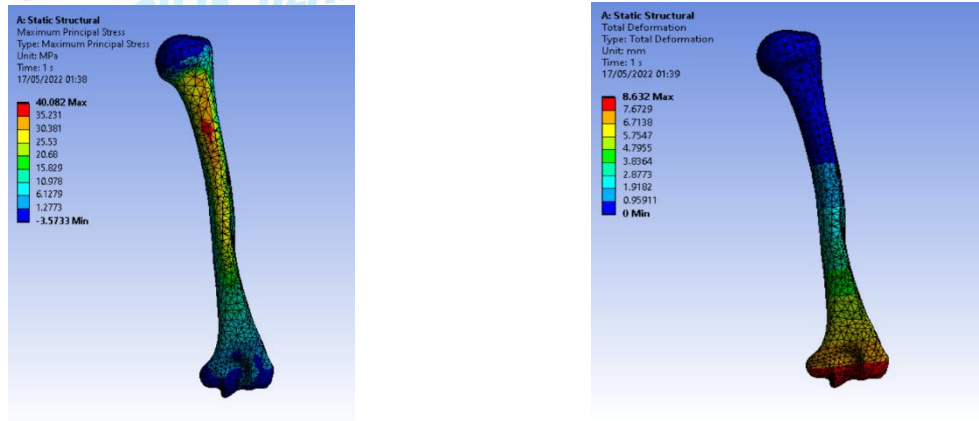
Şekil 2 Biyonik Kol Projesinin Halihazırdaki Montajı

4. Yöntem

4.1 Mekanik

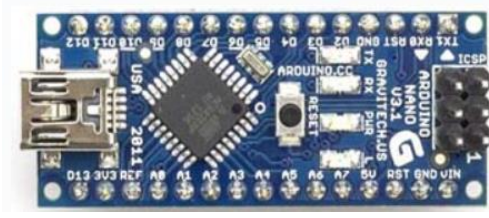
Projede biyonik kolun tasarımında dinamik ve statik gerilme analizleriyle insan koluna işlevsel yönden olabildiğince benzer ve günlük kullanıma uygun olmasına dikkat edilmesinin yanında boyut ve ağırlık olarak da bireyin memnuniyeti ön planda tutulmuş, vücuda implantlı olmasından dolayı uzun süreli kullanıma müsait bir tasarım yapılmıştır.

Mukavemet özelliklerince uygun bir tasarım yapmak amacıyla öncelik insan kolunun günlük hayatta taşıdığı ağırlıkları taşıyabilecek ve uygun büyüklükte bir emniyet katsayısı seçilerek tasarlamak için analiz programları kullanılmış ve bu programların çıktıları doğrultusunda tasarımın geometrisi belirlenmiştir. Bu analizlerde ve hesaplarda biyonik kolda oluşabilecek basma, burkulma, burulma ve eğilme durumları göz önüne alınmıştır. Bu analizlerde humerusun taşıyabileceği yüklere de dikkat edilerek de bahsedilen implant tasarımına gidilmiş ve böylece uzun vadede kemiğe zarar verilmesinin önüne geçilmiştir (Rahmoun, 2020). Bunun yanında implant malzemesi üzerinde oluşabilecek yüklerin ön görülmesi için humerusun analizi çıkartılmıştır.



Şekil 3: Humerus Kemiğinin (a) Yatay b (b) Dikey

4.2 Donanım



Şekil 4: Arduino Nano

Sistem donanımı elektrik gücü, voltajı veya kısmının hesapları hali hazırda yapıyor haldedir. Sistemin ana kontrol mekanizması 4 adet arduino nano kart tarafından üstlenecektir. Bu kart usb girişine sahip bir karttır ve bu şekilde programlanacaktır. Kart üzerinde bulunan 5v 3.3v enerji giriş pinleri de bazı bileşenlerin güç almasını sağlayacaktır. Proje özeti kısmında hangi

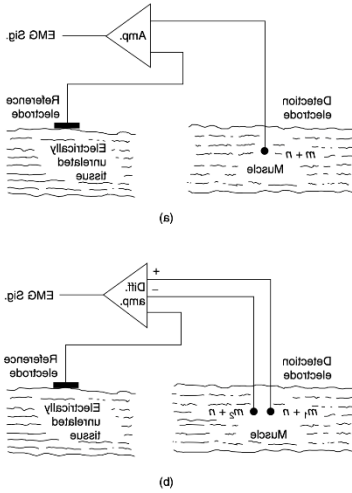
Şekil 2 Humerusun basma (a) ve eğilme zorlamaları altındaki analizleri

kartın hangi motor ve bileşenlerle bağlantı kuracağı bahsedilmiş olup bu bağlantıların hepsi lehim kullanılarak bağlanacaktır. Bu biyonik kol sisteminde su geçirmeme özelliği önemli yer kaplamakta olup kullanılan emax marka motorlar buna önlem alınarak su geçirmez özellikte tercih edilmiştir. Bunun haricinde lehim yapıldıktan sonra lehim malzemesinin korozyona uğramaması ayrı bir önem arz etmektedir. Bu konuda UANME 10cc UV İyileştirilebilir siyah lehim maskesi belirli yerlerin korunmasında kullanılacaktır. Bunun haricinde devrelerde bazı koruyucu spreylere de koruma sağlayacaktır.

Projenin el kısmında 4 adet redüktörlü micro dc motor bulunmakta bu motorlar 2 adet encoder aracılığıyla desteklenmektedir. Bu motorlar ve encoderler el ayasına yerleştirecek bir arduino nano ile bağlantı kuracaktır. Burada bulunan kartın usb girişi alan açmak için programlama yapıldıktan sonra devreden ayrılacaktır. Bilek parçasında bulunan iki adet motor ve parmağın kontrolünü sağlayacak 3 motor aynı mikroişlemci tarafından kontrol görecektir. Burada parmakların kontrolünü emax marka ES3005SG bilek parçasındaki motorlar da yine aynı motorlardır. Parmağın kontrolünü sağlayacak diğer iki motor ve emg kartından gelen bazı verilerin dağıtımını da üçüncü bir ile yapılacaktır. Dördüncü kart ise dirsek bölgesinde bulunan motor sürücü, dc motor ve 1230SG Monster Torque Coreless motorun kontrolünde kullanılacaktır. Kol üzerinde batarya durumunu gösteren iki adet gösterge bulunacaktır. Bunun haricinde nabız durumu ile ilgili bilgi veren bir gösterge de bulunacaktır. Kalp Nabız Sensörü (MAX30102 - MAX30100) bu iş için kullanılacaktır.

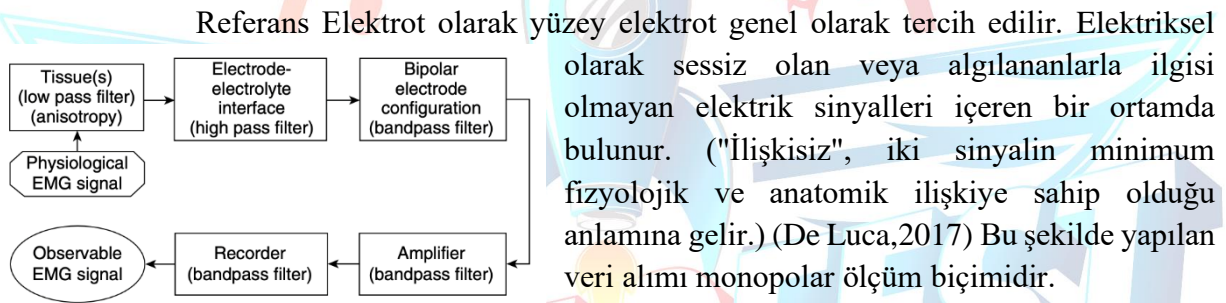
Sistemin hareketini sağlayacak verilerin çıkışı Elektromiyografi (EMG) devresinden sağlanacaktır. Bu devre bir emg kartı ve arduino nano kartı ile bağlantı içerecektir. Omuz ile dirseğin farklı yerlerine kol bantları yerleştirilecektir.

EMG sistemi kas içine yerleştirilen eş merkezli iğne elektrotlardan oluşur. Tek motor çoklu motor veya çoklu motor ünitelerinin dalga biçimlerinin ve ateşleme hızlarının analizini sağlamaktadır. Motor üniteler çalışmaya başladıkların saniyede



Şekil 5: Emg Şeması

6-10 ateş eder(Mills, 2005). Bu da emg devresinin bir kolun bir işe başlaması ve bitirmesi gerektiğini belirtir. Bu şekilde bir hareket başlanmadan alınacak 6-10 hertz bir dalga ile verinin alındığı yöne ve aktif olan kasa bakılarak belirlenen parça harekete geçecektir. Bu veriler ayrıca yapılacak bir ölçümle belirlenecektir. Yapılacak ölçümler farklı ortamlara yerleştirilecek elektrotlar ve bir referans elektrot kullanılarak yapılacaktır. Yapılan testler örnek olarak bir parmak hareketinde dirsek üstü bölgedeki kaslara elektrotlar yerleştirilecek ve verilerdeki değişimler kaydedilecektir. Bu araştırmalar bir hastane laboratuvarında bir doktor akademisyen ile beraber yapılacaktır.



Şekil 6: Referans Elektrot Çalışma Şeması

Referans Elektrot olarak yüzey elektrot genel olarak tercih edilir. Elektriksel olarak sessiz olan veya algılananlarla ilgisi olmayan elektrik sinyalleri içeren bir ortamda bulunur. ("İlişkısiz", iki sinyalin minimum fizyolojik ve anatomik ilişkiye sahip olduğu anlamına gelir.) (De Luca,2017) Bu şekilde yapılan veri alımı monopolar ölçüm biçimidir.

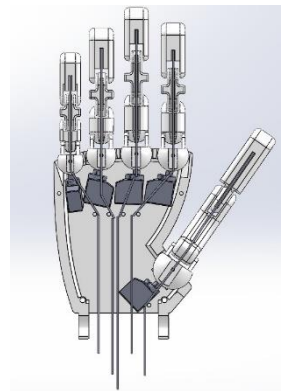
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

5.1 Mekanik

Projenin tasarımı tamamı takım tarafından tasarlanan hareket mekanizması, dış tasarım, mlazeme ve implant bölümleri şeklinde tasarlanmıştır. Projenin parmakları kontrol eden mekanizması bileklerde yer alan servoların parmakların ucuna bağlı ve kılavuzlardan geçen kablolarda çekme gerilmesi oluşturmasıyla kavrama hareketini gerçekleştirmektedir.

5.2 İmplant

Bunun yanında biyonic kolun vücutla birleşmesi rapor içinde bahsedildiği gibi humerusa çakılan protasul 100(Ti-6Al-7Nb alaşımı)'den



Şekil 7: Elin hareketi için güç aktarım mekanizması

yapılan çapı kondil genişlii kondil ucunda 15 mm, kemiğin iç kısımlarına doğru sabit 9 mm çapında bir implantın 3 tane 3,9 mm çapında vidayla kemiğe perçinlenmesiyle sağlanmıştır (Niinomi,2008)(Hench, 1984).

6. Uygulanabilirlik

Proje şu anki haliyle uygulanması için bir etik kurulu raporundan geçmesi gerekmektedir. Bu ne kadar uzun bir süreç olsa da proje eğer herhangi bir sağlık tehdidi oluşturmuyorsa bu etik kurulunu aldıktan sonra piyasaya girebilecektir. Kısa vadede hem maliyeti ve hem kullanımı için operasyon gerekmesi ve diğer protezlere nazaran yüksek maliyeti sebebiyle tercih edilmeyebilir. Ancak ileride projeye dahil edilmesi planlanan basınç sensörleri ile hissetme ve sinir uçlarının bağlanıp doğrudan sinirden devreye yapılacak bir iletimin sağlanmasıyla beraber daha tercih edilebilir bir hale gelecektir. Olası bir savaş durumu veya herhangi bir felaket olayı sonucu ortaya ciddi protez ihtiyaçları oluşacaktır. Olası bir İstanbul depreminde ortaya çıkacak protez ihtiyacı korkunç boyutlarda olacaktır. Ülkemizin şu anki şartlarında bu protezlerin çoğu yurtdışından ciddi ücretlere temin edilecektir. Ülke içinde bu tarz bir projenin olması, talebin çok yüksek olduğu bir dönemde bu biyonomik kolun ticari olarak uygulanamaması mümkün olmayacaktır. Bu proje özellikle bir protezden ziyade bir kola sahip olmak isteyen insanların çok dikkatini çekecektir. Özellikle bu protez hassas kabiliyetlere de sahipse.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

7.1 Malzeme ve Maliyet Tablosu

	Malzemeler	Kullanım Amacı	Adet	Maliyet
1	1230SG Monster Torque Coreless	Dirsek Ekleme görevini görecek motor olarak kullanılacaktır.	1	1.465,44TL
2	Emax ES3005DE	Parmak ve bilek mekanizmalarının hareketi için kullanılacaktır.	7	2.560,32TL
3	12 V 37 mm 330 RPM Enkoderli 30:1 Redüktörlü DC Motor	Kolun kendi eksenini etrafında dönmesini sağlayacaktır.	1	717,54 TL
4	EMG Sensörü	Kaslardan veri alınmasını ve bu verilerin diğer mikroşlemcilerle iletimi sağlayacaktır.	1	620,03 TL

5	Arduino Nano	Devrenin ana kartları olarak kullanılacaktır.	4	1405,8 TL
6	Çeşitli Elektronik Bileşenler	Devredenin bağlantılarında ve tamamlanmasında kullanılacaklar.		500 TL
7	12 CPR Manyetik Enkoder - PL-3081	Parmakların yanal hareketinin düzgü bir şekilde sağlanması için kullanılacaktır.	2	300TL
8	Lityum Pili	Güç kaynağı	2	Belirsiz
9	Titanyum(Protasul 100)	İmplant malzemesi olarak kullanılacaktır.	0,15KG	116.74TL
10	PLA	Dış kasayı oluşturmak için kullanılacaktır.	1KG	140TL
11	PetG	Bilek Parçası malzemesi olarak kullanılacak.	0,5KG	85TL
12	Arduino 3S Lityum, Lipo Pil Kapasite Göstergesi Ledli Gösterge 11.1v - 12.6v	Batarya durumu hakkında bilgi verecek.	2	119,46TL
13	6V 12mm 100 RPM Redüktörlü Mikro DC Motor	Parmakların yanal hareketini encoder yardımı ile yapacaktır	4	248,76TL
14	Çeşitli devre koruyucu malzemesler	Kartlardaki lehimlerin korunması, suya ve toza karşı elektronik bileşenlerin korunması için kullanılacaktır.		350TL
15	Toplam Maliyet			8629,09TL

7.2 Proje Zaman Tablosu

Yapılması gerekenler		Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos
1	Fikir Tasarımının Oluşumu							
2	Gerekli Ölçülerin alınması							
3	Ölçülere göre tasarımın ilk tasarımın ortaya çıkması							
4	Mekanik Kontrol Sisteminin oluşması							
5	Elektronik devrenin planlanması ve bileşenlerin seçimi							
6	Parçaların çizim programında çizilmesi ve montajının yapılması							
7	Elektronik bileşenler dahil bütün parçaların bilgisayar ortamında bir araya gelmesi							
8	Bilgisayar ortamında bütün analiz ve simülasyonların yapılması							

9	Parçaların üretilmesi veya temin edilmesi							
10	Bütün parçaların bir araya getirilip testlerin yapılması							
11	Projeye son dokunuşların yapılması							

8. Proje Fikrinin Hedef Kitlesi (Kullanıcılar):

Projemizin hedef kitlesi doğuştan var olan sakatlık veya hastalıklardan fiziksel travmalara birçok sebebi olabilen ve dünyada birçok kişiyi mağdur eden dirsek ve dirsek altı amputasyon hastalarıdır. Diğer protez tiplerine nazaran kemiğe implant edilmiş bir protezi tercih eden kişiler genellikle kullandıkları protezi, bir protez gibi değil de gerçek bir kol takılmış gibi düşünmek isterler. Bu bazı kişilerin bu tarz bir projeyi tercih etmelerini sağlamaktadır.

9. Riskler

- İmplant çevresinin devamlı temizlenmezse enfeksiyona müsait olması
- Kolun gövdesinin ani darbelere dayanıklı olmaması
- Biyonik kolun ağırlığının hastayı rahatsız etmesi
- Yanlış ağırlık hesaplamaları sonucu vücutta şekil bozukluklarının ve çeşitli rahatsızlıkların oluşumu(bel fıtığı, skolyoz vb.)
- Biyonik kolum sert yapısının rahatsızlık vermesi.
- İmplantasyon operasyonu yapıldıktan sonra adeta bir diş teli takılmış gibi bir süreliğine ağrıya ve acıya sebep olabilir.
- Eğer implant malzemesi yerine düzgün oturtulamazsa çeşitli sıkıntılara sebep olabilir.

10. Kaynaklar

1. Tamai, S., D., M.. (1982). Twenty years' experience of limb replantation Review of 293 upper extremity replants. *The Journal of Hand Surgery*, Volum7, Issue 6, 549-556
2. Graham, B., Adkins, P., Tsai, T., Firrel, J., Breidenwach, W.. (1998). Major replantation versus revision amputation and prosthetic fitting in the upper extremity: A late functional outcomes study, *The Journal of Hand Surgery*, Volume 23, Issue 5, 783-791.
3. FÜchtmeier, B., May, R., Hente, R., Maghsudi, M., Völk, M., Hammer, J., Nerlich, M., & Prantl, L. (2007). Proximal humerus fractures: a comparative biomechanical analysis of intra and extramedullary implants. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 127(6), 441–447. <https://doi.org/10.1007/s00402-007-0319-6>
4. Niinomi, M.. (2008). Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*.
5. Van de Velde, K., Kiekens, P..(2002). PLA Polymer—A Product From Nature Works, Injection Molding Process *G. Polym. Test.* 21 433–442.
6. Hench, L., L.. and Wilson, J.. (1984) “Surface-active biomaterials,” *Science*.
7. Mills, K. R. (2005). The basics of electromyography. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 76(suppl 2), ii32-ii35.
8. Professor Carlo J. De Luca (1943–2016). (2017). *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2016.10.007>

