

# TEKNOFEST

## HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

### İNSANLIK YARARINA TEKNOLOJİ YARIŞMASI

#### PROJE DETAY RAPORU

**PROJE KATEGORİSİ:** Engelli Dostu

**PROJE ADI:** Biyonik El Projesi

**TAKIM ADI:** Münhasır Teknoloji Takımı

**Başvuru ID:** #56300

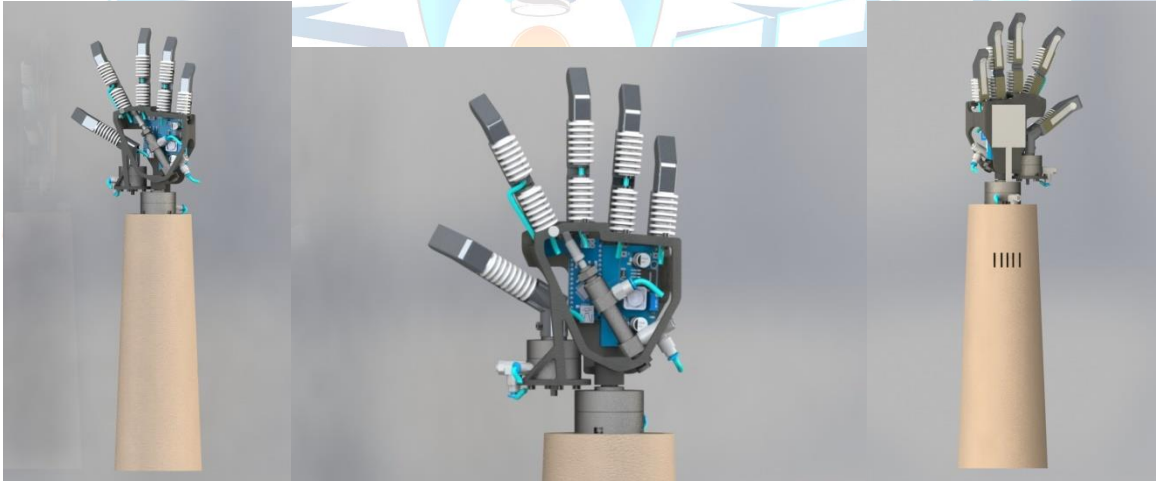
**TAKIM SEVİYESİ:** Üniversite-Mezun

## İçindekiler

1. Proje Özeti.....	2
2. Problem Tanımı.....	3
3. Çözüm.....	4
4. Yöntem.....	4
5. Yenilikçi Yönü.....	7
6. Uygulanabilirlik.....	7
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması.....	8
8. Proje Fikrinin Hedef Kitlesi.....	9
9. Riskler.....	9
10. Proje Ekibi.....	10
11. Kaynaklar.....	10

### 1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Çeşitli sebepler ile el fonksiyonlarını kaybetmiş bireyler fiziksel ve psikolojik olarak ciddi kayıplar ile karşı karşıyadır. Gündelik hayat faaliyetlerini destek almadan kendi başlarına devam ettirebilmeleri bu zor durumla mücadele etmelerini kolaylaştırabilir. Ülkemizde kozmetik sebepler ile kullanılan pasif protezlerin üretimi yapılmaktadır ve ithal protezler oldukça pahalıdır. Projenin amacı, bu soruna en kullanıcı dostu çözümlerle yaklaşmak ve piyasadaki protezler ile teknolojik ve ekonomik açıdan rekabet edebilir düzeyde yerli bir tasarım ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda bu proje, ampute bireyler için tam fonksiyonel bir dirsek altı protezi, 3-Boyutlu modelleri, kontrol sistemi ve geri bildirim sistemi ile birlikte sunmaktadır.



**Şekil 1:** Tasarıma ait 3-Boyutlu Görseller

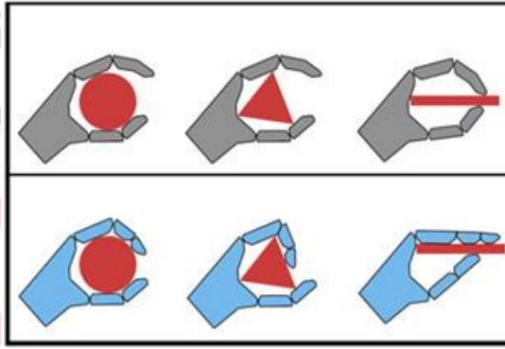
Yapılan araştırmalarda ampute bireylerin protez tercihlerindeki önemli hususlardan birisinin kontrol sisteminin kolaylığı olduğu görülmüştür. Kullanıcıların protezin kontrolünü öğrenebilmek için eğitim almaları gerektiğinden protezin basit bir kontrol sistemine sahip olması oldukça önemlidir. Günümüzde protezler için kullanılan 3 temel kontrol tipi bulunmaktadır. Bunlar; beyin kontrolü, hala sinir iletimini yapabilen kaslardan alınan sinyal ile kontrol ve sağlıklı olan bir uzvun yardımıyla kontroldür. Bu çalışmada sağlıklı kaslardan alınan sinyaller ile kontrol yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem beyin kontrolüne göre çok daha ekonomik, sağlıklı uzvun yardımıyla kontrol yöntemine göre ise çok daha fonksiyoneldir. Tahrik mekanizmasının seçiminde ise kullanıcı deneyimini iyileştirmek ve protezin gerçek bir ele yakın hareketler yapabilmesini sağlamak gibi hedefler ön planda tutulmuştur. Burada yüzey uyumluluğu özelliği öne çıkmıştır ve bunu

sağlayacak yöntem olarak pnömatik tahrik yöntemi belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca protezin daha teknolojik ve kullanıcı dostu olmasını sağlayacak bir geri bildirim sistemi önerilmiştir. Bu sistem kullanıcının protez ile objeleri tutarken oluşturduğu sıkma kuvvetinin büyüklüğü ile ilgili bir geri bildirim almasını sağlamaktadır. Tüm bu hususlar dikkate alınarak ve toplam 9 serbestlik derecesine sahip, fonksiyonel, teknolojik, kullanıcı dostu ve ekonomik bir protez tasarımı yapılmıştır.

## 2. Problem/Sorun:

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.

Piyasada bulunan pasif protezler kullanıcılar tarafından sadece kozmetik nedenlerle tercih edilmekte fakat gündelik işleri için fayda sağlamamaktadır. Fonksiyonel protezler ise oldukça pahalıdır. Piyasadaki protezlerin çoğunda parmak eklemlerinin hareketinde tahrik yöntemi olarak mikro motorlar kullanılmaktadır. Bu yöntem kullanışlı olmakla birlikte yapılan el hareketlerini doğallıktan uzak göstermektedir. Ayrıca bu protezler, insan elinin bir objeyi manipüle etmesi sırasında refleksif olarak gösterdiği obje yüzeyi ile uyumlu tutuş şeklini, yani yüzey uyumluluğunu gösterememektedir. Bu eksiklik farklı geometrideki objelerin uygun şekilde kavranamamasına ve dolayısıyla gündelik hayat faaliyetlerinde protezin yetersiz kalmasına sebep olmaktadır.



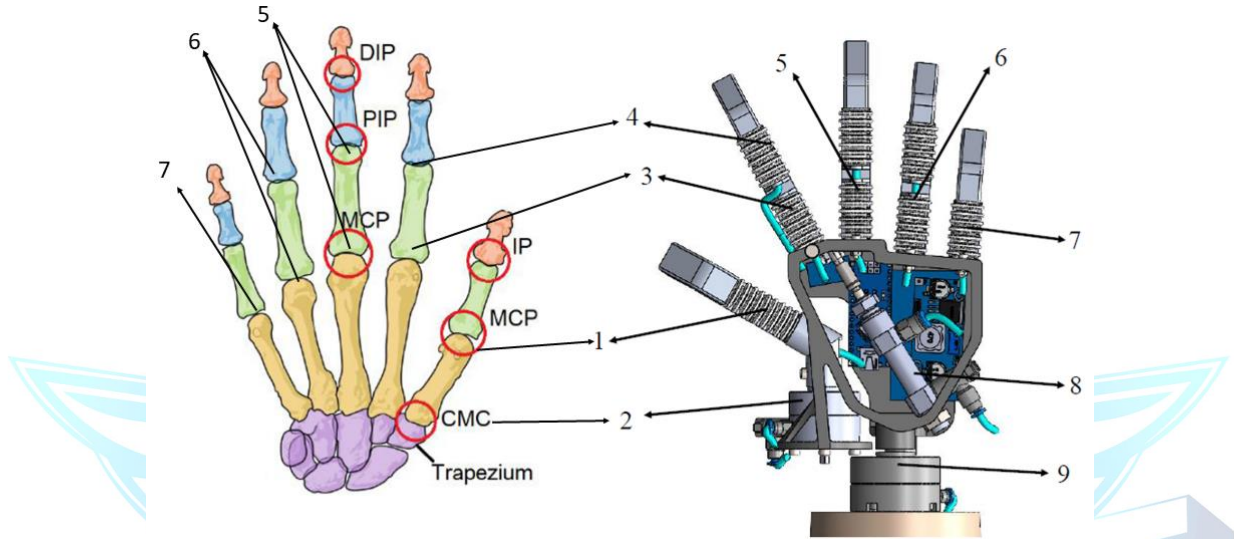
Şekil 2: Yüzey uyumluluğu göstermeyen ve gösteren eklemlerin farkı [1]

Piyasadaki protezlere ait bir diğer problem ise protez kontrolünün genellikle yüksek maliyetli olan yöntemler ile sağlanmasıdır. Protez piyasasında son teknoloji olarak kabul edilen beyin kontrollü nöroprotezler oldukça yüksek maliyetli ve karmaşık bir kontrol sistemine sahiptir. Ayrıca kullanımı için amputasyon ameliyatının, beyne duyuşsal bilgi taşıyan sinirleri muhafaza edecek özel bir takım yöntemler ile gerçekleştirilmesi şartını içermektedir. Bu nedenlerle bu tip protezler pek çok ampute bireyin erişimine açık değildir. Sağlıklı uzuv yardımıyla kontrol ise kullanıcının örneğin, sağlıklı olan omzuna takılan bir askı aracılığı ile omzunu hareket ettirdiğinde protezinin açılıp kapanması yöntemiyle çalışmaktadır. Bu şekilde kontrol edilen protezler fonksiyon anlamında çok yetersizdir ve kullanıcılar tarafından pek tercih edilmemektedir. Çözülmesi gereken bir diğer sorun ise çoğu protezin bir geri bildirim sistemine sahip olmamasıdır. Bu sistem nöroprotezlerde sinirsel olarak sağlanabilmekte fakat yine oldukça maliyetli ve özel ameliyat gereksinimleri içermektedir. Bir geri bildirim sistemi bulunmaması, protezi hissetmeden manipüle etmesi gereken kullanıcıların işini oldukça zorlaştırmaktadır. Örneğin kullanıcı objeyi ne kadar

sıktığını bilmediğinde bir yumurtayı bardakla aynı sıkma kuvveti ile tutacağı için, tuttuğunda yumurta kırılacaktır. Dolayısıyla bu özellik de kullanıcının protez deneyimini iyileştirecek oldukça önemli bir husustur.

### 3. Çözüm

Belirlenen problemlerin uygun yöntemler ile çözülmesi için öncelikle insan elinin anatomisi incelenmiş ve sağlıklı bir ele ait fonksiyonlar belirlenmiştir. İnsan elinde bulunan 20'den fazla serbestlik her birini bir protezde taklit etmenin ve bağımsız olarak kontrol etmenin kullanıcının protezi kontrol etmesini oldukça zorlayacağı görülmüştür. Bu sebeple serbestlik derecesi basitleştirilirken protezin fonksiyonelliğini kaybetmemesine dikkat edilmiştir.



Şekil 3: İnsan eli ve tasarlanan protezin serbestlik derecelerinin karşılaştırılması

İnsan elinde bulunan başparmağa ait carpometacarpal, tüm parmakların metakarpofalangeal, yüzük, orta ve işaret parmaklarının proksimalinterfalangeal eklemleri yumuşak robotik aktüatörler ile taklit edildi. Buna ek olarak işaret parmağının elin ayasını genişletecek bir pnömatik lineer aktüatör ve bilek hareketini sağlayacak bir pnömatik motor sisteme eklendi. Sonuç olarak 9 serbestlik derecesine sahip bir protez tasarlandı.

Yüzey uyumluluğunu sağlamak için pnömatik tahrik yöntemi belirlendi. Bu yöntem aynı zamanda doğal insan eli hareketlerine benzer hareketler oluşturması ve ekonomik bir seçenek olması sebebiyle de tercih edildi. Ayrıca son dönemde kullanımı yaygınlaşan yumuşak robotik teknolojilerden esinlenilerek geliştirilen ve hava kullanılarak tahrik edilen yumuşak eklemler, protezin teknolojik olmasına olanak sağlamaktadır.

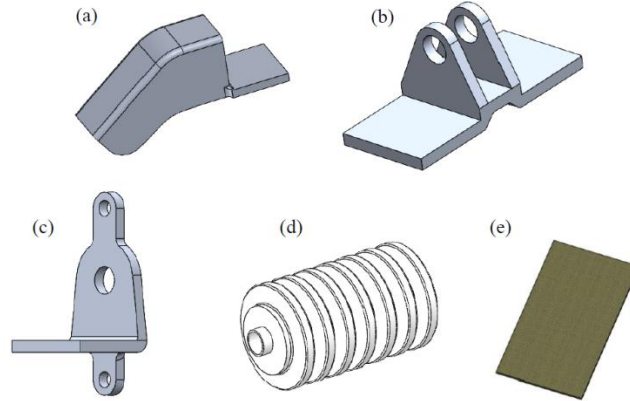
Kontrol seçenekleri içerisinde yöntem olarak, kullanıcının sağlıklı üst kol kası grubuna yerleştirilen EMG sensörlerden alınan sinyaller ile kontrol yöntemi belirlendi. Bu yöntem beyin kontrollü protezlere göre daha ekonomiktir ve özel bir ameliyat gerektirmez. Ayrıca sağlıklı uzuv yardımıyla kontrol yönteminden ise çok daha fonksiyonel ve teknolojidir.

Proteze entegre edilen geri bildirim sistemi de özel bir ameliyat gerektirmemekle birlikte kullanıcının protez deneyimini iyileştirecek kullanıcı dostu bir ek özelliktir.

### 4. Yöntem

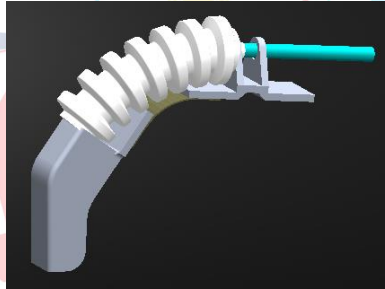
Tasarım için paket programlar kullanılmıştır. Bu programlar Solidworks, Abaqus, AutoCAD, Matlab ve Office programlarıdır.

Tamamı pnömatik olarak tahrik edilen protezin parmaklarında 3 farklı sert eklem tipi bulunmaktadır. Bunlar Şekil 4'te a, b, c ile gösterilen pasif eklem, orta eklem ve avuç bağlantı eklemleridir. Bu eklemlerin malzemesi hafiflik, uzun süreli korozyon ve yorulma direnci gibi avantajlarından ötürü alüminyum olarak seçilmiştir. Yumuşak robotik aktüatörler d'de görülmektedir ve malzemesi benzer protezlerde sıkça kullanılan esnek bir kauçuk olan Dragon Skin-10 isimli malzemedir. Ayrıca sert ve yumuşak eklemlerin bağlantısını sağlamak amacıyla e'de görülen, dokumasız kumaş parçaları bulunmaktadır.



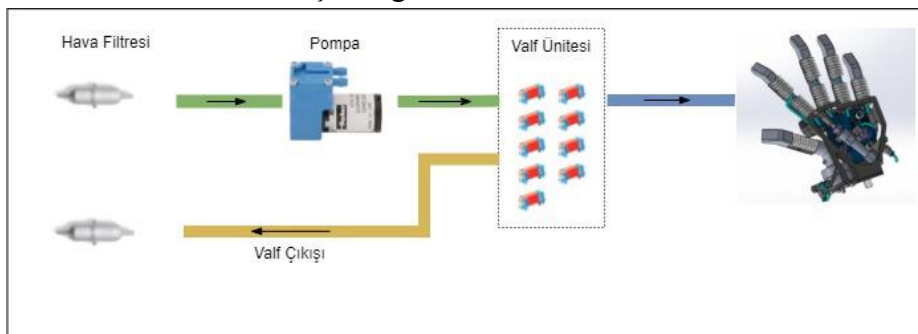
**Şekil 4:** Farklı eklem tipleri: (a) pasif, (b) orta, (c) avuç bağlantı, (d) yumuşak körük eklem ve (e) dokumasız kumaş parçası

Parmaklarda bulunan sert-yumuşak eklem ilişkisi aslında insan elindeki kemik-kas ilişkisinin bir benzeridir. Yumuşak körük eklemlerinin içerisi hava ile basınçlandırıldığında bu yumuşak eklem aksinel olarak uzama göstermek ister. Fakat etrafındaki sert alüminyum eklemler ve kumaş parçası hareketi kısıtladığından ötürü, bir miktar uzadıktan sonra bir bükülme açısı ve dönme momenti oluşturur. Bu dönme momenti sayesinde parmaklar hareket eder.

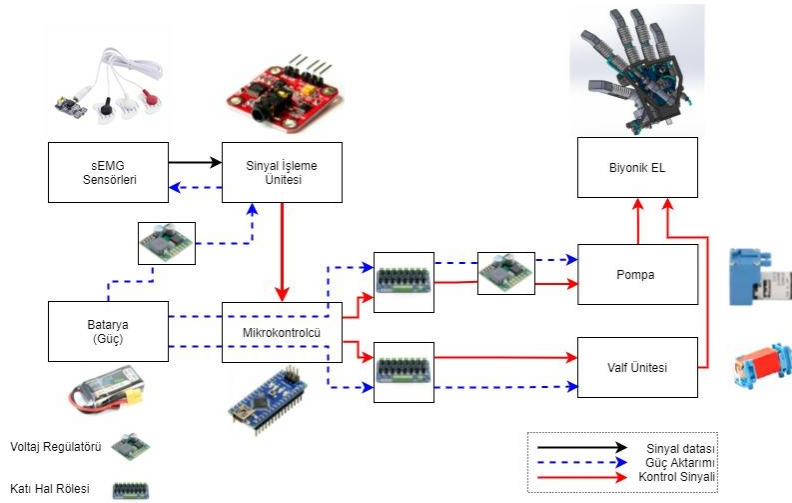


**Şekil 5:** Parmağın bükülme mekanizması

Pnömatik sistem; atmosferden alınan havayı 10 mikrona kadar partiküllerinden temizleyen ve havanın alınması ve geri bırakılması işleminde oluşabilecek sesleri engelleyen giriş çıkış filtreleri, bir adet mikro hava pompası ve çift yönlü çalışan 9 adet valfi içeren valf ünitesinden oluşmaktadır. Valf ünitesinde 9 serbestlik derecesi için bağımsız birer valf bulunmaktadır.

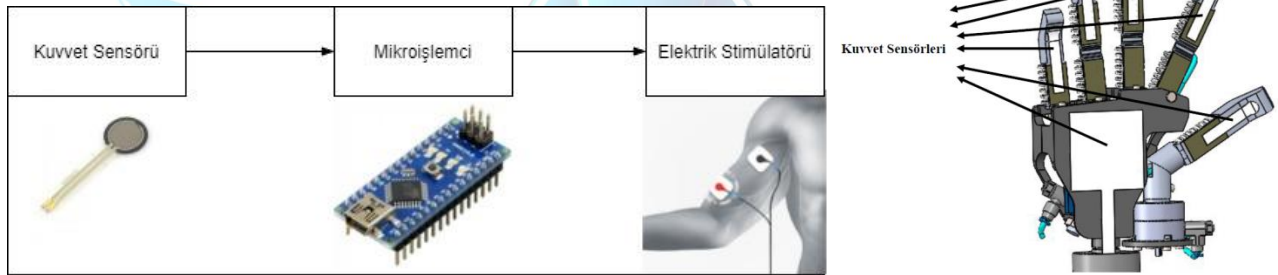


**Şekil 6:** Pnömatik sistem



Şekil 7: Kontrol sistemi

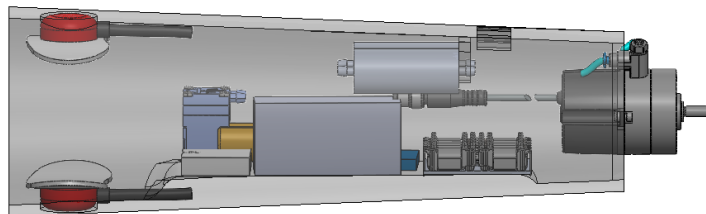
Kontrol sisteminde, kullanıcının üst kol uzvundaki farklı kas gruplarına yerleştirilen EMG (elektromiyografi) sensörlerden alınan sinyaller bir sinyal işleme ünitesinde arzu edilen el konfigürasyonuna göre sınıflandırılır, mikrokontrolcü bu sınıflandırılmış sinyallere göre ilgili valfleri ve hava pompasını kontrol eder.



Şekil 8: Geri bildirim sistemi

Geri bildirim sisteminin amacı, kullanıcının bir yumurtayı ve bir bardağı farklı sıkma kuvvetlerinde güvenle tutabilmesidir. Proteze şekildeki gibi yerleştirilmiş olan kuvvet sensörleri uygulanan kuvvete göre direnç değiştirir ve bu değere göre oluşturulan impulslar kullanıcının üst kol kasına yerleştirilen elektrot pedler aracılığı ile hissettirilir. Böylece kullanıcı sıkma kuvvetiyle ilgili geri bildirim almış olur.

Bahsedilen ekipmanlardan hava pompası, valf ünitesi, filtreler, batarya, elektronik kartların bir kısmı ve EMG sensörler kol soketinin içerisine yerleştirilmiştir. Toplamda 805 gr ağırlığında bir protez elde edilmiştir. Bu ağırlık yetişkin bir kullanıcıya göre belirlendiğinden dolayı uygun bir ağırlıktır. Ayrıca kol soketine pnömomatik sistemin hava giriş çıkışları için, doğal görünümü bozmadan havalandırma menfezi açılmıştır.



Şekil 9: Kol Soketinin İçinin Görünümü

Projenin maliyeti birden çok prototip üretimi yapıp deneysellikle optimize edilmeye müsait olmadığından ötürü gerçek hayatta karşılaşılabilecek durumlar analizler ile öngörülme çalışılmıştır. Analiz öncesinde parmakların istenen bükülme açıları için gereken basınç değerleri analitik olarak hesaplanmıştır. Parmakların çalışma mekanizmasının teorikte olduğu gibi pratikte de çalışacağına gözlemlendiği bu analizde yumuşak aktüatörler için sonlu elemanlar analiz programında hiperelastik bir model oluşturulmuş ve basınç altında davranışı incelenmiştir. Bu analiz yapılırken yumuşak eklem etrafındaki sert eklemler analize sınır koşulu olarak girilmiştir. Yapılan kabullere rağmen bu analiz sonuçları analitik olarak elde edilen basınç değerleri ile örtüşmüştür ve malzeme seçimleri doğrulanmıştır.

## 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

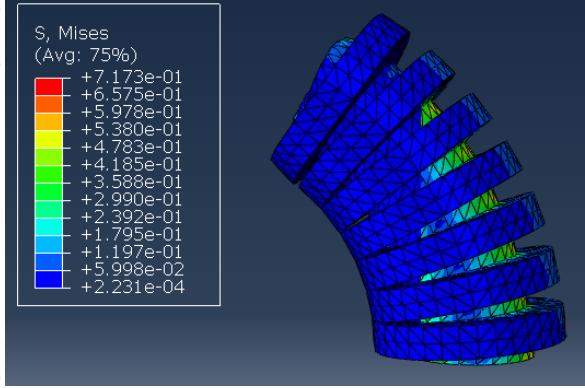
Tasarlanan protezi piyasadaki protezlerden ayıran en önemli özelliği, yumuşak eklemleridir. Özellikle uzay araştırmalarında ve insan-makine etkileşiminin olduğu uygulamalarda kullanımı giderek yaygınlaşan yumuşak robotik teknolojilerden esinlenerek tasarlanan yumuşak aktüatör eklemler, protezin doğal hareketler yapabilmesine ve yüzey uyumluluğu göstermesine olanak sağlar. Piyasadaki protezlerin genelinde bulunan motorlu tahrik mekanizması ise yüzey uyumluluğu özelliğine sahip olmamanın yanı sıra, hareketleri doğallıktan uzak mekanik bir şekildedir. Ayrıca pnömatik tahrik mekanizması, motorlu tahrik yöntemine göre çok daha hafiftir ve düşük bakım ihtiyacı bulunmaktadır. Yumuşak aktüatörleri tahrik etmek için kullanılacak bir diğer yöntem olan hidrolik tahrikle karşılaştırıldığında ise tasarlanan pnömatik sistem, atmosferden aldığı havayı basınçlandırarak kullandıktan sonra yine atmosfere bırakması ve herhangi bir depoya ihtiyaç duymaması, sızma gibi bir durumda insan sağlığına zarar teşkil etmemesi ve kullanılan hava pompasının hidrolik pompalara göre çok daha ekonomik olması gibi avantajlara sahiptir.

Dünya protez piyasasında henüz kullanımı yaygınlaşmamış bu pnömatik yumuşak eklem sistemine sahip bir protezin ülkemizde tasarlanıp üretilmesi kesinlikle yenilikçi ve özgün bir yaklaşım olacaktır. Ayrıca protezin sahip olduğu geri bildirim sistemi kullanıcıların protez kontrolünü öğrenme süreçlerini hızlandıracak ve günlük hayat deneyimlerini iyileştirecektir.

## 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, pnömatik sistemin basınç ihtiyacı, malzemelerin dayanımı, sistemin hafifliği gibi bir takım özellikler bu çalışmalar ile teyit edilmiştir. Protezin 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 [3]. Bu hareketlerin yapılabilmesi için parmaklarda oluşturulması gereken bükülme açısı ve bunun için gerekli hava basıncı analitik olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yumuşak eklemlerde maksimum basınç durumunda oluşan gerilmeler incelenmiş ve riskli gerilmeler oluşmadığı saptanmıştır.

Parmaklar	Bükülme açısı (°)	Gerekli Basınç (kPa)
Baş Parmak	15	5,55
İşaret, Orta, Yüzük ve Serçe Parmakları	15	8,32
Baş Parmak	30	11,3
İşaret, Orta, Yüzük ve Serçe Parmakları	30	16,93
Baş Parmak	45	17,45
İşaret, Orta, Yüzük ve Serçe Parmakları	45	26,2
Baş Parmak	60	24,33
İşaret, Orta, Yüzük ve Serçe Parmakları	60	36,5
Baş Parmak	75	32,33
İşaret, Orta, Yüzük ve Serçe Parmakları	75	48,5
Baş Parmak	90	42,14
İşaret, Orta, Yüzük ve Serçe Parmakları	90	63,2



**Şekil 10:** Yapılan hesapların ve analizlerin örnekleri

Tasarımın ticari bir ürüne dönüşmesi için tamamlanması gereken son adım bir prototip üretimi yapılması, prototipin performansını ölçecek deneylerin tamamlanması ve sonrasında protezin gönüllü bir ampute birey ile denenmesidir. Bu çalışmalar sırasında kullanıcının ilgili kas gruplarına yerleştirilecek sensörlerin konumlarının optimize edilmesi ve şu anda yetişkin bir kadın birey için tasarlanan protezin boyutlarının ayarlanması gerekecektir. Protez, 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

Tasarımda kullanılan üretilecek ve hazır alınacak tüm parçaların listesi Çizelge 1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 1: Maliyet Analizi**

	Parça Adı	Adet	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
	Yumuşak Ekleme	8	557,44	8,3616
	İskelet	1	435,5	8,71
	Kol Soketi	1	435,5	139,36
Pasif Eklemler	Baş parmak	1	13065	170,6289
	İşaret parmağı	1	13065	96,1584
	Orta parmak	1	13065	108,4395
	Yüzük parmağı	1	13065	93,0228
	Serçe parmak	1	13065	112,8816
	Baş parmak eklemi	1	13065	143,715
	Orta eklemler	3	13065	26,6526
Diğer Eklemler	Avuç bağlantı eklemleri	4	13065	20,904
	İşaret parmağı mili	2	1306,5	1,5678
Bağlantı Elemanları	Mafsals mili	1	1306,5	1,69845
	Dokumasız Kumaş	1	87,1	87,1
	Parmak Bağlantı Civataları	6	5,226	31,356
	Parmak Bağlantı Somunları	6	0,871	5,226
	Tespit Vidası	4	2,1775	8,71
	Mafsals Rulman	1	26,13	26,13
	Segman	1	1,742	1,742
	Motor Bağlantı Civataları	8	1,742	13,936
	Mikroişlemci	2	130,65	261,3
	Voltaj Regülatörü	3	52,26	156,78
Elektronik Ekipmanlar	Katı Hal Rölesi	2	87,1	174,2
	Batarya	1	209,04	209,04
	Sinyal İşleme Ünitesi	1	191,62	191,62
	EMG Sensörler	2	304,85	609,7
	Kuvvet Sensörleri	6	87,1	522,6
	Elektriksel Stimülatör	2	87,1	174,2
	Elektrik Kabloları	2	26,13	52,26
	Motor Pozisyon Sensörü	1	783,9	783,9
Pnömatik Sistem Elemanları	Pnömatik Hat Hortumları	1	26,13	26,13
	Baş Parmak Motoru	1	1045,2	1045,2
	Bilek Motoru	1	1132,3	1132,3
	Lineer Aktüatör	1	304,85	304,85
	Pnömatik Bağlantı Parçaları	6	17,42	104,52
	Valfler	9	348,4	3135,6
	Pompa	1	426,79	426,79
	Filtre	2	87,1	174,2
	<b>TOPLAM</b>			<b>9711,65</b>



Maliyet hesabı bir prototip üretimi için hesaplanmıştır. Tasarlanan parçalarda kilogram fiyatına bakılmış, birer tane üretileceği için hassas işlenecek parçaların malzeme fiyatı 5 ile çarpılmış, daha az işçilik gerektiren 3-Boyutlu yazıcıdan çıkartılacak parçalarda ise filament masrafının 2 katı alınmıştır. Hazır temin edilecek parçalarda mümkün mertebe yerli markalar tercih edilmiştir. Yerli temin edilemeyen bazı sensörlerin bu proje için özel olarak tasarlanması süreci halen devam etmektedir. Bu maliyet güncel kur ile hesaplandığında 1118,26 USD'ye tekabül etmektedir. Yurt dışında satılan benzer fonksiyonellikteki EMG kontrollü protezlerin ortalama fiyatı 10,000 USD'dir [4]. Buna göre protezin muadillerine göre oldukça ekonomik olduğu söylenebilir.

**Çizelge 2: Proje Takvimi**

İş Paketi	Aylar					
	Mart	Nisan	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Literatür Tarama						
Mekanik Tasarım						
Mekanik Hesaplar						
Analiz						
Kontrol Sistemi						
Geri Bildirim Sistemi						
Ek Özelliklerin Geliştirilmesi						
Prototip Üretimi						
Testler						

Proje takvimine göre çalışma şu anda ek özelliklerin geliştirilmesi ve prototip üretme aşamasındadır. Ek özelliklerin geliştirilmesi aşaması, hazır parçaların bir kısmının proje için özel olarak tasarlanmasını ve bunun için gerekli literatür taramalarını kapsamaktadır. Bu özellikler prototip üretim maliyetini düşüreceği gibi aynı zamanda projenin daha büyük bir kısmının yerli teknolojilere sahip olmasına olanak sağlayacaktır. Prototip üretimi için protezin fonksiyonlarını ve özelliklerini gösteren daha uygun maliyetli bir örneğinin üretilmesi planlanmaktadır. Bunun için daha fazla parçanın 3-Boyutlu yazıcıdan çıkartılması sağlanacaktır. Prototip üretimi tamamlandıktan sonra kontrol ve geri bildirim sistemlerinin testleri için 1 aya yakın bir süre ayrılmıştır.

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

Bu projenin hedef kitlesi 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 pnömatik teknoloji farklı tip protezlere de uygulanabilir. Bu sayede projenin daha fazla ampute bireye fayda sağlayabilmesi amaçlanmaktadır.

## 9. Riskler

Projenin hayata geçirilmesi sırasında oluşabilecek riskler belirlenmiştir. Çalışma esnasında sarsıntı kaynaklı olarak pnömatik sistemin bağlantılarında gevşeme veya çıkma durumu olabilir. Tüm ekipmanları ile 805 gr olan protez bazı kullanıcılar için (örn. çocuklar) ağır gelebilir. Kol soketinin sağlıklı kolun devamı ile olan bağlantısı gevşek olabilir ve protez koldan çıkabilir.

ETKİ					
OLASILIK	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

Şekil 11: Etki ve Olasılık Matrisi

Risk	Olasılık	Etki	Puan	Sınıf	Tedbir (B Planı)
Pnömatik bağlantının kopması	3	3	9	Önemli	Montajın kolay sökülebilir olması ve bağlantının yerine kolayca takılması
Protezin ağır gelmesi	3	4	12	Yüksek Derecede Önemli	Bazı pnömatik ve elektronik ekipmanların soket içerisinde taşınmak yerine bir bel çantası ile taşınması
Protezin koldan çıkması	2	5	10	Önemli	Soketin sonuna lastikli bir bağlantı eklenmesi ve dirsek üstüne kadar sarılması

Şekil 12: Potansiyel Risklerin Sınıflandırılması ve Tedbirler

## 10. Proje Ekibi

Proje ekibinin görev tanımları Şekil 13'te gösterildiği gibidir.

İsim Soyisim	Görev	İş Tanımı
Bilge Atmaca	Takım Kaptanı	Mekanik Tasarım, Kontrol ve Geri Bildirim Sistemleri
Büşra Dalkılıç	Takım Üyesi	Analiz ve Mekanik Hesaplar
İsmail Vural	Takım Üyesi	Mekanik Hesaplar ve Geri Bildirim Sistemi

## 11. Kaynaklar

[1] Hussein, M. E., 2014. 3D printed myoelectric prosthetic arm. (Doctoral Disertation, Thesis Bachelor degree Engineering (Mechatronics)) .

[2] Szkopek, J., Grzegorz, R., 2019. Artificial-Hand Technology—Current State of Knowledge in Designing and Forecasting Changes. *Applied Sciences* , **9-4090** (19) . Applied Sciences.

[3] 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.

[4] Gu, G., Zhang, N., Xu, H., Lin, S., Yu, Y., Chai, G., Ge, L., Yang, H., Shao, Q., Sheng, X., Zhu, X., Zhao, X., 2020. Lightweight soft neuroprosthetic hand.

[5] Zhang, N., Ge, L., Xu, H., Zhu, X., Gu, G., 2020. 3D printed, modularized rigid-flexible integrated soft finger actuators for anthropomorphic hands. *Sensors and Actuators A: Physical*, **312**, 112090.

[6] URL-1 < <https://www.isgnedir.com/matris-risk-analizi-nasil-yapilir/>>, alındığı tarih 30.06.2021

[7] Xavier, M. S., Fleming, A. J., Yong, Y. K., 2021. Finite Element Modeling of Soft Fluidic Actuators: Overview and Recent Developments. *Advanced Intelligent Systems*, **3**(2), 2000187.