

# TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

BİYOTEKNOLOJİ İNOVASYON YARIŞMASI

PROJE DETAY RAPORU

PROJE KATEGORİSİ

TAKIM ADI

TEXROBOTS TEAM

PROJE ADI

EL FELCİ REHABİLİTASYONU İÇİN TEXROBOT

BAŞVURU NUMARASI

#82261

KATEGORİ

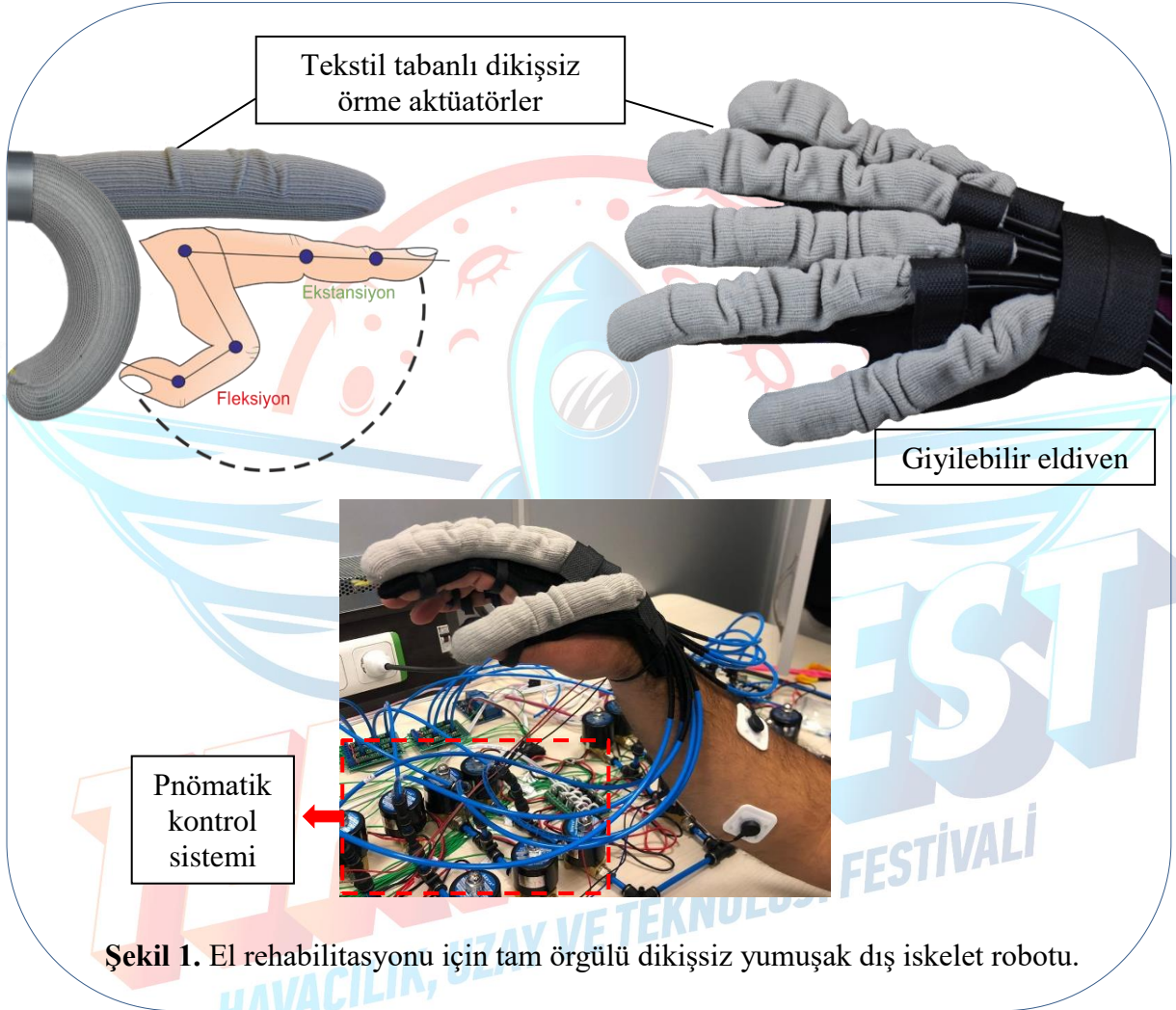
BİYOTEKNOLOJİ

| <b>İçindekiler</b>                                   | <b>Sayfa Numarası</b> |
|--|-----------------------|
| 1. Proje Özeti .....                                 | 3                     |
| 2. Problem/Sorun.....                                | 4                     |
| 3. Çözüm .....                                       | 5                     |
| 4. Yöntem .....                                      | 6                     |
| 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü .....                   | 10                    |
| 6. Uygulanabilirlik .....                            | 12                    |
| 7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması .....   | 12                    |
| 8. Proje Fikrinin Hedef Kitlesi (Kullanıcılar) ..... | 13                    |
| 9. Riskler .....                                     | 14                    |
| 10. Kaynaklar .....                                  | 15                    |



## 1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Giyilebilir yumuşak robot teknolojileri, insanlara destek ve rehabilitasyon için etkileyici çözümler sunmaktadır [1-3]. Bu projede, tekstil tabanlı dikişsiz örme aktüatörler geliştirilerek felçli hastaların el rehabilitasyonu için yumuşak dış iskelet robotu yapımı gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen aktüatörler, giyilebilir bir eldivene entegre edilerek pnömomatik sistemle kontrol edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. El rehabilitasyonu için tam örgülü dikişsiz yumuşak dış iskelet robotu.

Tekstil tabanlı aktüatörlerin mevcut üretim yöntemlerinde yaşanan problemlerin üstesinden gelmek için ilk kez tam giysi örgü tekniği, bu çalışmada kullanılmıştır. Aktüatörleri üretmek için aynı anda birden fazla iplik taşıyıcının iğne hareketini kontrol eden dijital düz yataklı örme makinesi kullanılmıştır. Makineden direkt olarak tüp formunda üretilebilen aktüatörler üç katmanlı olup, ana gövde iki ayrı cepten oluşmaktadır. Ceplerin içine yerleştirilmiş hava keseleri pnömomatik sistem ile şişirildiği zaman üst cep fleksiyon (esneme), alt cep ekstansiyon (uzama) hareketini gerçekleştirebilmektedir. Bu sayede, geliştirilen eldiven el açma ve kapama hareketlerini yaparak felçli hastaların el rehabilitasyonunu sağlayacaktır. Pnömatik sistemin kontrolü STM32F429ZIT6 mikrodenetleyicisi ile sağlanmıştır. Basınç kontrolü ve çeşitli formatlarda toplanan verilerin aynı anda görüntülenmesi için arayüz tasarımı yapılmıştır. Aktüatörlerin ayrıntılı karakterizasyonunu yapmak için özelleştirilmiş kıvrılma-basınç, uç

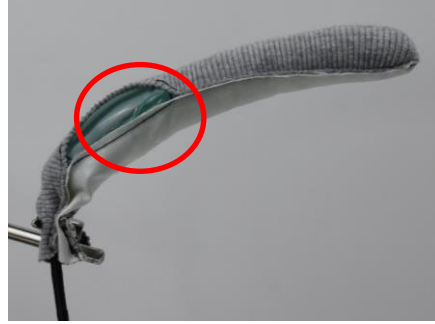
kuvveti-basınç, kavrama kuvveti-basınç ve tork-basınç test donanımları geliştirilmiştir. Kapalı döngü kontrol stratejisi ile maksimum 150 kPa'ya kadar olan basınç aralığında eldivenin çeşitli nesnelere kavraması ve tutabilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen aktüatörün, el hareketine ve günlük yaşam aktivitelerine yardımcı olabilecek yeterli kuvveti sağladığı bulunmuştur.

## 2. Problem/Sorun:

Dünya Sağlık Örgütü'nün tahminlerine göre, her yıl dünya çapında 15 milyon insan felç/inme geçirmektedir [4]. Beyin kanaması veya beyni besleyen damarın tıkanması sonucu kaybedilen hücreler nedeniyle hastalar özellikle üst ekstremitelerinde işlevsellik sorunu yaşamaktadır [5]. Bu hastalar, nesnelere el ile kavrama, beslenme, kendi kendine bakım ve hareketlilik gibi temel yaşam aktiviteleri için insan yardımına muhtaç olmaktadır. *İnme sonrası, felçli elin fonksiyonlarını eski haline getirmek ise üstesinden gelinmesi en zor problemlerden biridir* [6]. Bu sebeple, elin yeniden sağlıklı kullanımının beyinde reorganizasyonunu sağlayabilmek için birtakım tedavi yöntemleri geliştirilmiştir:

- 1- Klasik tedavi yöntemi olan fizyoterapist ile yapılan rehabilitasyon egzersizleri, emek yoğun, yüksek maliyetli ve uzun süreli bir tedavi süreci olmasının yanında kliniğe gitme zorunluluğu nedeniyle de birçok hasta için dezavantaja sahiptir [7]. Dünya Sağlık Örgütü'nün yaptığı çalışmada da COVID-19 salgınından dolayı felçli hastaların hastaneye ve rehabilitasyon kliniğine başvurularında çarpıcı bir azalma olduğu tespit edilmiştir [4]. Salgın ile birlikte kliniğe gitmeye gerek kalmadan, hastanın konfor alanında evde rehabilitasyon hizmeti ile tedavi olabileceği yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır [8].
- 2- İnsan terapistlerin yerini alan rijit robotik sistemleri ise genellikle kliniklerde kullanım için tasarlanmış ve taşınabilir değildir. Ayrıca, yüksek maliyet, sertlik, ağırlık ve eklemlerin harekete geçirilmeyen serbestlik dereceleri üzerindeki kısıtlamalar nedeniyle dezavantaja sahiptir [7].

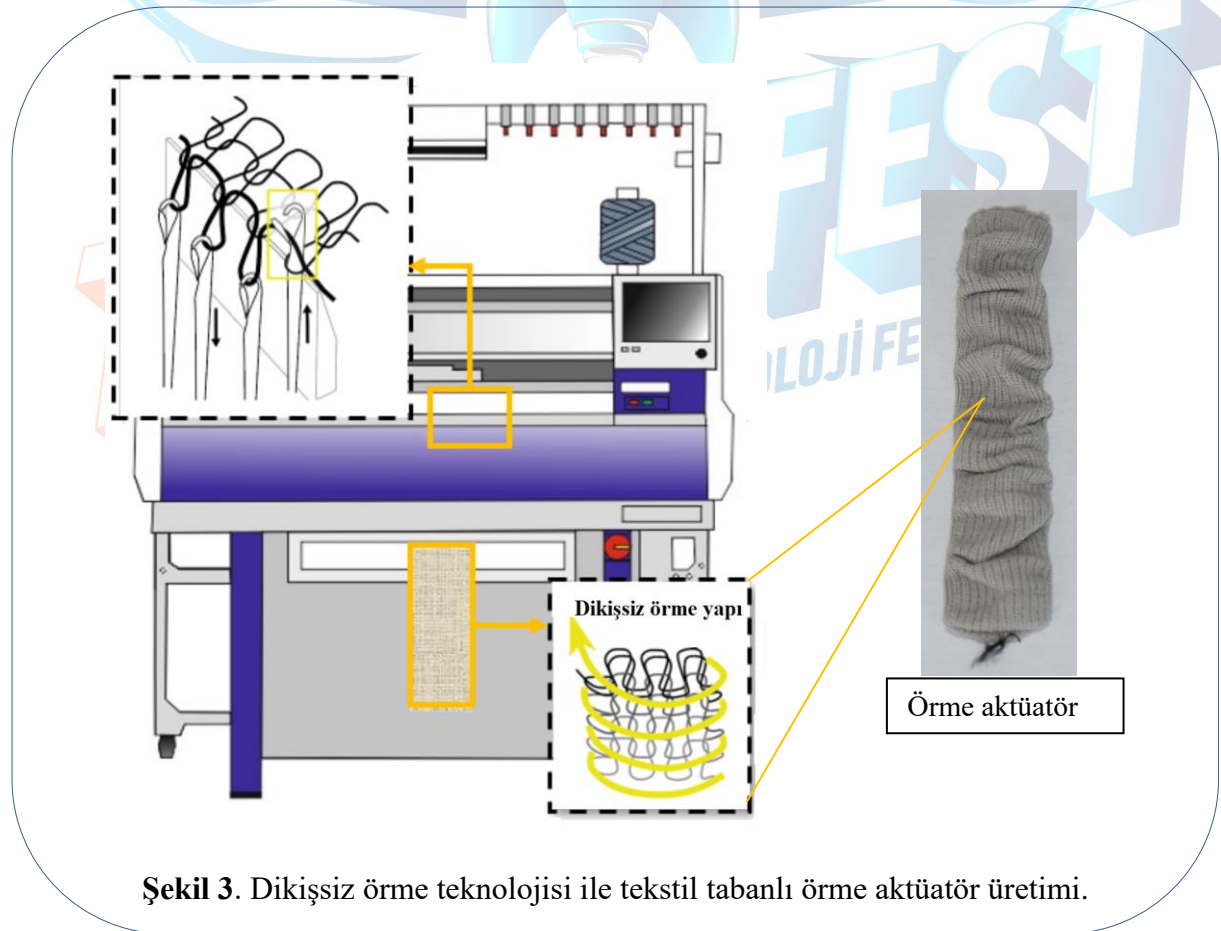
El rehabilitasyonu tedavisi için uyumluluk, hafiflik, düşük maliyet, taşınabilirlik, güvenli insan-robot etkileşimi gibi özelliklerin bulunduğu giyilebilir yumuşak dış iskelet robotlarının geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Giyilebilir dış iskeletlerde, felçli elin parmaklarına açma ve kapama hareketlerini veren tekstil tabanlı aktüatörlerin kullanıldığı çalışmalar literatürde bulunmaktadır [9-12]. Yapılan çalışmalarda, tekstil tabanlı aktüatör üretim tekniği olarak kesim-dikim [9] ve yapıştırma yöntemleri [10-12] kullanılmıştır. Bu yöntemler, manuel montaj ve birçok imalat adımı içermekte olup zaman alıcıdır ve yoğun emek gerektirir. Çoklu üretimde de aynı aktüatör özellikleri elde edilmesi zordur. *Bu tekniklerin en önemli dezavantajı ise basınçlı hava ile kontrol edilen aktüatörün, dikilen veya yapıştırılan kısımlarının patlamasıdır.* Bu önemli sorun, bu tekniklerle üretilen ürünün kullanımını ve ticarileşmesini zorlaştıracaktır (Şekil 2). Projemiz, ilk defa dikişsiz örme teknolojisinde tekstil tabanlı aktüatör üretimi gerçekleştirerek bu soruna kesin çözüm bulmuştur.



**Şekil 2.** Dikiş/yapıştırma üretim tekniklerinin kullanımında tekstil tabanlı aktüatörlerin patlama sorunu.

### 3. Çözüm

Bu projede, felçli hastalar için uygulanan tedavi yöntemlerinden yola çıkarak el rehabilitasyonu için tekstil tabanlı robotik eldiven geliştirilmiştir. Diğer robotik eldivenlerde kullanılan aktüatörlerin üretim tekniklerinde yaşanan problemleri gidermek için, dikişsiz tüp şeklinde örme aktüatör çözümü geliştirilmiştir. Çözüm yöntemi olan dikişsiz örme teknolojisi ile aktüatörlerin üretiminde (Şekil 3) kumaşların parçalar halinde üretilmesi ve daha sonra birleştirilmesi ihtiyacı ortadan kaldırılarak aktüatörlerin parçalı değil tam örgülü yapıya sahip olması sağlanmıştır.



**Şekil 3.** Dikişsiz örme teknolojisi ile tekstil tabanlı örme aktüatör üretimi.

Felçli hastaların aktüatörler yardımıyla ellerini açma ve kapama hareketi yapabilmesi için makine örme parametrelerinin değişimi ile aktüatörde üç katman ve katmanlar arasında hem anizotropi hem de izotropi özelliği tasarlanmıştır. Giyilebilir eldivene entegre edilen aktüatörler, pnömatik sistemle kontrol edilmektedir. Bu giyilebilir dış iskelet robotu, kliniğe gitme zorunluluğuna çözüm getirerek evde de kullanılabilir, taşınabilir, fonksiyonel ve kullanımı kolay olarak tasarlanmıştır. Böylece, hastaların yaşam kalitelerini arttırarak, evde bakım hizmetlerinin yaygınlaşmasına katkı sağlayacak ve ev konforunda tedavi olabilmelerinin önünü açacaktır. Ayrıca, rehabilitasyonun uzun süreli, bol tekrarlı, yoğun olmasında büyük bir etkiye sahip olacaktır.

#### 4. Yöntem

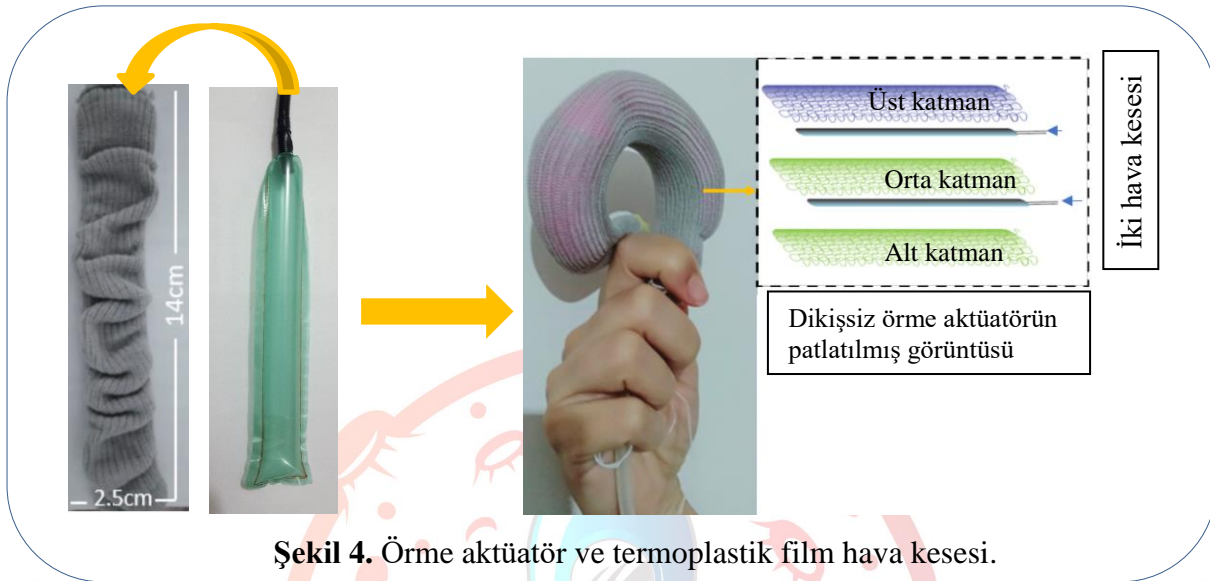
Yapılan çalışmada, örme aktüatör numunelerinin tasarımı ve üretimi, İstanbul Teknik Üniversitesi Tekstil Teknolojiler ve Tasarımı Fakültesi bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Aktüatörün donanım, yazılım ve test çalışmaları İstanbul Teknik Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Fakültesi'nde yürütülmüştür. Projemizin tasarım, üretim, kontrol sistemi ve test çalışmaları başarıyla tamamlanmıştır.

Projenin aşamaları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır:

##### 4.1. Aktüatörün üretimi

Projede aktüatör üretimi, yumuşak robotik uygulamaların literatürde yer alan kesim-dikim ve yapıştırma üretim tekniklerinde meydana gelen teknik sorunları çözmek için hiçbir bağlama, yapıştırma ve dikme işlemi gerektirmeden tüp formunda üretilmiştir. Bu teknik ile üretim doğrudan 'bilgisayardan aktüatöre' gerçekleştirilmektedir. Aktüatörleri üretmek için 10 geyç bilgisayarlı düz örme makinesinden yararlanılmıştır. Bilgisayarlı örgü makinesi, aynı anda birden fazla iplik taşıyıcının iğne hareketini kontrol etmeyi sağlamaktadır. Bu yetenek, farklı mekanik özelliklere sahip tek veya çok katmanlı aktüatörler üretmek için dijital olarak önceden ayarlanmış örme parametrelerinde çeşitli ipliklerin bağımsız olarak örülmesine olanak tanımaktadır. Esneme ve uzama hareketlerini gerçekleştirebilmek için örgü makinesi parametreleri değiştirilmiştir. Örme makinesi parametreleri olarak iplik tipi, ilmek yoğunluğu (örme kumaşın birim alanındaki toplam ilmek sayısı) ve örgü makinesinin iğne hareketi kullanılmıştır. Aktüatör, iki odacıktan oluşmakta olup üst, orta ve alt katmanlar için Tablo 1'de iplik tipi kombinasyonları verilmiştir. Bu iplik kombinasyonları kullanılarak dört farklı tip aktüatör üretilmiştir. Bu dört tip aktüatörün örme yapı parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Aynı ölçülere sahip tüm aktüatörler için 14 cm uzunluk ve 2,5 cm genişlik belirlenmiştir. Üst katman ile diğer iki katman (orta ve üst) arasında anizotropi oluşturmak için üst katmanın santimetre başına düşen sıra sayısı (cpcm) diğer katmanlardan daha yüksek olacak şekilde ayarlanmıştır. Üst ve alt katmanlar arasındaki yüksek sıra-çubuk oranı, Şekil 4'te görülebileceği gibi tüm aktüatörlerin üst katmanında toplanma şeklini alan ilave ilmek sıraları nedeniyle daha çok uzayabilir bir üst katman oluşturulmuştur. Katmanlarda az esneyebilir iplik çeşitleri ile likra gibi çok esneyebilir iplik kombinasyonlarının kullanılması ile aktüatörlerde anizotropi oluşturulmuştur. Dikişsiz aktüatörün içindeki hava keselerine, kontrol sistemi ile basınç uygulandığında hem fleksiyon hem de ekstansiyon hareketleri yapabilmektedir. Aktüatörün üst

odacığında, üst ve orta katman arasındaki anizotropik esneme özelliğinden dolayı fleksiyon davranışı görülmektedir. Alt odacık ise orta ve alt katmanlar arasındaki izotropik esneme özellikleri nedeniyle ekstansiyon hareketi göstermektedir.



Şekil 4. Örme aktüatör ve termoplastik film hava kesesi.

Tablo 1. Her aktüatör tipi için aktüatör katmanlarının iplik kombinasyonları

| Numune     | Üst Katman             | Orta ve Alt Katman     |
|------------|------------------------|------------------------|
| Aktüatör 1 | Likra                  | Likra                  |
| Aktüatör 2 | Likra                  | 3 katlı polyamid iplik |
| Aktüatör 3 | Likra                  | Eriyen iplik           |
| Aktüatör 4 | 2 katlı polyamid iplik | 3 katlı polyamid iplik |

Tablo 2. Aktüatör katmanlarının örgü yapı parametreleri (tüm aktüatör tiplerinde ortak)

| Parametre                | Üst Katman | Orta ve Alt Katman |
|--------------------------|------------|--------------------|
| Sıra sıklığı (sıra/cm)   | 15         | 10                 |
| Çubuk sıklığı (çubuk/cm) | 5          | 5                  |
| İlmek yoğunluğu (S)      | 75         | 50                 |
| Sıra:çubuk oranı         | 15:5       | 10:5               |

#### 4.2. Aktüatörün içine yerleştirilecek termoplastik poliüretan hava kesesinin üretimi

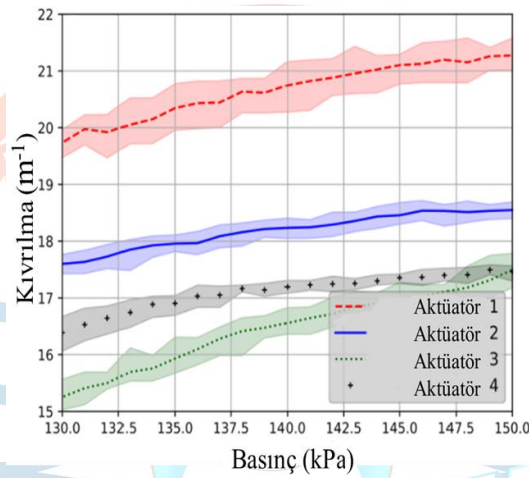
Şişirilebilir bir aktüatör oluşturmak için termoplastik poliüretan esnek film kullanılarak hava geçirmez kese üretilmiştir. Film, 17 x 2,5 cm boyutlarında lazer makinesi ile kesilerek üç kenarı yapıştırma makinesi ile kapatılmıştır. Açık olan ucunu pnömatik sisteme bağlamak için 6 mm dış çaplı bir poliüretan boru yerleştirilmiş, hava sızıntısını önlemek için de PVC siyah bant keseye güvenli bir şekilde bağlanmıştır. Üretimi anlatılan bu iki özdeş hava kesesinden hazırlanarak, fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerini elde etmek için örme aktüatörün üst ve alt odacıklarına yerleştirilmiştir.

### 4.3. Deney Sonuçları

Aktüatörlerin karakterizasyonu yapmak için kıvrılma-basınç, kuvvet-basınç, tork-basınç testleri yapılmıştır.

#### 4.3.1. Kıvrılma - Basınç Test Sonuçları

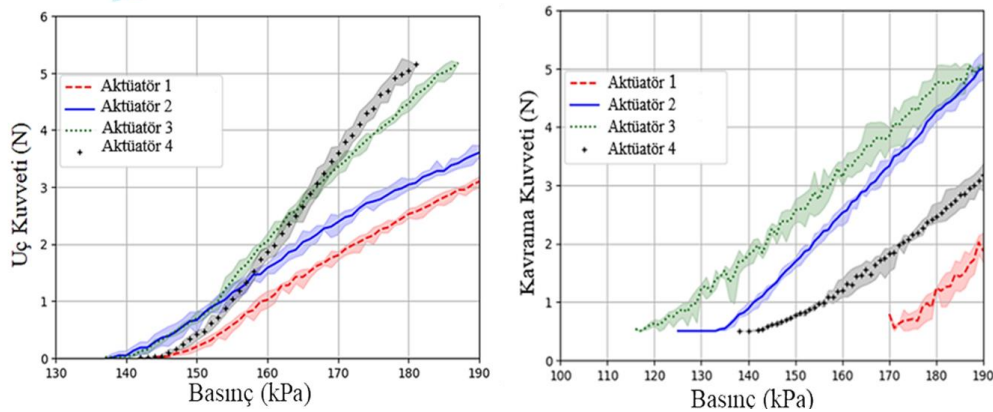
Aktüatörlere basınç uygulandığında kıvrılma davranışı sergilemektedir. Basınç arttıkça, kıvrılmanın doğrusal bir şekilde arttığı görülmüştür. Aktüatörlerde kullanılan farklı örme parametreleri farklı kıvrılma davranışına neden olmuştur. Aktüatör 1 (Şekil 5) numunesi daha fazla kıvrılma eğilimi göstermiştir. Bunun sebebi yapısında kullanılan likra ipliği nedeniyledir. Aktüatörün katmanlarının hiçbirinde likra ipliğinin olmaması, Aktüatör 4'ün en düşük kıvrılma davranışı sergilediği sonuçlarda görülmektedir.



Şekil 5. Aktüatörlerin kıvrılma-basınç sonuçları.

#### 4.3.2. Kuvvet-Basınç Test Sonuçları

Şekil 5'te görüldüğü gibi dört aktüatör çeşidinde uç ve kavrama kuvvetleri ile uygulanan basınç arasında yaklaşık olarak doğrusal bir ilişki gözlemlenmiştir. Uygulanan basınç aralığında en yüksek kıvrılmayı gösteren Aktüatör 1, diğer aktüatörlere kıyasla en düşük uç ve kavrama kuvvetlerini vermiştir. En düşük kıvrılma gösteren Aktüatör 3 (Şekil 6) ise diğer aktüatörlere göre uygulanan maksimum basınçta en yüksek uç kuvveti (5,3 N) ve kavrama kuvveti (5 N) vermiştir.

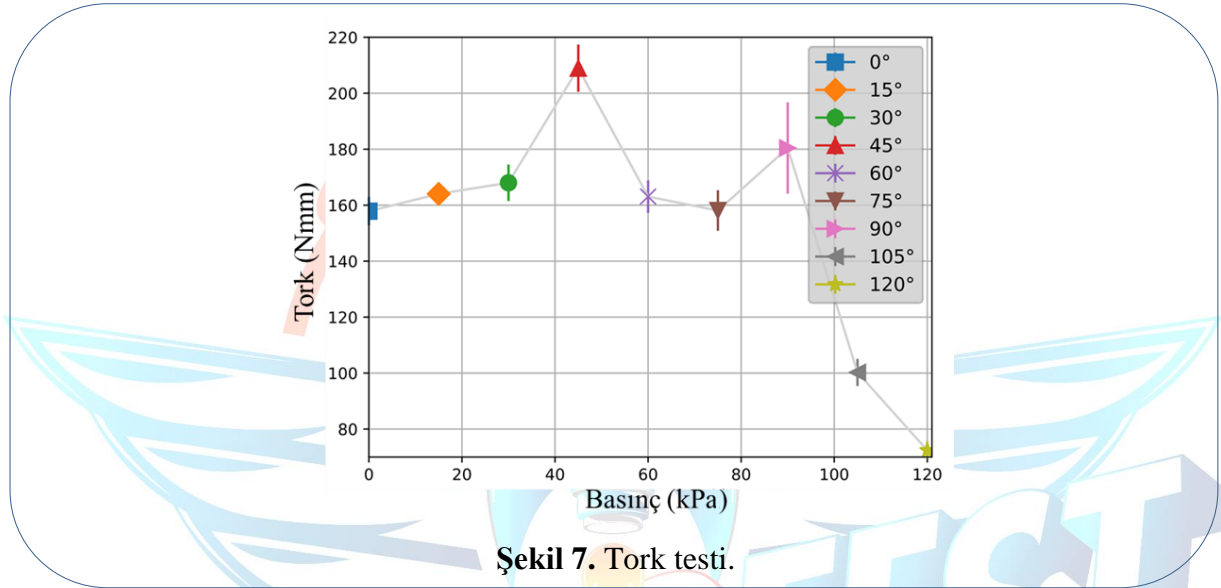


Şekil 6. Aktüatörlerin kuvvet-basınç sonuçları.



### 4.3.3. Tork-Basınç Test Sonucu

Aktüatör 3, en yüksek uç ve kavrama kuvveti değerlerine sahip olduğu için bu aktüatör seçilerek tork testi yapılmıştır. Şekil 7’de görüldüğü üzere, aktüatör yaklaşık 45°'lik kıvrılmaya kadar kademeli olarak artan bir tork uygulayabilmiş daha sonra azalmaya başlamıştır. Bunun sebebinin, performansını olumsuz yönde etkileyebilecek burkulma olgusunun ortaya çıkmasıdır. Burkulmanın ince bir kirişin mekanik özelliklerini önemli ölçüde azalttığı bilinmektedir. Aktüatörün kıvrılma açısı arttıkça, sıkıştırılmış liflerin yan taraflarındaki basınç gerilmeleri artarak uygulayabileceği maksimum torkta bir azalmaya neden olmuştur. Aktüatör, maksimum 210 Nmm'lik tork değeri göstermiştir.



Şekil 7. Tork testi.

### 4.4. Aktüatörün Giyilebilir Eldivene Entegre Edilmesi

Dikişsiz örme aktüatörün, giyilebilir dış iskelet olarak potansiyelini göstermek için bir eldivene entegre edilmiştir. En yüksek uç ve kavrama kuvvetine sahip Aktüatör 3 kullanılmıştır. Eldiven, maksimum 150 kPa'a kadar olan basınç aralığında, farklı ağırlık ve boyutlardaki (125 g'a kadar) nesnelere kavrayabilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Prototipin farklı ağırlık ve büyüklükteki nesnelere kavraması.

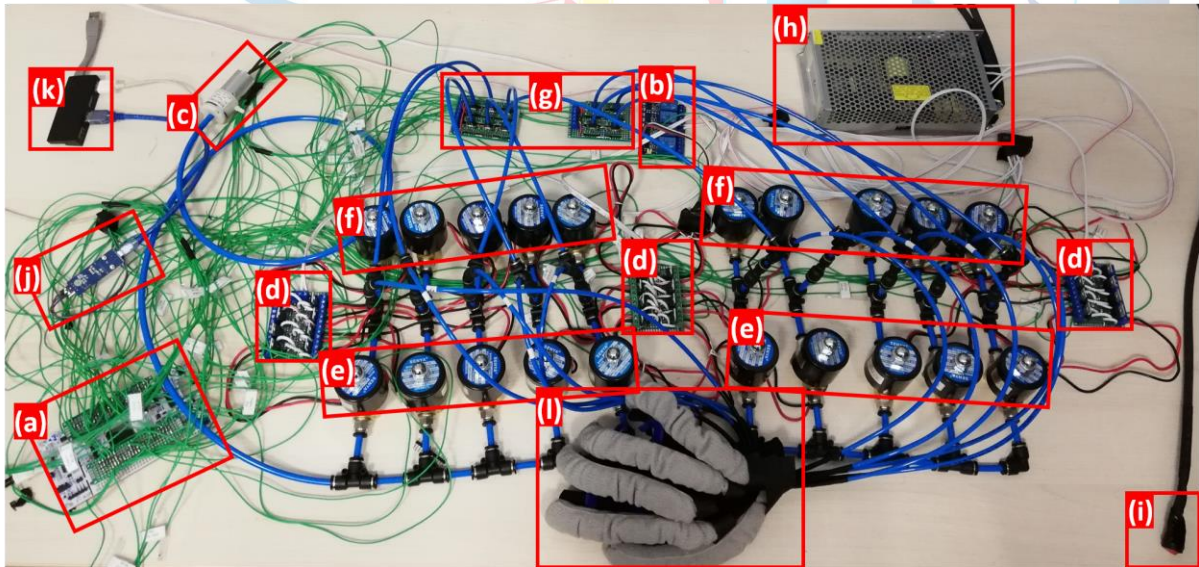
## 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Yumuşak robotik uygulamalar için geliştirilen aktüatörlerde genellikle silikon ve kauçuk gibi elastomerik malzemeler kullanılmıştır [13, 14]. Bu malzemelere çeşitli tasarımlarla anizotropik özellik kazandırılarak aktüatörler üretilmiş ve pnömatik basınç uygulanarak aktüatörlerde istenilen hareketin oluşması sağlanmıştır. Bu aktüatörler, ısı direnci, kimyasal direnç ve farklı hareketlere uyum sağlama gibi avantajlara sahiptir. Fakat, malzeme yoğunluğu, ağırlık, yapışkanlık ve düşük mukavemet gibi dezavantajlarının olması giyilebilir uygulamalarda kullanılabilmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, tasarımların farklı boyutlarda ve çoklu üretimlerindeki zorluklar kullanımlarını sınırlandırmaktadır. Tüm bu dezavantajlara çözüm olarak tekstil tabanlı yumuşak aktüatörler geliştirilmiştir. Bu aktüatörler, farklı özelliklere sahip tekstil kumaşlarının dikilmesi veya yapıştırılarak bir araya getirilmesi ile üretilmektedir [15]. Bu çalışmalarda tekstil tabanlı yumuşak aktüatörler çok aşamalı üretiminden dolayı yüksek işçilik maliyetine sahiptir. Üretimin karmaşık olmasından dolayı üretim süresi artmakta ve insana bağlı hatalar gözlenmesi ile de kalite beklentilerini karşılayamamaktadır. Ayrıca, uzun süreli kullanımlarda dikiş ve yapıştırma bölümlerinden aktüatör deforme olmakta ve kullanım ömrü azalmaktadır.

Bu projede ise dikiş ve yapıştırma tekniklerinin getirmiş olduğu dezavantajları ortadan kaldırmak adına yumuşak aktüatörlerin üretiminde üç boyutlu dikişsiz tekstil örme teknolojisi kullanılması yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu teknoloji sayesinde bilgisayar ortamında tasarlanan aktüatörler, doğrudan üç boyutlu olarak örme makinesinde üretilmektedir. Bu teknoloji sayesinde katmanlar arasındaki bağlantıların sürekliliği sağlanıp, aktüatörün üzerindeki kuvvetlerin düzgün dağılması sağlanmaktadır. Böylece, aktüatörün çalışma ömrü artmaktadır. Üretimin bilgisayar destekli geliştirilmesi sayesinde farklı kullanım alanlarında ihtiyaç duyulacak olan farklı ölçülerde ve parametrelerdeki aktüatörler hızlı bir şekilde tasarlanıp hızlıca üretime geçilebilmektedir. Ayrıca, üretimin makine ile yapılması sayesinde insan kaynaklı hatalar azalmakta ve aynı standartlarda ürünler üretilebilmektedir. Ek olarak, makine teknolojisi ile işçilik maliyetleri azalmakta, üretim süresi kısalmakta ve kumaş atıklarının oluşumu tamamen ortadan kaldırılmaktadır. Aynı standartlarda ürünlerin hızlı bir şekilde üretilebilmesi sayesinde ürünler seri üretime kolaylıkla geçirilerek, daha fazla insana daha ucuz bir şekilde ulaşılması sağlanabilecektir.

Geliştirilen aktüatörler sonrasında bir eldivene entegre edilmiştir. Eldivenin kontrolü için portatif bir kontrol sistemi geliştirilmiştir. Şekil 9, geliştirilen kontrol sistemini göstermektedir. Kontrol sisteminde (a) mikrodenetleyici, (b) röle kartı, (c) hava pompası, (d) valf kontrol kartları, (e) doldurma valfleri, (e) boşaltma valfleri, (g) hava basınç sensör kartları, (h) güç kaynağı, (i) acil durdurma butonu, (j) USB-TTL dönüştürücü ve (k) USB-Hub bulunmaktadır. Valf kontrol kartları ve sensör kartları bu eldiven için özel olarak tasarlanmıştır. Her aktüatörde, toplamda 2 adet hava kesesi bulunmaktadır. Her bir hava kesesine bir adet doldurma bir adet de boşaltma valfi bağlanmıştır. Böylelikle, her bir hava kesesi ayrı olarak kontrol edilebilmektedir. Toplamda sistemde 20 adet hava valfi kullanılmıştır ve bu nedenle toplamda 20 adet valfi kontrol edebilecek valf sürücü kartları geliştirilmiştir. Kontrol sisteminin çalışma prensibinde, bilgisayardan gelecek açma veya kapatma sinyali ile ilk olarak röle aracılığı ile

hava pompası çalıştırılmakta, valf kontrol kartları aracılığı ile de uygun valfler açılıp kapatılmaktadır. Aktüatörlerin durumları hava basınç sensörleri aracılığı ile takip edilmekte ve durma koşulu bu sensörlerden gelecek verilere göre belirlenmektedir. Bir aktüatörün fleksiyon hareketi yapabilmesi için fleksiyon hava kesesine bağlı doldurma valfi ile ekstansiyon hava kesesine bağlı olan boşaltma valfinin aynı anda açılması gerekmektedir. Böylece fleksiyon hava kesesi dolarken kıvrılma aktüatör fleksiyon hareketine başlayacaktır. Bu hava kesesi şişmesinden dolayı ekstansiyon hava kesesine basınç yapmakta ve içerisindeki hava, boşaltma vanasından atmosfere çıkmaktadır. Kontrol sistemi aracılığı ile aktüatörler tek tek kapatılıp açılabilmesinin yanında birden fazla parmağın ya da tüm elin aynı anda açılıp kapanması da mümkündür. Bunun için her aktüatör 100 ms aktif olacak şekilde durma koşullarını sağlayana kadar sırayla açılma ya da kapanma işlemini gerçekleştirmekte ve böylece eldiven bir bütün olarak hareket ettirilmektedir. Geliştirilen kontrol sistemi ayrıca ileride geliştirilecek olan aktüatör sensörleri, EMG (elektromyografi) sensörleri vb. ek donanımlar ile de haberleşebilecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece, ileride farklı özelliklerde istenilen kontrol sistemlerinin entegrasyonu da donanımsal ve yazılımsal olarak mümkündür. Kontrol sistemi için ayrıca grafik arayüz sistemi de geliştirilmiştir. Bu sayede, bilgisayar ortamında veriler gözlenmekte ve eldiven kontrolü sağlanabilmektedir. Arayüz programı, ek olarak diğer programlar ile socket programlama aracılığıyla konuşabilmektedir. İleride geliştirilebilecek olan ses ile kontrol, EEG (elektroensefalografi) ile kontrolü gibi farklı uygulamalarda arayüz programı aracılığı kontrol sistemine kontrol sinyalleri iletilebilecek ve benzer şekilde kontrol sisteminden de veriler alınabilecektir. Böylece, geliştirilen sistem yeni özelliklerin eklenmesinde de sorunsuz bir şekilde çalışabilme özelliği kazanmıştır.



Şekil 9: Basınç kontrol sistemi birleşenleri.

## 6. Uygulanabilirlik

Projemizin patent başvurusu yapılmıştır. Prototip üretimi, donanım ve yazılım çalışmaları tamamlanmış ve aktüatör karakterizasyon testleri yapılmıştır. Çalışmamız, fizik tedavi ve rehabilitasyon uzmanları ile birlikte gerçek felçli hastalar üzerinde test edildikten sonra ticari bir ürüne dönüştürülebilir. Projemiz, ticarileşmesi durumunda medikal alanda belirgin bir katma değer özelliği taşımaktadır. Ülkemizde bu konuda geliştirilen milli bir ürün olmaması bakımından da önemlidir.

Çalışmamıza ileride tekstil yapılı sensörlerin, aktüatörlere entegre edilme çalışması planlanmaktadır. Robotik-Tekstil alanlarında konferanslara katılım sağlanacak ve geliştirilmiş ürün tanıtılacaktır. Endüstri, tarım ve arama kurtarma gibi farklı kullanım alanlarında da uygulanabilirliği üzerine çalışmalar yürütülecektir.

## 7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Projenin geliştirilmesi ve testlerinin gerçekleştirilmesi süresinde takip edilecek proje planı Tablo 3’de verilmiştir. Her iş paketi için 2 aylık bir süre hesaplanmıştır. Projenin toplamda 6 aylık süre içerisinde bitirilmesi hedeflenmektedir. Tablo 4’de ise projenin bütçe kalemlerini ve maliyetlerini göstermektedir. Projenin bütçesi 5872,22 ₺ olarak belirlenmiştir.

**Tablo 3. Proje iş paketleri ve aylık proje planı**

| No | İş Paketlerinin Adı ve Hedefleri                                     | Sorumlu                   | Başarı katkısı | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|--|---------------------------|----------------|---|---|---|---|---|---|
| 1  | Malzemelerin belirlenmesi ve temini                                  | Kadir                     | 10%            | ■ | ■ |   |   |   |   |
| 2  | Aktüatör tasarımlarının yapılması                                    | Feyza                     | 20%            | ■ | ■ |   |   |   |   |
| 3  | Aktüatör üretiminin yapılması  | Feyza                     | 20%            |   | ■ | ■ |   |   |   |
| 4  | Farklı parametredeki aktüatörlerin testlerinin yapılması             | Fidan, Ömür               | 10%            |   |   | ■ | ■ |   |   |
| 5  | En uygun parametredeki aktüatörün belirlenmesi ve eldiven üretilmesi | Feyza, Kadir              | 15%            |   |   |   | ■ | ■ |   |
| 6  | Kontrol sisteminin tasarlanması ve geliştirilmesi                    | Kadir, Fidan, Ömür        | 15%            |   |   |   | ■ | ■ |   |
| 7  | Sistemin entegrasyonu ve testlerinin yapılması                       | Kadir, Fidan, Ömür, Feyza | 10%            |   |   |   |   | ■ | ■ |

**Tablo 4.** Proje bütçesi ve gerekçeleri

| No                | Modeli ve İsmi   | Birim Fiyat* | Adet | Toplam  | Gerekçesi  |
|-------------------|--|--------------|------|---------|--|
| 1                 | Termoplastik Poliüretan Film   | 13,88        | 1    | 13,88   | Hava keselerinin üretilmesi  |
| 2                 | Tekstil sarf malzeme (iplik, cırt cırt vs.)                                | 1000,00      | 1    | 1000,00 | Aktüatörlerin üretilmesi ve eldivenin üzerine yerleştirilmesi      |
| 3                 | STM32 Nucleo-F429ZI Geliştirme Kartı                                       | 601,47       | 1    | 601,47  | Aktüatörlerin eldivene entegrasyonu                                |
| 4                 | Selenoid Valf  | 141,08       | 20   | 2821,60 | Hava keselerine gidecek havanın kontrolü                           |
| 5                 | Hava Pompası   | 86,90        | 1    | 86,90   | Hava keselerine gidecek havanın basınçlandırılması                 |
| 6                 | Mutlak Basınç Sensörleri   | 74,04        | 10   | 740,40  | Hava keselerindeki hava basıncının ölçülmesi                       |
| 7                 | USB-TTL Dönüştürücü  | 64,49        | 1    | 64,49   | Bilgisayar ve mikrodenetleyici arasındaki haberleşmenin sağlanması |
| 8                 | 4'lü Röle Modülü   | 17,13        | 1    | 17,13   | Hava pompasının kontrolü   |
| 9                 | 12 V 16.5 A Güç Kaynağı  | 176,35       | 1    | 176,35  | Sistemin enerjisinin sağlanması                                    |
| 11                | Pnömatik Boru ve Sarf Malzeme (rekor, dirsek, boru vs.)                    | 150,00       | 1    | 150,00  | Hava akış hatlarının oluşturulması                                 |
| 12                | Elektronik sarf Malzeme (transistör, direnç, diyot, kapasitans, kablo vs.) | 200,00       | 1    | 200,00  | Kontrol sistemindeki komponentlerin oluşturulması                  |
| <b>Toplam (₺)</b> |  |              |      | 5872,22 |  |

\* Maliyetler 1 USD = 8,56 TL ve 1 Euro = 10,38 TL kurları ile hesaplanmıştır.

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

Projenin çıktısı olan yumuşak robotik eldivenin öncelikli hedef kitlesi, felç geçirmiş hastalardır. Bu problemi, dünyada yılda ortalama 13,7 milyon kişi yaşamaktadır. Türkiye’de ise felç geçirme sıklığı 176/1.000.00’dır [16]. Yaşlı popülasyonda inme geçirme oranı yılda 2/1.000 insidansı ile gençlere göre fazladır [17]. 55-64 yaşları arasında yıllık insidans 1-2/1.000 iken 85 yaşın üzerinde ise %2’ye kadar ulaşmaktadır [18].

Projede geliştirilen yumuşak aktüatör robotik sistemi, alternatif kitlelerde de kullanım alanı bulabilir. Rijit robotlarda eksikliği yaşanan kavisli ve düzensiz yüzeylere uyum sağlama yeteneği ile tarım alanında, meyve ve sebzeleri otomatik olarak toplanırken olası zararlarını en aza indirecektir. Denizaltı alanında, mercan gibi hassas canlıları daha güvenli bir şekilde toplamaya fayda sağlayacaktır. Sanayi alanında, geleneksel robotik kollara kıyasla farklı şekil ve boyutlara sahip cisimlere uyum sağlayabildiği için kullanılabilir. Tablo 5, projemize benzer yürütülen projelerin kullanım alanlarını içermektedir [19].

**Tablo 5.** Avrupa yumuşak robotik teknoloji projeleri (ec.europa.eu) [19]

| Proje İsmi   | Alan                     |
|--------------|--------------------------|
| OCTOPUS      | Deniz                    |
| CFD-OCTOPROP | Deniz                    |
| STIFF-FLOP   | Ameliyat                 |
| Soft-Map     | Yenilebilir Enerji       |
| RoboSoft     | Serbest Alan             |
| SMART-E      | Sanayi                   |
| ANSWER       | Aktivasyon/Etkinleştirme |
| INTERACT     | Giyilebilir Teknoloji    |
| SOMA         | Tarım                    |
| I-SUPPORT    | Kişisel Bakım            |
| XoSoft       | Kişisel Bakım            |
| SoWe         | Nesnelerin İnterneti     |

## 9. Riskler

Projede ortaya çıkabilecek problem ve çözüm önerisi Tablo 6’da verilmiştir. Risk skoru, 5x5 matris yöntemi kullanılarak Tablo 7’de verilen olasılık ve şiddetin çarpımı alınarak hesaplanmıştır.

**Tablo 6.** Projede ortaya çıkabilecek risk ve çözüm önerisi (B Planı)

| Risk   | Risk Yöntemi (B Planı)   | Risk Skoru           |
|--|--|----------------------|
| Aktüatörün içine yerleştirilen termoplastik filminden yapılmış hava kesesinin patlaması gerçekleşebilir. | Hava keselerinin temini sağlanabilir veya aktüatörlere hava geçirmeyen laminasyon uygulaması gerçekleştirilebilir. | 3 x 2 = 6<br>(Düşük) |

**Tablo 7.** Risk skoru matrisi

| Olasılık         | ŞİDDET (ETKİ)  |            |                  |              |                       |
|------------------|----------------|------------|------------------|--------------|-----------------------|
|                  | 1<br>Çok Küçük | 2<br>Küçük | 3<br>Orta Derece | 4<br>Yüksek  | 5<br>Çok Yüksek       |
| 1<br>Çok Küçük   | Anlamsız<br>1  | Düşük<br>2 | Düşük<br>3       | Düşük<br>4   | Düşük<br>5            |
| 2<br>Küçük       | Düşük<br>2     | Düşük<br>4 | Düşük<br>6       | Orta<br>8    | Orta<br>10            |
| 3<br>Orta Derece | Düşük<br>3     | Düşük<br>6 | Orta<br>9        | Orta<br>12   | Yüksek<br>15          |
| 4<br>Yüksek      | Düşük<br>4     | Orta<br>8  | Orta<br>12       | Yüksek<br>16 | Yüksek<br>20          |
| 5<br>Çok Yüksek  | Düşük<br>5     | Orta<br>10 | Yüksek<br>15     | Yüksek<br>20 | Tolere Edilemez<br>25 |

## 10. Kaynaklar

- [1] Thalman, C., & Artemiadis, P. (2020). A Review Of Soft Wearable Robots That Provide Active Assistance: Trends, Common Actuation Methods, Fabrication, And Applications. *Wearable Technologies*, 1, E3.
- [2] Cianchetti, M., Laschi, C., Menciassi, A., & Dario, P. (2018). Biomedical applications of soft robotics. *Nature Reviews Materials*, 3(6), 143–153. <https://doi.org/10.1038/s41578-018-0022-y>.
- [3] Polygerinos, P., Correll, N., Morin, S. A., Mosadegh, B., Onal, C. D., Petersen, K., Cianchetti, M., Tolley, M. T., & Shepherd, R. F. (2017). Soft Robotics: Review of Fluid-Driven Intrinsically Soft Devices; Manufacturing, Sensing, Control, and Applications in Human-Robot Interaction. *Advanced Engineering Materials*, 19(12), 1700016. <https://doi.org/10.1002/adem.201700016>.
- [4] World Stroke Day Campaign. (n.d.). World Stroke Organization. Retrieved May 16, 2021, from <https://www.world-stroke.org/world-stroke-day-campaign>
- [5] Pomeroy, V., Aglioti, S. M., Mark, V. W., McFarland, D., Stinear, C., Wolf, S. L., Corbetta, M., & Fitzpatrick, S. M. (2011). Neurological Principles And Rehabilitation Of Action Disorders: Rehabilitation Interventions. *Neurorehabilitation and neural repair*, 25(5 Suppl), 33S–43S.
- [6] Miller, E. L., Murray, L., Richards, L., Zorowitz, R. D., Bakas, T., Clark, P., Billinger, S. A., & American Heart Association Council on Cardiovascular Nursing and the Stroke Council (2010). Comprehensive overview of nursing and interdisciplinary rehabilitation care of the stroke patient: a scientific statement from the American Heart Association. *Stroke*, 41(10), 2402–2448.
- [7] Imran, A. (n.d.). Soft Robotic Hand for Stroke Rehabilitation - Alishba Imran. Medium. Retrieved May 21, 2021, from <https://alishbaimran.medium.com/soft-robotic-hand-for-stroke-rehabilitation-2dc7f9be69009>
- [8] Sloane, E., Dowling, C., Ebert, K., Papadopoulos, E., & Weinstock-Zlotnick, G. (2021). Expected and Unexpected: Preconceptions of Telehealth for Hand Therapy Patients. *HSS Journal*®, 17(1), 94–987.
- [9] Cappello, L., Galloway, K. C., Sanan, S., Wagner, D. A., Granberry, R., Engelhardt, S., Haufe, F. L., Peisner, J. D., & Walsh, C. J. (2018). Exploiting Textile Mechanical Anisotropy for Fabric-Based Pneumatic Actuators. *Soft robotics*, 5(5), 662–674.
- [10] Ge, L., Chen, F., Wang, D., Zhang, Y., Han, D., Wang, T., & Gu, G. (2020). Design, Modeling, and Evaluation of Fabric-Based Pneumatic Actuators for Soft Wearable Assistive Gloves. *Soft Robotics*, 7(5), 583–596.
- [11] Yap, H., Khin, P.M., Koh, T.H., Sun, Y., Liang, X., Lim, J.H., & Yeow, C. (2017). A Fully Fabric-Based Bidirectional Soft Robotic Glove for Assistance and Rehabilitation of Hand Impaired Patients. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2, 1383-1390.
- [12] Connolly F, Wagner DA, Walsh CJ, Bertoldi K. (2019). Sew-Free Anisotropic Textile Composites For Rapid Design And Manufacturing Of Soft Wearable Robots. *Extreme Mechanics Letters*, 27, 52-58.

- [13] Ilievski, F., Chen, X., Mazzeo, A. D., Whitesides, G. M., Shepherd, R. F., Martinez, R. V., Choi, W. J., Kwok, S. W., Morin, S. A., Stokes, A., & Nie, Z. (2014). Soft robotic actuators (US20140109560A1). U.S. Patent & Trademark Office.
- [14] Galloway, K., Walsh, C., Holland, D., Polygerinos, P., Clites, T., Maeder-York, C., Neff, R., Boggs, E. M., & Dubrovsky, Z. (2014). Multi-Segment Reinforced Actuators And Applications (Wo2015066143). European Patent Office.
- [15] Galloway, K., Granberry, R., Sanan, S., Wagner, D., & Walsh, C. (2017). Fabric-Based Soft Actuators (Wo2017120314a1). European Patent Office.
- [16] Ozdemir, G., Ozkan, S., Uzuner, N., Ozdemir, O., & Gucuyener, D. (2000). Türkiye’de beyin damar hastalıkları için major risk faktorleri: Türk Çok Merkezli Strok Çalışması. Türk Beyin Damar Hastalıkları Dergisi, 6(2), 31-5.
- [17] Bamford, J. M., Sandercock, P. A. G., Dennis, M. S., Burn, J. P. S., & Warlow, C. P. (1990). A prospective study of acute cerebrovascular disease in the community: the Oxfordshire Community Stroke Project--1981-86. 2. Incidence, case fatality rates and overall outcome at one year of cerebral infarction, primary intracerebral and subarachnoid haemorrhage. Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, 53(1), 16-22.
- [18] Sadock, B. J., & Sadock, V. A. (2007). Comprehensive Textbook of Psychiatry, Sekizinci Baskı (Çeviri Ed. H Aydın, A Bozkurt). Ankara, Güneş Yayınevi.
- [19] Ansari, Y., Hassan, T., Manti, M., Falotico, E., Cianchetti, M., & Laschi, C. (2015). Soft Robotic Technologies for Industrial Applications.

