

# TEKNOFEST

## HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

### İNSANLIK YARARINA TEKNOLOJİ YARIŞMASI

#### PROJE DETAY RAPORU

**PROJE KATEGORİSİ:** Sağlık ve İlk Yardım

**PROJE ADI:** Giyilebilir Ayak Bileği Rehabilitasyon Robotu

**TAKIM ADI:** YTÜ-BİYOMEKATRONİK

**TAKIM ID:** T3-12614-152

**TAKIM SEVİYESİ:** Üniversite-Mezun

**TAKIM ÜYELERİ:** Emre YILDIRIM, Erhan AKDOĞAN

## İçindekiler

<b>Proje Özeti</b> .....	3
<b>Problem/Sorun</b> .....	3
<b>Çözüm</b> .....	3
<b>Yöntem</b> .....	4
Rehabilitasyon Teorisi .....	4
Sistem Tasarımı .....	5
Mekanik ve Elektronik Tasarım .....	6
Kontrol.....	7
<b>Yenilikçi Yönü</b> .....	7
<b>Uygulanabilirlik</b> .....	8
<b>Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması</b> .....	8
<b>Proje Fikrinin Hedef Kitlesi</b> .....	9
<b>Riskler</b> .....	9
<b>Proje Ekibi</b> .....	9
<b>Kaynaklar</b> .....	10

## Şekiller

<b>Şekil 1.</b> Ayak bileği eklemi hareketleri .....	4
<b>Şekil 2.</b> Dorsifleksiyon/Plantarfleksiyon Hareketleri .....	4
<b>Şekil 3.</b> Baskın dorsifleksiyon kası: tibialis anterior.....	4
<b>Şekil 4.</b> Baskın plantarfleksiyon kasları.....	4
<b>Şekil 5.</b> Giyilebilir ayak bileği rehabilitasyon robotu sisteminin genel yapısı .....	5
<b>Şekil 6.</b> Giyilebilir ayak bileği rehabilitasyon robotu konsept tasarımı.....	6
<b>Şekil 7.</b> Giyilebilir ayak bileği rehabilitasyon robotunun elektronik donanımı.....	6
<b>Şekil 8.</b> Etki – olasılık matrisi .....	9

## Tablolar

<b>Tablo 1.</b> İş Zaman Çizelgesi .....	8
<b>Tablo 2.</b> Malzeme Listesi .....	8
<b>Tablo 3.</b> Projede karşılaşılabilecek muhtemel riskler ve çözüm önerileri tablosu .....	9
<b>Tablo 4.</b> Literatürdeki ayak bileği rehabilitasyon cihazları.....	10

## 1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Ayak bileğinin vücudun en önemli eklemlerinden biri olmasından dolayı bu konuda pek çok medikal araştırma yapılmakta ve büyük bir efor sarf edilmektedir. Ülkemizde ve dünyada birçok insan felç, serebral palsi gibi hastalıklardan, çeşitli omurilik yaralanmalarından, spor kazalarından veya günlük hayatta meydana gelebilen burkulmalardan dolayı ayak bileği yaralanması ve işlev kayıpları yaşayabilmekte ve bu yüzden ayak bileğinin rehabilitasyonuna ihtiyaç duymaktadır. Rehabilitasyonda terapötik egzersizler, tedavinin temel unsurlarından biridir. Böylelikle, spastisitenin azaltılması, kas gücünün artması ve motor kontrolün üst seviyeye çıkarılması sağlanır. Bu proje kapsamında, doğuştan veya çeşitli hastalık veya kazalardan dolayı ayak bileği fonksiyon kaybı veya bozukluğu yaşayarak fizik tedavi ve rehabilitasyona ihtiyaç duyduğu halde, zaman, ulaşım ve maddi imkan bakımlarından bu tedaviden faydalanması güç olan hastalar için çözüm olacak, bu hastaların rehabilitasyonuna destek sağlayacak, taşınabilir, evde kullanıma uygun bir giyilebilir ayak bileği rehabilitasyon robotu geliştirilecektir.

## 2. Problem/Sorun:

Rehabilitasyon hizmetleri geleneksel olarak fizyoterapistlerin el ile tedavileriyle gerçekleştirilmektedir. Bu geleneksel yöntemde, hasta sayılarının fazla, tedavi müddetinin uzun olması ve iş yükünün ağır olması robotların da bu tedavi sürecine katkı sağlaması fikrini doğurmuştur. Bunun yanı sıra rehabilitasyon hizmetleri maliyetli olup, bölgedeki yetişmiş fizyoterapist sayısı yetersiz olabilmektedir. Türkiye’de bir fizyoterapist başına 200 hasta düşmekte olup, bu Avrupa’daki en yüksek rakamdır. Ayrıca, fizyoterapistlerin manuel olarak teşhis ve tedavilerinde de, birçok insan kaynaklı işlemde olduğu gibi, sübjektif durumlar ortaya çıkmakta bu da teşhis ve tedavide çeşitli hataları doğurmaktadır. Diğer bir sorun ağır hastaların tedavilerinde fizyoterapistlerde meydana gelen eklem ve bel rahatsızlıklarıdır. Devlet desteğinin kısıtlı olması ve yukarıda ortaya konan diğer gerekçelerle genellikle fizik tedavi süreçleri yarım kalabilmekte bu da hastanın eklemlerinde geri döndürülemez sonuçlara yol açmaktadır. Hastaların tedavi merkezlerine ulaşımı ayrı bir problemdir. Bu nedenle evde tedavinin sağlanabilmesi hem ulaşım problemini çözecek hem de hastanelerdeki yoğunluğu azaltacaktır. Ayrıca COVID-19 süreci evde tedavinin sağlanabilmesinin önemini ortaya koymuştur.

## 3. Çözüm

Problem kısmında ortaya konan sorunlar süre, maliyet, sübjektif değerlendirme, tedavide aynı şartların tekrarlı şekilde yerine getirilememesi, fizyoterapist sayısının kısıtlı olması ve evde bakım hizmetlerinin sağlanamaması şeklinde özetlenebilir. Bu problemlere ek olarak, bazı hastaların evinden ayrılarak hastane gibi ortamlara gitmelerinin onların psikolojilerine zarar vermesi de sayılabilir. Bu bağlamda, bir fizyoterapistin, hasta kendi ev ortamında olsa bile, onun bağlı olduğu sisteme uzaktan erişerek egzersiz sonuçlarını anlık olarak veya sonradan inceleyebilmesini sağlayan bir sistemin geliştirilmesi, bu probleme çözüm olacaktır. Bu proje çalışmasında ayak bileği rehabilitasyonu için ortaya konan problemlerin çözümüne yönelik, serebral palsi başta olmak üzere kısmi veya tam felçli hastaların fizik tedavi ve rehabilitasyonu için uygun, internet tabanlı uzaktan kontrol edilebilecek donanım yapısı sayesinde evde bakım hizmetlerine uygun bir robotik sistem geliştirilmiştir.

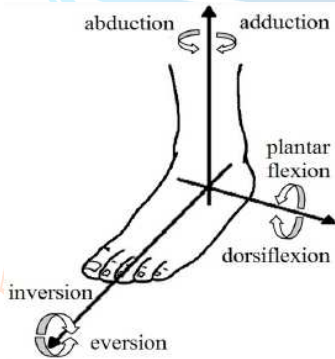
Teşhis ve tedavinin giyilebilir ayak bileği rehabilitasyon robotu ile yapılması sayesinde, bir fizyoterapist, aynı anda birçok hastanın teşhis ve tedavisiyle de ilgilenilecek ve bu da yetmişmiş eleman sayısı eksikliğini ve zaman problemini ortadan kaldıracaktır. Ayrıca fizyoterapistlerin fiziksel yapısından kaynaklı problemlerin de önüne geçilecek ve fizyoterapistlerin iş yükü de hafifletilecektir.

Bu ihtiyaçlara cevap vermek için tasarlanacak olan robotik sistem; ayak bileği dorsifleksiyon ve plantarfleksiyon hareketlerini yaptırabilen (Bkz. Şekil 1, 2), kişinin uzuv boyutuna görev ayarlanabilen, kuvvet ve EMG sensörleri ile ölçümlerin yapıldığı egzersiz modları sayesinde yapay zeka tabanlı değerlendirme yapıp kas derecesini belirleyebilen, rehabilitasyon teorisine göre pasif germe, aktif yardımcı, aktif dirençli, izometrik ve izotonik egzersizler yapabilen bir sistem olacaktır. Egzersizlerin oyun tabanlı görsel biyo geri besleme ile yapılması sayesinde hastaların motor kontrolünün geliştirilmesi de hedeflenmektedir.

## 4. Yöntem

### 4.1 Rehabilitasyon Teorisi

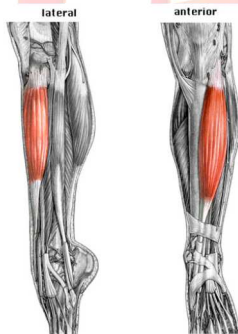
Bu proje kapsamında gerçekleştirilecek olan sistem, rehabilitasyon teorisine, literatürde yer alan önceden yapılan çalışmalara ve geliştirilen mekanizmalar ile metotlara ve fizyoterapistlerin bilgi ve tecrübelerine dayanarak geliştirilecektir. Özetle; dorsifleksiyon ve plantar fleksiyon hareketleri ayak bileği ekseninde yapılabilen hareket çiftlerinden birini temsil etmektedir (Bkz. Şekil 1, 2). EMG sinyali ölçümleri baskın dorsifleksör kası olan tibialis anterior'dan ve plantar fleksiyon kasları olan gastrocnemius ve soleus'tan yapılacaktır [1] (Bkz. Şekil 3,4).



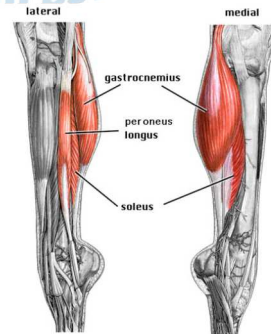
Şekil 1. Ayak bileği ekleminin hareketleri



Şekil 2. Dorsifleksiyon/Plantar fleksiyon Hareketleri



Şekil 3. Baskın dorsifleksiyon kası: tibialis anterior



Şekil 4. Baskın plantarfleksiyon kasları

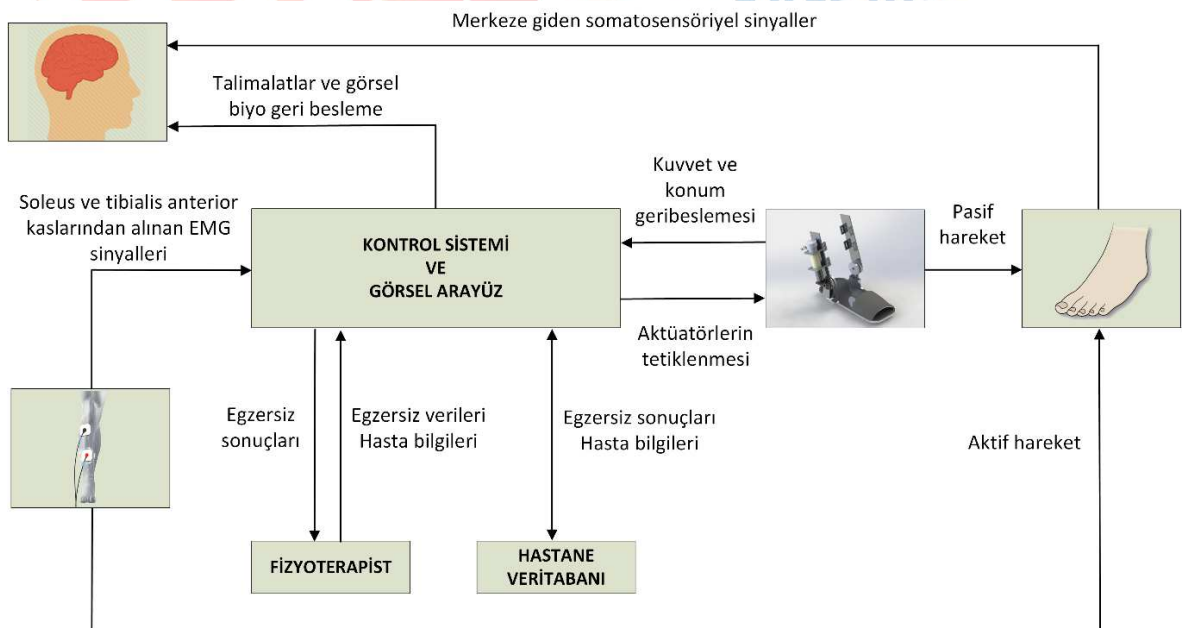
Ayak bileğindeki hareketlerde, her bireyin fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösteren, eklem hareket açıklığı sınırları, maksimum pasif direnç torkları, maksimum istekli kas kasılma büyüklükleri mevcuttur [2,3]. Bu bilgilere dayanarak robotun mekanik tasarımı gerekli hareket açıklıklarına uygun yapılacak, motor ise gerekli momentleri karşılayabilecek şekilde belirlenecektir.

Robot destekli rehabilitasyonun etkililiği, robotun, hastanın iyileşme evrelerine göre uygun egzersiz modlarında çalışmasına, hastaya yeterli desteği verebilmesine, hastanın hareket kısıtlarına göre adapte olabilmesine bağlıdır [4]. Genel olarak, iyileşmenin ilk evrelerinde pasif egzersiz, daha sonra iyileşme gerçekleştikçe sırayla aktif yardımcı egzersiz ve aktif dirençli egzersiz yapılır.

Pasif egzersizde hasta istekli bir kas kasılması yapmamakta, hareket sadece robot tarafından oluşturulmaktadır. Pasif germe de bu tipten bir egzersiz olup, hastanın eklem hareket açıklığını (ROM) geliştirmek için yapılır. Aktif egzersizlerde hareketlere hastanın da istekli bir katılımı olmakta, bu egzersizler kasların ve motor kontrolün geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Fizyoterapistler tarafından uygulanan egzersizlerden adapte edilen bazı ek egzersiz modlarına örnek olarak izotonik (değişken ayak bileği eklem açısı, sabit direnç), izometrik (sabit ayak bileği eklem açısı, değişken direnç) ve izokinetik (sabit eklem açısı değişim hızı, değişken direnç) egzersiz verilebilir.

#### 4.2 Sistem Tasarımı

Hastanın görsel biyo geri besleme olarak belirli görevleri yerine getirebilmesi ve bu sayede ölçüm - değerlendirme yapılabilmesi için görsel arayüz bulunacaktır. Ayrıca bu arayüz ile uzman kişi (fizyoterapist) gerekli egzersiz verilerini, parametrelerini ve hasta bilgilerini sisteme girebilecektir. Uzman kişilerin desteğiyle kural tabanı ve algoritmalar belirlenerek gerekli egzersizleri yüksek doğruluk ve hassasiyetle yerine getirecek bir kontrol sistemi oluşturulacaktır. Cihazın internete erişimi olmasıyla, egzersiz sonuçlarının hastane veritabanına kaydedilmesi ve uzman kişilerin bu bilgilere uzaktan erişebilmesi mümkün olacaktır. Bir insan-makine etkileşimi mevcut olduğundan kontrol metodlarından adaptif empedans kontrol kullanılacaktır. Geliştirilecek kontrol sistemi, arayüz aracılığıyla hastaya gerekli talimatları verecek, hastadan alınan EMG sinyallerini değerlendirecek, önceden belirlenmiş algoritma ve kurallara göre aktüatörlerin tetiklenmesini ve sensörlerden alınan kuvvet, konum geri beslemesi bilgilerinin değerlendirilmesini sağlayacaktır. Egzersizler boyunca veriler kaydedilerek geliştirilen algoritma ile hastanın performans değerlendirilmesi yapılarak, gelişim ve iyileşme durumu raporlanacaktır. Buna göre sistemin genel yapısı Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Giyilebilir ayak bileği rehabilitasyon robotu sisteminin genel yapısı

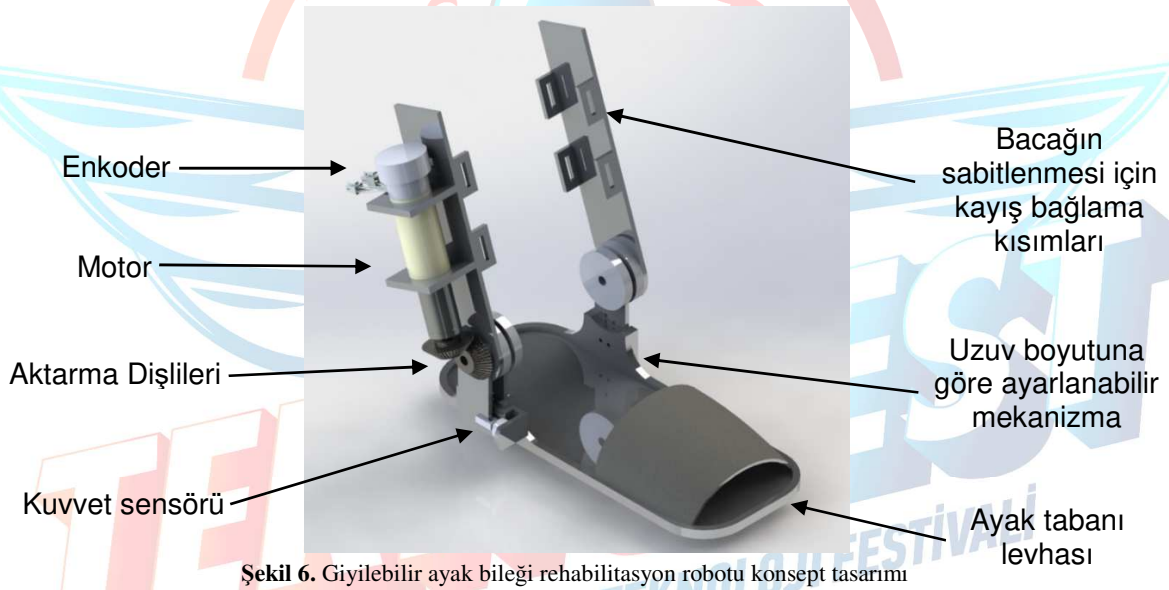
### 4.3 Mekanik ve Elektronik Tasarım

Giyilebilir ayak bileği rehabilitasyon cihazı, dorsifleksiyon/plantarfleksiyon hareketlerini yapabilen tek serbestlik dereceli bir mekanizmaya sahip olacaktır. Bunun yanında, ayağın taban levhasına düzgün bir şekilde oturarak efektif bir egzersiz yapılabilmesi ve hastanın ayak pozisyonunu tabana oturacak hale getirirken eğer bir zorlanma oluyorsa acı çekmemesi, zarar görmemesi için pasif bir şekilde eversiyon/inversiyon açısının ayarlanabileceği bir mekanik tasarım yapılacaktır [5].

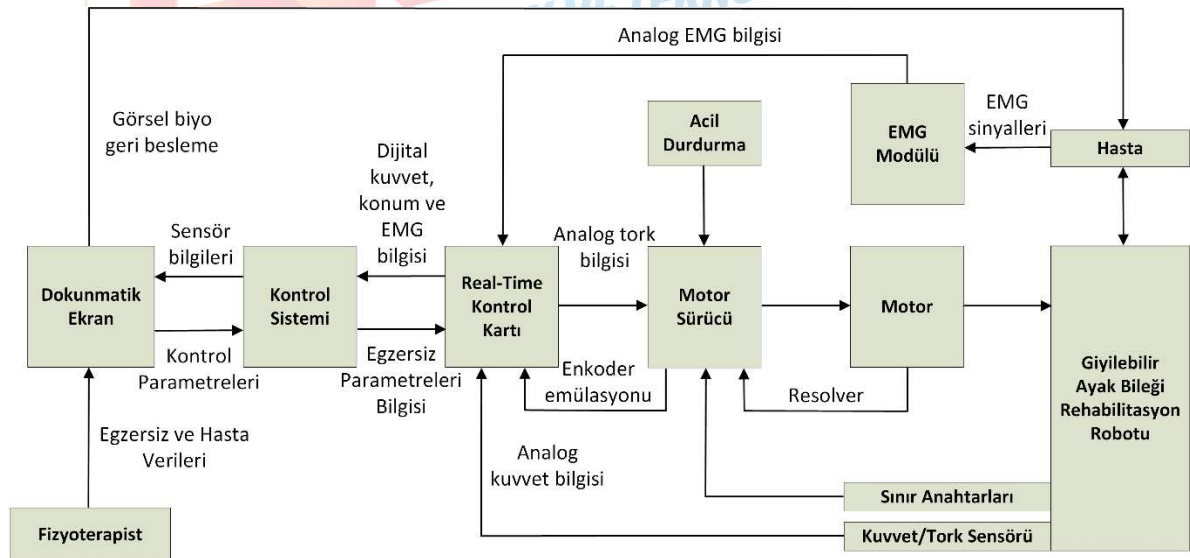
Cihaz taşınabilir olacaktır. Bu yüzden cihazın hafif ve sağlam olması açısından mekanizma duralümin malzemeden yapılacaktır. Ayak tabanının basacağı yer, ayağın temas edeceği kısımlar ve bacağın sabitlenmesi için kullanılacak kayışlar uygun, yumuşak, plastik ve kauçuk malzemelerden yapılacaktır.

Tedavinin uygulanacağı farklı fiziksel özellikteki bireylere göre ayarlanabilecek şekilde, ayak tabanı levhasının aşağı veya yukarı hareket ettirilerek kişiye göre ayarlanabildiği, yeterli toleranslarda, bir mekanizma tasarlanmıştır [6].

Konsept tasarımı yapılmış olan giyilebilir ayak bileği rehabilitasyon cihazı ve kısımları Şekil 6'da ve gerekli kontrolün ve hareketlerin sağlanması için kullanılacak elektronik donanımların blok diyagramı Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Giyilebilir ayak bileği rehabilitasyon robotu konsept tasarımı



Şekil 7. Giyilebilir ayak bileği rehabilitasyon robotunun elektronik donanımı

#### 4.4 Kontrol

Manuel rehabilitasyon tedavisi sırasında bir fizyoterapistin hastaya göre uygun desteği dinamik bir şekilde sağlaması, robotik bir sistemde empedans kontrol ile modellenebilir. Çünkü empedans kontrol ile robotun çevre ile olan etkileşime karşı nasıl bir direnç göstereceği ayarlanabilir [6]. Fakat egzersiz seansları ve süresi boyunca hastanın hareket kabiliyeti ve enerjisi değiştiği için hastanın kapasitesi ve gelişimine uygun olarak empedans parametreleri periyodik olarak güncellenmelidir [10]. Bu yüzden kontrol olarak adaptif empedans kontrol kullanılmalıdır. Bu metodun, hastanın kapasitesini algılama ve parametreleri esnek bir şekilde ayarlayabilme özelliğinden dolayı, rehabilitasyon görevleri sırasında yüksek bir performans gösterdiği görülmüştür [8, 9].

#### 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

**Hafif ve Taşınabilir Yapı:** Mevcut çalışmalara bakıldığında geliştirilen ayak bileği rehabilitasyon robotlarının büyük, ağır ve hantal yapıda olduğu görülmektedir. Bu projedeki robot ise hafif ve taşınabilir bir yapıda tasarlanacaktır.

**Ölçüm ve Değerlendirme Yapabilme:** Önceki çalışmalara bakıldığında bu robotların genelde sadece belirli egzersizleri yapıp, sensör verilerini kullanıcıya bildirme üzerine kurgulandığı görülmektedir. Bu çalışmada, fizyoterapistlerin bilgi ve tecrübelerinden de faydalanarak bileğin aktif ve pasif özelliklerini ölçüp değerlendirme yapabilen yapay zeka tabanlı algoritma geliştirilecektir.

**Ayarlanabilir Uzunluk ve Açısı:** Önceki robotların birçoğunda olmayan, ayarlanabilir eversiyon/inversiyon açısı eklenecektir. Ayrıca robot, ayak bileği dönme eksenini ile taban arasındaki yüksekliğin ayarlanabildiği mekanizmaya sahip olacaktır.

**Kolay Kullanım:** Hasta ve fizyoterapist açısından kullanımı kolay ara yüz tasarlanacak ve görsel biyo geri besleme sayesinde efektif bir egzersiz ve değerlendirme sağlanacaktır.

**Yüksek Hassasiyet ve Doğruluk:** Konvansiyonel kontrolör olarak yapay zekâ destekli adaptif empedans kullanan, fizyoterapistlerin bilgi ve tecrübelerinden faydalanılarak geliştirilecek yapay zekâ destekli zeki kontrol algoritmaları sayesinde güncel ve efektif egzersiz metotlarını doğrulukla uygulayabilen bir sistem olacaktır.

**Yerli Cihaz:** Rehabilitasyon robotlarının 20 senelik bir geçmişi olup son 15 senede kısmi olarak ürünler ticarileşebilmiştir. Rehabilitasyon robotları alanında bilimsel bilgi ülkemizde oluşmamıştır. Rehabilitasyon robotları alanında ürün geliştirip satabilen Türkiye’de sadece bir şirket bulunmaktadır. Cihaz muadillerine göre üstün ve yeter özelliklere sahip olduğundan, yerli imkânlarla geliştirilerek düşük maliyetlerle üretilebileceğinden ve sağlık alanındaki teknolojik cihazlar konusunda dışa bağımlılığı azalttığından ülkemize katma değer sağlayacak bir projedir. Üretim maliyetlerinin yurt dışından direk cihaz almaya göre daha uygun olmasını takiben ülkemizdeki birçok hastanın devlet desteğiyle de bu cihaza ulaşımı da kolaylaşacak ve ihtiyacı olanlar bu imkândan rahat bir şekilde faydalanabileceklerdir. Projenin hedeflerine ulaşılması ile evde sağlık hizmetlerinin yaygınlaştırılması, sağlık hizmetlerinin kapasitesinin artırılması mümkün olacaktır. Proje, sağlık alanında teknolojinin efektif bir şekilde kullanılması açısından bu alandaki Ar-Ge faaliyetlerinin daha da artması için başarılı bir örnek teşkil edecektir. Bu çalışma sonucunda sağlık teknolojisi alanında rekabetçilik ve verimlilik artışı sağlanacak ayrıca sağlık teknolojileri alanında dışa bağımlılık azaltılacaktır. Vatandaşlarımızın sağlık hizmetlerinden daha düşük maliyetlerle faydalanabilmesi sağlanacaktır.

Literatürdeki cihazlara ait özellikleri gösteren Tablo 4 en son sayfada verilmiş, bu kısımda sadece yeniliklerden bahsedilmiştir.

## 6. Uygulanabilirlik

Proje konusu sistem ihtiyacı Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon ABD araştırmacıları tarafından tanımlandığından gerçekten faydalı ve pratiğe dönük bir sistemdir. Literatürdeki çalışmalara da bakıldığında ayak bileği rehabilitasyon robotlarının hastaların rehabilitasyonunda büyük bir pozitif etkiye sahip olduğu görülmektedir. Mekanizmanın üretimi konusunda YTÜ-Teknopark Prototip Atölyesi'nden destek alınacaktır. Proje çalışmaları YTÜ Biyomekatronik Laboratuvarı'nın imkânlarından faydalanılarak yürütülecektir. Proje ticarileşme potansiyeline sahiptir ve bu konuda YTÜ-Teknopark ile iletişim halinde olunacaktır.

## 7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Tablo 1. İş-Zaman Çizelgesi

#	İŞ PAKETLERİ	DÖNEMLER									
		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1	Kavramsal tasarım, literatür taraması ve teorik çalışmalar										
2	Mekanik tasarım, analiz ve üretim										
3	Elektronik donanımın tasarımı ve üretimi										
4	Kontrol algoritmalarının gerçekleştirilmesi										
5	Sistem entegrasyonu										
6	Sistem test çalışmaları										

Tablo 2. Malzeme Listesi

#	MALZEME ADI	DÖNEMLER			
		Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos
1	Gömülü Sistem (RPI 4 8 GB)			₺901	
2	RPI Dokunmatik Ekran 7"			₺691	
3	2x Kas Sensörü Seti (Myoware)				₺965
4	Minyatür Yük Hücresi (MNT-LC)			₺2.336	
6	Geliştirme Kiti (TI F28379D)	₺442			
7	Mekanizma Üretimi		₺5.310		
8	Mekanik ve Elektronik Sarf		₺885		
				<b>Toplam:</b>	<b>₺11.530</b>



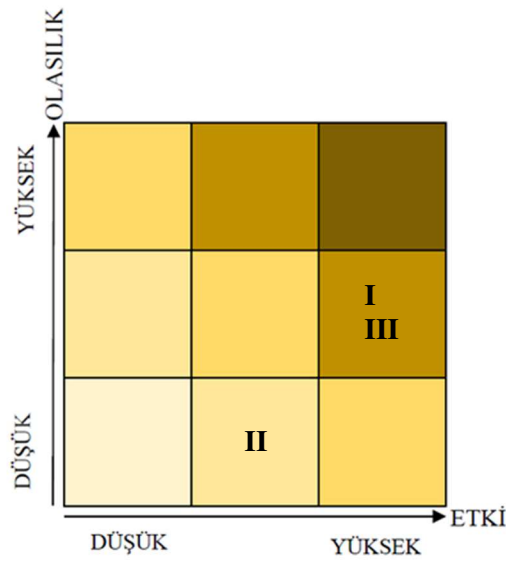
## 8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

Proje kapsamında geliştirilecek sistem, 10-18 yaş aralığında, serebral palsi tanısı ile takip edilen ve fizik muayenesinde ayak bileğinde spastisite, kuvvet kaybı tespit edilen kişiler ile 18-65 yaş aralığında, inme tanısı ile takip edilen ve fizik muayenesinde ayak bileğinde spastisite, kuvvet kaybı tespit edilen kişilerdir.

## 9. Riskler

**Tablo 3.** Projede karşılaşılabilecek muhtemel riskler ve çözüm önerileri tablosu

No	En Önemli Riskler	Risk Yönetimi (B Planı)
I	Mekanik tasarım ve üretimde istenilen hedeflere ulaşamama	Mekanik tasarımın güncellenerek, gerekli görülen aksamın tekrar üretimi
II	Test çalışmaları esnasında elektronik donanımda meydana gelebilecek arızalar	Arıza giderilmesi veya laboratuvarında mevcut olan sistemlerin kullanımı
III	Rehabilitasyon teorisi alanında tecrübe ve bilgi eksikliği	Alanında uzman fizyoterapistlerden destek alınması



**Şekil 8.** Etki – olasılık matrisi

## 10. Proje Ekibi

### Takım Üyeleri:

Adı Soyadı	Projedeki Görevi	Okul	Projeye veya problemle ilgili tecrübesi
Erhan AKDOĞAN	Takım Lideri	Yıldız Teknik Üniversitesi	FİZYOTERABOT© FİZYOTERABOT©/W1 DIAGNOBOT©
Emre YILDIRIM	Takım Üyesi	Yıldız Teknik Üniversitesi	Yüksek Lisans Tezi

## 11. Kaynaklar

- [1] Fujisawa, H., Suzuki, H., Nishiyama, T., & Suzuki, M. (2015). Comparison of ankle plantar flexor activity between double-leg heel raise and walking. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(5), 1523–1526. doi:10.1589/jpts.27.1523
- [2] Alvarez-Perez, M. G., Garcia-Murillo, M. A., & Cervantes-Sánchez, J. J. (2019). Robot-assisted ankle rehabilitation: a review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 1–15. doi:10.1080/17483107.2019.1578424
- [3] Moraux et al.: Ankle dorsi- and plantar-flexion torques measured by dynamometry in healthy subjects from 5 to 80 years. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2013 14:104.
- [4] Akdoğan, E., & Adli, M. A. (2011). The design and control of a therapeutic exercise robot for lower limb rehabilitation: *Physiotherobot. Mechatronics*, 21(3), 509-522.
- [5] Homma, K., & Usuba, M. (2007). Development of Ankle Dorsiflexion/Plantarflexion Exercise Device with Passive Mechanical Joint. 2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics.
- [6] Isman, R. E., Inman, V. T., & National Society for Crippled Children and Adults. (1968). Anthropometric studies of the human foot and ankle. San Francisco: Biomechanics Laboratory, University of California.
- [7] Hogan, N. (1985). Impedance control: An approach to manipulation: Part II—Implementation. *Journal of dynamic systems, measurement, and control*, 107(1), 8-16.
- [8] Kwakkel, G., Kollen, B. J., & Krebs, H. I. (2008). Effects of robot-assisted therapy on upper limb recovery after stroke: a systematic review. *Neurorehabilitation and neural repair*, 22(2), 111-121.
- [9] Marchal-Crespo, L., & Reinkensmeyer, D. J. (2009). Review of control strategies for robotic movement training after neurologic injury. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 6(1), 20.
- [10] Koopman, B., Van Asseldonk, E. H., & Van der Kooij, H. (2013). Selective control of gait subtasks in robotic gait training: foot clearance support in stroke survivors with a powered exoskeleton. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 10(1), 3.

**Tablo 4.** Literatürdeki ayak bileği rehabilitasyon cihazları

Yıl	Yazar	Ser. Der.	Egzersiz Türü	Ölçülüp Kaydedilen Bilgiler	Taşınabilirlik	Ölçüm ve Değerlendirme	Egzersizdeki Yenilik	Aktuatör	Kontrol Yöntemi	Sensör
1999	Girone [1]	6	Pasif, İzotonik	ROM, Eklem Torku	Sabit	Pasif özellikler	Yok	Pnömatik	Pozisyon+ Kuvvet Kontrol	Kuvvet Tork
2006	Yoon [8]	4	Pasif, İzotonik	ROM, Eklem Torku	Sabit	Pasif özellikler	Görsel Arayüz	Pnömatik	Konum + Empedans Kontrol	Basınç
2007	Homma [10]	1	Pasif	ROM, Eklem Torku	Sabit	Pasif Özellikler	Ayarlanabilir İnversiyon Eversiyon	Step Motor	PID Kontrol	Basınç Tork
2008	Lin [4]	1	Pasif, İzotonik	ROM, Eklem Torku	Sabit	Pasif özellikler	Yok	AC Motor	Bulanık PD + Kuvvet ve Pozisyon Kontrol	Tork
2009	Saglia [5]	2	Aktif yardımcı	ROM, Eklem Torku	Sabit	Pasif özellikler	Yok	Pnömatik	Pozisyon+ Admitans Kontrol	Kuvvet Tork
2010	Gao [22]	1	Pasif	Eklem Torku, Ultrasonik Görüntü, ROM	Sabit	Pasif özellikler	Zeki Germe Egzersizi	DC Motor	PID Kontrol	Tork
2012	Jamwal [7]	3	Pasif	ROM, Eklem Torku	Sabit	Pasif özellikler	Yok	Pnömatik	Adaptif Bulanık Mantık	Kuvvet
2015	Zhou [2]	1	Pasif, İzotonik	Hız, ROM, Eklem Torku, EMG sinyalleri	Sabit	Aktif ve pasif özellikler	PNF metodu ile pasif germe	AC Motor	PID Kontrol	Tork EMG
2016	Ren [3]	1	Pasif, İzotonik, Aktif Yardımlı, Aktif Dirençli	Hız, ROM, Eklem Torku,	Taşınabilir ve Giyilebilir	Aktif ve pasif özellikler	Oyun tabanlı (görsel arayüz destekli) egzersiz	DC Motor	PID Kontrol	Kuvvet
2017	Ayas [6]	2	Pasif	ROM, Eklem Torku	Sabit	Pasif özellikler	Yok	DC Motor	Bulanık Mantık Tabanlı Adaptif Admitans Kontrol	Kuvvet
2020	YTÜ-Biyomekatronik	1	Pasif, Aktif Yardımlı, Aktif Dirençli, İzometrik	Hız, ROM, Eklem Torku, EMG sinyalleri	Taşınabilir ve Giyilebilir	Aktif ve pasif özellikler	Görsel arayüz destekli egzersiz, zeki pasif germe, EMG tabanlı kontrol.	DC Motor	Adaptif Empedans Kontrol + Yapay Zeka	EMG Kuvvet Konum