

**Proje Ana Alanın : Teknolojik Tasarım**  
**Proje Tematik Alanı : Biyomedikal Cihaz Teknolojileri**  
**Projenin Adı : HAYAT (Hastalıkların Yazılımla Tespiti)**

## İçindekiler

ÖZET.....	2
1. AMAÇ.....	2
1.1. Problem.....	2
1.2. Projenin Amacı.....	2
2. GİRİŞ.....	3
2.1 Nörodejeneratif, Ortopedik ve Romatolojik Hastalıklar Nedir ?.....	3
2.2 Yürüme ve Yürüme Analizi Nedir? .....	3
2.3 Yürüyüş Bozukluklarına Yönelik İstatistikler .....	4
2.4 Literatür Taraması.....	4
2.5 Mevcut Durum.....	5
2.6 Projemizin Önemi .....	5
2.7 Projemizin Çıkış Noktası.....	6
3. YÖNTEM.....	6
3.1 Oluşturduğumuz Prototipler .....	6
3.1.1 Mekanik Prototipler .....	6
3.1.2 Yazılımsal Çözümler .....	10
3.2 Proje İşleyiş Planı .....	15
3.3 Maliyet ve Uygulanabilirlik .....	16
3.4 Cihazlarımızın Patentlenmesi.....	16
4. PROJE İŞ-ZAMAN ÇİZELGESİ.....	16
5. BULGULAR.....	17
6. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	18
8. KAYNAKLAR.....	20

## ÖZET

Yürüme, bir yerden başka bir yere gidebilmek için tekrarlanan ritmik hareketler zinciridir. Bireylerin yürüme şekli; özellikle ortopedik, romatolojik ve nörodejeneratif birçok sağlık sorununun tespitinde kritik rol oynamaktadır ancak bu sağlık sorunlarının tespiti sırasında hastalar çeşitli güçlüklerle karşılaşmaktadır. HAYAT (Hastalıkların Yazılımla Tespiti), bu zorlukları en aza indirmek, hastaların hastaneye bağımlı olmasını önlemek, yürüyüş bozukluğunun bulunduğu hastalıkların teşhis ve tedavi süresini kısaltıp verimliliğini artırmak amacıyla tasarlanan yazılımsal ve mekaniksel bileşenleri bir araya toplayan bir bütündür. Elektrotab, Elektrokas, Elektronab, Elektroimu cihazlarımız, hasta konforu göz önünde bulundurarak giyilebilir teknolojilere uygun olacak şekilde tasarlanmıştır. Cihazlarımız; hastaların yürüyüş verilerini, en iyi şekilde algılayıp mobil uygulamamıza göndermektedir. Gönderilen verilerin makine öğrenmesi algoritmalarıyla yapılan analizi sonucu hastanın tıbbi sağlık durumu tespit edilmektedir. Yapay zekâ tarafından konulan teşhisler doktor tarafından onaylandıktan sonra her hasta için özelleştirilmiş tedavi yöntemleri sunulmaktadır. Sunulan tedavi yöntemleri hasta tarafından uygulanırken süreç kameralar aracılığıyla kayıt altına alınmakta, alınan kayıtların görüntü işleme sistemiyle analizi sonucu tedavinin hastanın bünyesi üzerindeki etkisi ve verimliliği tespit edilmektedir. Elde edilen tüm veriler simülasyon aracılığıyla üç boyutlu ortamda gösterilmekte, hastadan alınan değerler anlık olarak analiz edilip güncel tablo grafikleri şeklinde hastaya sunulmaktadır. Yapılan tüm analiz ve değerlendirmelere göre hastanın sonraki tedavi aşamalarına yönelik çözümler sunulmaktadır. Prototiplerimizin yapılışının ardından ürünlerimiz ve sistemlerimiz simülasyon, sensör ölçüm kalitesi ve makine öğrenmesi doğruluk oranı testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucu ürünlerimiz ve sistemlerimizin oldukça yüksek doğruluk oranlarına sahip olup tıbbi sonuçlara çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak HAYAT, yürüyüş bozukluğunun semptom olduğu hastalıklarının teşhis ve tedavisi için yeni ve gelişime açık olan bir sistemdir.

**Anahtar kelimeler:** yürüme analizi, makine öğrenmesi, yürüyüş bozukluğu, tedavi, teşhis

## 1. AMAÇ

### 1.1. Problem

Yürüme verileri, günümüzde ortopedik, romatolojik ve nörodejeneratif hastalıkların teşhisinde büyük öneme sahiptir. Bu verileri elde etmede yaygın olarak kullanılan elektronik sağlık cihazları ve sensörlerin; yüksek maliyetli, ithal, karmaşık yapılı, hızlı arızalanan ve onarımı zor olan ürünler olması çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Bu cihazların kişiye özel verileri kullanmadan, kısıtlı ortam ve sürede ölçüm yapması da, sonucun doğruluk oranını düşürmektedir. Ayrıca, mevcut cihazların sayısının yetersizliği hasta yoğunluğu oluşmasına ve daha az hastanın teşhis imkânından yararlanabilmesine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra mevcut sistemlerin herhangi bir makine öğrenimi algoritması kullanmadan verileri değerlendirmesi ve verileri birbiri ile ilişkilendirmeden sonuç üretmesi elde edilen sonuçların doğruluk oranlarını düşürmektedir.

Mevcut tedavi yöntemlerinde, yürüyüş bozukluğuna sahip hastaların tedavi için sıklıkla hastanede bulunması gerekmektedir. Bu durum, özellikle kronik hastalığa sahip hastalar için zorluk oluşturmaktadır. Hastane dışında devam eden fizik tedavi süreci verilerinin gerçek zamanlı takip edilememesi de tedavinin etkinliğinin doğru oranda ölçülememesine yol açabilmektedir.

Sonuç olarak, mevcut sistemler, hastaların hastanelere bağımlı kalmasına, teşhis ve tedavi sürecinin uzamasına, doğruluk oranının düşmesine, tedavi süresinin ve maliyetinin artmasına neden olmaktadır.

### 1.2. Projenin Amacı

HAYAT'ın (Hastalıkların Yazılımla Tespiti) temel amacı; doğuştan ya da sonradan gelişen ortopedik, romatolojik ve nörodejeneratif hastalıkları; ayak, ayak bileği ve bacadan özel sensörler aracılığıyla anlık olarak toplanan yürüyüş, nabız ve kas ölçüm verilerini makine öğrenimi algoritmalarına entegre ederek kullanıcının teşhis ve tedavi süreçlerinin daha etkili, hızlı ve yapay zekâ destekli bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktır.

HAYAT, her birey için özelleştirilmiş veri toplama ve analiz süreçlerini kapsamaktadır, bu sayede elde edilen sonuçların kesin ve güvenilir olmasını; gelişmiş veri modelleme yöntemleri ile nörodejeneratif, ortopedik ve romatolojik hastalıkların daha erken teşhis edilmesini hedeflemektedir. Bu durum hastaların tedavi sürecine daha erken başlamasına ve daha iyi bir sonuç elde etmesine yardımcı olacaktır. Her hastaya özel olarak hazırlanan tedavi yöntemleri ile hastalar daha etkili bir tedaviye ulaşabileceklerdir. Bu sayede hastaların iyileşme süreleri kısalacak ve yaşam kaliteleri artacaktır. Tüm bunların yanı sıra HAYAT, günümüzde kullanılan yöntemlere göre daha uygun maliyetli olmasıyla daha fazla hastaya ulaşılmasını sağlayacak ve tedavinin erişilebilirliği artacaktır.

Sonuç olarak HAYAT, yürüyüş bozukluğunun semptom olduğu hastalıklarının teşhis ve tedavisi için önemli bir yeniliktir. Bu sistem, hastalıkların daha erken teşhis edilmesini, daha etkili bir tedavi uygulanmasını ve daha uygun maliyetli hizmet alınmasını sağlayarak hastaların hastaneye bağımlı olmasını engellemeyi amaçlamaktadır.

## **2. GİRİŞ**

### **2.1 Nörodejeneratif, Ortopedik ve Romatolojik Hastalıklar Nedir ?**

Multipl skleroz (MS), amiyotrofik lateral skleroz (ALS), Alzheimer, Parkinson, Huntington, Pick, motor nöron hastalıkları gibi hastalıklar, sinir hücrelerinde hasar yapan hastalıklar ya da nörodejeneratif hastalıklar olarak tanımlanmaktadır. (BAYDAR, 2010)

Ortopedik problemler, hareket ve sinir ile ilgili olan hastalıkları kapsar. Bu hastalıkların tedavi edilmesinde kullanılan bir takım sağlık teknolojileri de vardır. Güncel teknolojilerin olanaklarından yararlanan ortopedi branşı, gelişmeler doğrultusunda hastalara tedavi uygular. (İSOM, n.d.)

Romatolojik hastalıklar eklem tutulumu yapan iltihaplı romatizmalar, Romatoid Artrit, Psöriatik Artrit (Sedef Romatizması), Ankilozan Spondilit, Gut hastalığı, bağ doku romatizmaları, vaskülitler, Sarkoidoz ve Ailevi Akdeniz Ateşi gibi hastalıklardır. (MEMORIAL, n.d.)

Sonuç olarak nörodejeneratif, ortopedik ve romatolojik hastalıklar motor becerileri dolayısıyla yürüyüş sistemini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen hastalıklardır.

### **2.2 Yürüme ve Yürüme Analizi Nedir?**

Yürüme, bir yerden bir yere gidebilmek amacıyla tekrarlanan ritmik hareketler zinciridir (Şekil 1). Yürüme analizi ise bireylerin hareket kalitesini, fonksiyonel kapasitelerini ve potansiyel sağlık risklerini anlamaya yardımcı olan kapsamlı bir değerlendirme yöntemidir.

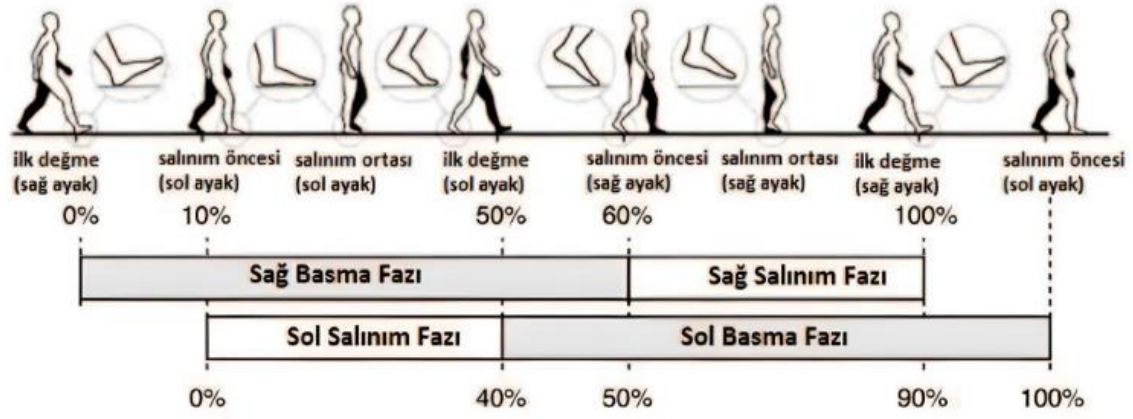
Yürüyüş analiz sistemleri, yürüyüş sırasında vücudun ve uzuvların konumunu, hareketini ve kuvvetlerini ölçmek için çeşitli sensörler kullanır. Bu veriler, bilgisayar tarafından analiz edilir.

Yürüyüş analizinden elde edilen veriler, üç kategoriye ayrılır:

- Kinematik veriler: Bu veriler, eklem açıları, hızları ve ivmelerini içerir. Örneğin, kalça açısının, diz açısının ve ayak bileği açısının zaman içindeki değişimi, yürüyüşün bir aşamasında vücudun nasıl konumlandırıldığını gösterir.

- Kinetik veriler: Bu veriler, ayak tabanındaki kuvvetler, eklem momentleri ve eklem güçlerini içerir. Örneğin, ayak tabanındaki ağırlıkla oluşan tepki kuvveti, yürüyüş sırasında vücudun ağırlığının nasıl dağıtıldığını gösterir.

- Temel yürüyüş verileri: Bu veriler, adım uzunluğu, adım hızı, yürüyüş hızı ve yürüyüş döngüsü süresini içerir. Örneğin, adım uzunluğu, vücudun bir adımda aldığı mesafeyi gösterir. (Yavuzer, 2014)



Şekil 1: İnsanlarda yürüyüş olayının salınım ve basma fazları şeklinde gösterimi

### 2.3 Yürüyüş Bozukluklarına Yönelik İstatistikler

Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, dünya genelinde yaklaşık 1 milyar insan yürüme bozukluğu yaşamaktadır. Bu bozuklukların yaklaşık %50'si, yaşlılarda görülüp çocuklarda görülen yürüme bozukluklarının en yaygın nedeni serebral palsidir. (Dünya Sağlık Örgütü, 2018)

Türkiye'de yürüme bozuklukları konusunda yapılan bir araştırmaya göre, yürüme bozukluğu olan kişilerin oranı %6,1'dir. Bu bozuklukların yaklaşık %40'ı, yaşlılarda görülür. ("Türkiye'de Yürüme Bozuklukları," 2020)

### 2.4 Literatür Taraması

Bu bölümde projemizin araştırma ve geliştirme kapsamını belirlemek için farklı projeler incelenerek özgün ve uygulanabilir bir çözüm ortaya koymaya çalışılmıştır.

**Lind:** Yürüyüş bozukluğunu etkili bir şekilde tespit edebilmek için askeri tarzı bir botun içine bile entegre edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Ayak yere temas halindeyken üzerindeki kuvveti ölçmektedir. Geliştirdikleri sistemde ayak kuvvet /moment (sensörü) ölçümü için algılayıcı olarak rijit bir plaka üzerinde bulunan gerinim ölçerden yararlanılmışlardır. (Lind et al., 2009)

**Tien;** Çalışmalarında, kablosuz eylemsizlik sistemi kullanarak Parkinson hastaları ile sağlıklı bireyleri, yürüyüş analizi ile ayırt etmiştir. Bu çalışmada ivme ve açısal hız verisi ile yer değiştirme hesaplanmaktadır. Yürüyüş örüntüsünün fazlaca çeşitlilik gösterdiği bireylerde, plantar-fleksiyon değişimindeki artış ve tüm Parkinson hastalarında kontrol grubuna kıyasla, dakikadaki adım sayısında artış rapor edilmiştir. (Tien et al., n.d.)

**Faivre;** Tasarladıkları ve ticarileştirdikleri "donanımlı ayakkabı"da, ayakkabı tabanına kuvvet dönüştürüceleri alacak şekilde sekiz adet plaka çifti ve gerinim ölçerler yerleştirmiştir. Bu ayakkabı, yürüyüş sırasında uygulanan anlık dikey kuvvetler ve taban basınçlarını değerlendirmek için tasarlanmıştır.. Piezoelektrik sensörü, jiroskoplu çift eksenli ivmeölçer ve plantar basınç sensöründen yararlanılmıştır. Yüzde ikinin altında bir hata payı bulunmaktadır (Faivre et al., 2004)

**Schepers;** Akıllı sandalet ayakkabının altında kuvvet/moment sensörleri ile donatılmıştır. Ayrıca ayakkabıya iki atalet sensörü yerleştirilmiştir. Atalet ve manyetik alan algılama sistemi ile insan vücudu üzerindeki konumları ve yönelimleri tahmin etmişlerdir. Sandalet, klinikte hastaya giydirilerek, yarım saatlik bir sürede, yürüme zorluğu çeken hastalarla kullanılmıştır. (Schepers, 2009)

**Liu;** Felçli hastaların yürüyüşünde topuğun yere teması olmadığı için yürüyüşü sekiz faza ayırmıştır. Vücudun belirli bölgelerinden açı verileri almıştır. Alt bacakta bulunan ivmeölçerler ile her adımda hesaplanan alt bacak açısının, jiroskobun kalibrasyonunda kullanıldığı akıllı bir sistem geliştirilmiştir (Lui et al., 2009)

Kullanılan sensörler, yurt dışından gelen yüksek maliyetli ürünlerdir. Bu durum, her klinikte kullanılabilecek kadar maliyeti düşük ve kullanımı kolay bir yürüyüş analiz sistemi henüz oluşturulamamasına sebep olmuştur. EKG cihazı gibi hastaya takılabilecek, hastanın sağlık kuruluşu veya laboratuvar ortamı dışında uzun süreli ve odaklanılmamış yürüyüş örüntüsünün analizini

yapabilecek, klinisyelere objektif değerlendirmelerinde yardımcı olabilecek güvenilir ve yaygın bir portatif giyilebilir yürüyüş analiz cihazının kullanımı ile ilgili bir veriye literatürde rastlanmamıştır. (BAKBAK & KAYACAN, 2014)

## 2.5 Mevcut Durum

Günümüzde yapılmış çalışmaların verileri, tek bir sisteme odaklı ve herhangi bir yazılımsal filtre kullanmadan ölçmesi cihazların doğruluk oranını ve verimini düşürmektedir. Çalışmalar teşhis süreçlerine odaklı olup tedavi süreçleri ile ilgili çalışmaları yetersizdir. Ölçülen veriler doktor, hasta ve hemşire ile grafik ve simülasyon halinde anlık olarak paylaşılmadığından hastalar hastanelere bağımlı kalmakta, tedavi ve teşhis süreçlerini uzatıp ücretleri artmaktadır. Çalışmaların çoğunlukla Parkinson hastalığına odaklı olması yürüme bozukluğunun semptom olarak bulunduğu diğer hastalıkların tedavi ve teşhis oranlarını düşürmektedir. Çalışmalarda ölçülen verilerin makine öğrenmesi metotlarıyla desteklenmemesi zaman ve doğruluk oranı kayıplarına neden olmaktadır. Daha önceki hiçbir çalışmada alınan veriler tedavi süreçlerine katkı sağlayacak, gelişmiş makine öğrenmesi algoritmalarını kullanacak, ölçülen verileri bir uygulama aracılığıyla grafik ve simülasyon haline getirecek ve tedavi süreçlerine önemli katkılar sağlayacak şekilde geliştirilmemiştir. Projemizdeki ürünlerimizin literatürdeki diğer ürünler ile karşılaştırılması Tablo-1’de verilmiştir.

Tablo 1.Projemizdeki kitlerin literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılması

Çalışma adı	EKG ve EMG Ölçümü	Açı Ölçümü	Basınç ve Kuvvet Ölçümü	Vücut uzuvlarını algılama	Piezelektrik Sensörü	Gerinim ölçer	Makine öğrenmesiyle grafik ve simülasyon oluşturma, teşhis ve tedavi önerisi
HAYAT	var	var	var	var	var	yok	var
Faivre	yok	var	var	yok	var	var	yok
Lind	yok	yok	var	yok	yok	var	yok
Liu	yok	var	yok	yok	yok	yok	yok
Tien	yok	var	yok	yok	yok	yok	yok
Schepers	yok	var	sadece kuvvet	var	yok	yok	yok

## 2.6 Projemizin Önemi

Günümüzde özellikle yürüme analizinin önemli olduğu ortopedik, romatolojik ve nörodejeneratif hastalıkları tespit etme aşamalarının her birine yanıt verebilen bir çalışma bulunmamaktadır. HAYAT (Hastalıkların Yazılımla Tespiti) ayak, ayak bileği ve bacaklardan aldığı basınç, nabız, açı ve kas kasılma verilerini makine öğrenmesi ile analiz ederek hastalıkların erken teşhisini sağlamaktadır. HAYAT, aldığı verileri hasta, hemşire ve doktor panellerinin bulunduğu mobil uygulamaya yönlendirmektedir. Bu mobil uygulama, doktor tarafından denetlenmiş tedavi yöntemlerini hemşire ve doktora sunmaktadır. Doktor tarafından önerilen tedavinin uygulanma süreci aşamalar haline uygulama tarafından kayıt altına alınıp doktora sunulmaktadır. Uygulama gerçekleştirdiği analizler sonucu önerilen tedavi yöntemlerinin etkinliğini değerlendirerek başarı oranlarını belirlemektedir. Bu tedavi yaklaşımları hastalıkların tedavi süreçlerini analiz ederek hastanın tedavi süresi hızlandırılmaktadır. Hastanın ayak, ayak bileği ve bacak bölgelerinden sürekli olarak toplanan veriler makine öğrenimi algoritmaları ile analiz edilerek hastanın klinik seyri hakkında anlık güncellenen detaylı raporlar sunulmaktadır.

HAYAT, minimal boyutlardaki portatif sensörleri, makine öğrenimi ve nesnelerin interneti sistemlerini kullanan yazılım algoritmaları olmasına dikkat edilerek özenle tasarlanmıştır. Ürünümüzün giyilebilir, olması kullanıcılar ürünlerimizi taşıırken cihazımızın hastaya herhangi bir rahatsızlık vermeden hastadan sürekli olarak veri alabilmesine imkân tanımaktadır. HAYAT, anlık olarak verileri kullanıcıya sunan simülasyon sistemiyle hastaların hastanelere bağımlı olmasını engellemektedir. Kamera görüntüsü ile hastanın eklemlerinin açı ve pozisyonları tespit edilerek hastalığın seyri, tedavinin etkisi ve teşhis hakkında bilgi verilir. Ayrıca hastalar cihazımız yardımıyla yüksek tutarlardaki hastane masraflarından ve sürekli olarak hastaneye gidip gelme gerekliliğinden kaçınma avantajı elde ederler. Ek olarak ürünlerimizden toplanan veriler kişisel verilere uyumlu olduğundan HAYAT yüksek doğruluk oranlarına sahip sonuçlar vermektedir.

## 2.7 Projemizin Çıkış Noktası

Günümüzde sıkça rastlanan bir nörodejeneratif hastalık olan Parkinson hastalığı konusunda yaptığımız araştırmalar sonucunda Parkinson hastalığının yürüyüş bozukluğuna sebep olduğunu fark ettik. Ardından Parkinson ve özellikle yürüyüş bozukluğu ile ilgili araştırma yelpazemizi genişlettik. Yapılan incelemeler ve belirli gözlemler doğrultusunda, yürüyüş bozukluğunun teşhis ve tedavisinde belirli problem yaşadığını tespit ettik. Soruna yönelik etkili çözüm stratejileri geliştirme amacıyla çalışmalarımızı başlattık.

## 3. YÖNTEM

Yöntemimiz, projemizin kitlerini ve yazılımlarını daha iyi anlatabilmek için başlıklara ayrılmıştır. Mekanik prototipler ve yazılımsal çözümler olarak ikiye ayrılmıştır. Belirlenmiş testler, kodlar, inşa sürecinin resimleri; eklerde dosya halinde sisteme harici olarak yüklenmiştir.

### 3.1 Oluşturduğumuz Prototipler

Oluşturduğumuz prototipler mekanik prototipler ve yazılımsal prototipler olarak iki başlık altında incelenmektedir.

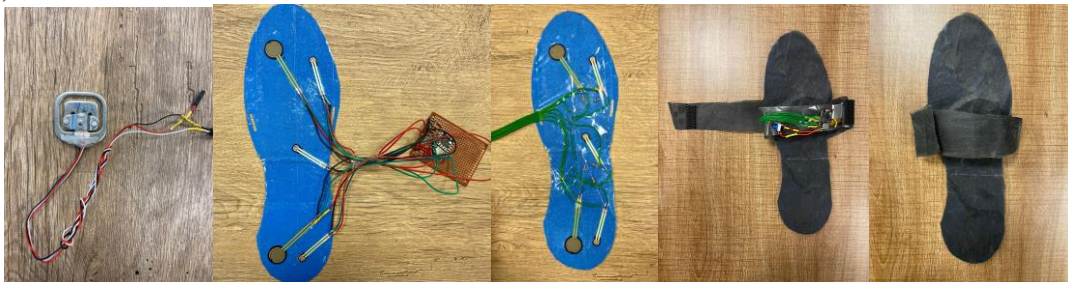
#### 3.1.1 Mekanik Prototipler

Prototiplerimiz daha iyi anlaşılabilmesi için mekanik ürünlerimiz Elektrotab, Elektronab, Elektrokas ve Eelektroimu olacak şekilde ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

##### 3.1.1.1 HAYAT Elektrotab

Ortopedik, romatolojik ve nörodejeneratif hastalıklar için önemli olan ayak basınç verilerini doğru bir şekilde ölçebilmek için; elektronik basınç sensörlerini kullanan, gelişmiş makine öğrenmesi algoritmaları ile desteklenmiş, uzun süreli ölçüm yapan, internete bağlanabilen, mobil uygulama ile doktor ve hasta tarafından verileri anlık olarak görüntülenebilen bir elektronik tabanlıklar oluşturulmuştur. Tabanlığımızın elektronik ve dijital yönleri öne çıktığı için “Elektrotab” ismini almıştır.

Yapılacak olan tabanlıklar ayağın altına yerleştirileceği için kısıtlı boyutlar ve istenilen veriler için gerekli olan sensörlerin devre şeması göz önünde bulundurularak tasarımlar ve prototipler yapılmıştır. Tasarım fikirlerimiz bilgisayar ortamında modellenerek kriter değerlendirmesine tabi tutulmuştur (Tablo 2).



Resim 1: Prototip1

Resim 2: Prototip 2.0

Resim 3: Prototip 2.1

Resim 4-5: Prototip 2.2



Tablo 2. Tasarımların kriterlere göre değerlendirilmesi.

Tasarım	Boyut (mm)	Ağırlık (gr)	Sensör Hata payı	Ölçüm aralığı (Newton)	Gereken güç kaynağı	Bağlantı sayısı	Ek modül	Maliyet
Prototip 1	39x39x8	25gr	% 0.2	1.3 - 500	5V	4	Var (HX711)	3
Prototip 2	17x17x0.5	5 gr	% 0.1	0.2 - 100	4V	3	Yok (Analog)	5

Yapılan değerlendirmeler sonucu (Tablo 2) Prototip 2'nin (Resim-2) daha avantajlı olması sebebiyle Prototip 1'in (Resim-1) üretimi iptal edilmiştir. Ayrıca Prototip 2'deki eksiklikler tespit edilip eksikliklerin giderilmesi için Prototip 2.1 ve Prototip 2.2 üretilmiştir.

Prototip 2.0'da sensör verilerini alabilmek için Arduino Pro Mini kullanılmıştır. Sensör pinleri Arduino Pro Mini'ye bağlanarak veriler beklenen doğruluk oranı ve formatta ölçülmüştür. Prototip 2.1'de Arduino ile ölçülen verilerin internete gönderilmesi amaçlanmıştır. Bunun için Arduino'ya ESP8266 WiFi modülü bağlanmıştır. Prototip 2.2'de Arduino yerine internete doğrudan bağlanabilen ve çalışma hızı daha yüksek olan ESP32-C3 Super Mini kullanılmıştır. Arduino için yazılan kodlar ESP'ye uygun hale getirilmiş ve daha stabil çalışması için çeşitli filtreler uygulanmıştır.

Özetle prototiplerimizin veri işleme hızı, internete uyumlulukları, boyut kriterlerini kıyaslanarak tabanlığımız son haline getirilmiştir.

**Prototip 2.0:** Arduino Pro Mini kullanılmıştır fakat internete bağlanamadığından projemizde kullanımının uygun olmadığı gözlemlenmiştir.

**Prototip 2.1:** Arduino Pro Mini, ESP8266 WiFi modülü ile kullanılmıştır. Arduino üzerinde çeşitli makine öğrenmesi uygulamaları denenmiştir. Fakat Arduino'nun işlem kapasitesi kısıtlı olduğundan makine öğrenmesi uygulanamamıştır.

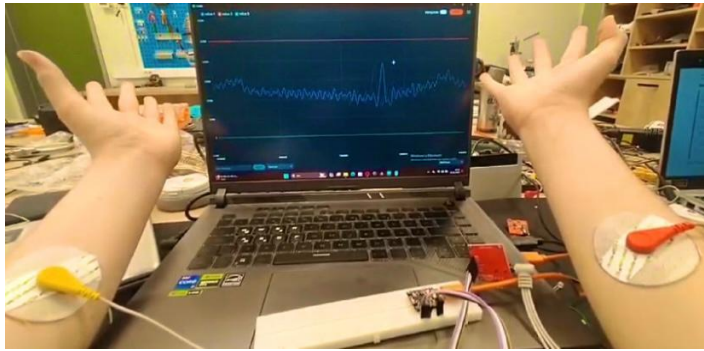
**Prototip 2.2:** Arduino Pro Mini yerine daha minimal, işlem kapasitesi daha geniş ve hızlı olan, internete doğrudan bağlanabilen ve boyut olarak daha küçük olan "ESP32-C3 Super Mini" tercih edilmiştir.

Tabanlığımız, esnek TPU filament ile 3 boyutlu yazıcıdan basılmıştır. FSR400 adı verilen basınç sensörleri ile ayak basıncını %97.6 oranında ölçecek şekilde tasarlanmıştır. Doktorlar ile yaptığımız görüşmeler ve diğer tıbbi ayak tabanlıklarından yola çıkarak basınç sensörlerinin tabanlık üzerinde yerleştirileceği noktalar belirlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucu topuk ve baş parmak için 1.27cm 1M $\Omega$ -100k $\Omega$  100N, ayağın yanı ve iç tabanları için ise 0.8cm 1M $\Omega$ -100k $\Omega$  20N değerlerine sahip basınç sensörleri yerleştirilmiştir. Tabanlığın her iki kenarına açılan deliklerden bir kumaş parçası geçirilip bu kumaş parçasına ESP32C3 Super Mini adındaki mikrokontrolcü ve 180mAH 3.7V Lityum Polimer batarya yerleştirilmiştir. Basınç sensörlerine bağlı olan ince bakır kablolar tabanlığın içinden geçirilip kumaş parçası üzerinden mikrokontrolcüye bağlanmıştır. Tabanlığın alt kısmına yerleştirilen piezoelektrik disklerinin kabloları bataryanın şarj devresine bağlanıp tabanlığa basınç uygulandıkça elektrik üretilmiştir, bu sayede tabalığın bataryası daha uzun süre devreyi çalıştırabilmiştir. Mikrokontrolcü ise seçili ağ aracılığıyla internete bağlanıp sunucumuzda bulunan PHP sayfasına HTTP POST yöntemi ile URL üzerinden veri göndermiştir. PHP sayfası URL üzerinden gelen verileri sunucu üzerinde bulunan MySQL veri tabanına kaydedecek şekilde kodlanmıştır. Unity Engine üzerinden yazılmış mobil ve bilgisayara uyumlu uygulamamız MySQL veri tabanından verileri alarak uygulamada sıcaklık ve çizgi grafiği şeklinde gösterecek şekilde kodlanmıştır.

### 3.1.1.2 HAYAT Elektronab

Elektrokardiografi (EKG) verileri, hastalıkların çok büyük bir kısmı için önemli bir veri kaynağıdır. EKG verilerini; hastanelere bağlı kalmaksızın yüksek doğruluk oranlarıyla yorumlamayı sağlamak amacıyla, makine öğrenmesi algoritmaları ile desteklenmiş bir elektronik bileklik geliştirilmiştir. Bu bileklik; internete bağlanabilmekte, mobil uygulama ile doktor ve hasta tarafından EKG verileri anlık olarak görüntülenmektedir. Ürünümüz makine öğrenmesi ve elektroniği aktif bir şekilde kullanarak nabız ölçümü yaptığı için Elektronab ismi verilmiştir.

Ürünümüzün günlük hayatta kullanılabilmesi, giyilebilir olması ve gelişmiş yazılım teknolojilerine entegre olabilmesi için gereken sistem göz önünde bulundurularak bilgisayar ortamında tasarımlar ve prototipler yapılmıştır. Tasarım fikirlerimiz bilgisayar ortamında modellenerek kriter değerlendirmesine tabi tutulmuştur (Tablo 3).



Resim 6.Elektronab prototip 1'in kolda gösterimi



Resim 7-8.Prototip 2-3

Tablo 3.Tasarımların kriterlere göre değerlendirilmesi. (Yeşil yazılar avantajları temsil etmektedir. Maliyet 10 puan üzerinden değerlendirilmiştir.)

Tasarım	Boyut (mm)	Ağırlık (gr)	Hata payı	Gereken güç kaynağı	Bağlantı sayısı	Ölçüm yaptığı bölge sayısı	Maliyet
Prototip 1	30x36x7	25gr	% 0.7	9V	5	3	6
Prototip 2	15x15x4	5 gr	% 1.1	3.3V	3	1	2

Yapılan değerlendirmeler sonucu (Tablo 3)Prototip 1'in daha hassas ölçüm yapmasına karşın vücuttan ölçüm yapılan bölge mesafelerinin çok fazla olması sebebiyle giyilebilir olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle Prototip 1'in üretimi iptal edilmiştir.

Prototip 1'de veriler AD-8232 nabız sensörü ile istenilen formatta ölçülmüş ve internete gönderilmiştir. Tabanlıktaki Arduino Pro Mini'nin çalışmamasından dolayı ESP32-C3 Super Mini kullanılmıştır. Prototip 2'de AD-8232 yerine daha küçük ve az güçle çalışan HW-827 nabız sensörü kullanılmıştır. Özetle prototiplerimiz giyilebilir teknolojiler göz önünde bulundurularak son haline getirilmiştir.

**Prototip 1:** Veriler daha az hata payıyla ölçülse de sensörün boyutu, birden çok noktadan ölçüm yapılması gerekliliği, giyilebilir teknolojilere entegre edilememesi, pratik olmaması gibi sebeplerinden dolayı Prototip 1'in üretimi durdurulmuştur.

**Prototip 2:** Veriler, boyutu daha minimal olan HW-827 ölçülmüştür. Bu sayede ürünümüz giyilebilir teknolojilere daha uygun olmuştur.

Bilekten ölçüm yapan sensörün, kumaştan oluşan bir bilekliğe yerleştirilerek nabız %98.9 oranında ölçmesi sağlanmıştır. ESP32-C3 Super Mini mikrokontrolcü ve 180mAH 3.7V lityum polimer batarya bilekliğin üst kısmına açılan ceplere yerleştirilmiştir. Nabız sensörü, bilekliğin içinden geçen kablolar aracılığıyla mikrokontrolcüye bağlanmıştır. Mikrokontrolcünde verileri



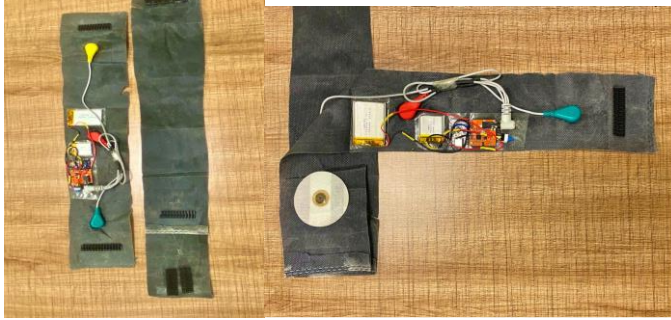
istenilen formatta internete HTTP POST yöntemi ile internet üzerinde bulunan sunucumuzdaki PHP web sayfasına bağlanarak gönderilmiştir. PHP sayfası gelen verileri sunucumuz üzerinde bulunan MySQL veri tabanına kaydedecek şekilde oluşturulmuştur. Unity Engine üzerinden yazılmış, mobil platformlara ve bilgisayara uyumlu uygulamamız MySQL veri tabanındaki verileri algılayıp hastanelerde alınan EKG verilerine uygun formatta ve uygulamada gerçek zamanlı grafik halinde gösterebilecek şekilde kodlanmıştır.

#### 3.1.1.3 HAYAT Elektrokas

Ortopedik, romatolojik ve nörodejeneratif hastalıkların teşhis ve tedavisi için önemli olan yürüyüş verilerinin ölçülmesinde kaslardan alınan veriler büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple çeşitli kasların verilerini; internete gönderebilen, mobil ve bilgisayara uyumlu uygulama ile cihaz verileri hasta ve doktor tarafından anlık olarak görüntülenebilen, gelişmiş makine öğrenmesi algoritmaları ile desteklenmiş ve yüksek doğruluk oranları ile ölçebilen bir cihaz için bacağın bir kısmını saran elektronik ve giyilebilir bir ürün oluşturulmuştur. Ürünümüz kas verilerini, gelişmiş makine öğrenmesi algoritmaları ve gelişmiş elektronik sistemler ile ölçtüğünden Elektrokas ismi verilmiştir.

Ürünümüzün giyilebilir, pratik ve istenilen makine öğrenmesi algoritmalarını kaldırabilecek gelişmişlikte olması göz önünde bulundurularak prototipimiz bilgisayar ortamında tasarlanmıştır. Sensör olarak 3 noktadan ölçüm yapan fakat Elelektronab Prototip 1’de kullanılan EKG sensörünün askine ölçüm noktaları arası mesafenin az olduğu EMG (elektromiyografi) kas değerleri ölçüm sensörü kullanılmıştır.

Ürünümüz bacağı saran bir kumaş parçasından yapılmış olup doktorlarla yapılan görüşmeler ve tıbbî kaynaklardan elde edilen bilgiler sonucu EMG kas değerleri ölçüm sensörünün ölçüm pedleri, kumaş parçası üzerine %99.2 oranında doğru ölçüm yapabilecek şekilde yerleştirilmiştir. Kas sensörü, ESP32-C3 Super Mini mikrokontrolcü ve 180mAh 3.7V Lityum Polimer batarya kumaş üzerinde bulunan ceplere yerleştirilmiştir. Sensöre bağlı olan kablolar kumaşın üzerinden geçirilerek mikrokontrolcüye bağlanmıştır. Mikrokontrolcü seçili ağ üzerinden internete bağlanıp sensör verilerini sunucumuzdaki PHP sayfasına HTTP POST yöntemi ile URL üzerinden atmıştır. PHP sayfası URL üzerinden gelen verileri sunucumuzda bulunan MySQL veri tabanına atacak şekilde kodlanmıştır. Mobil cihazlara ve bilgisayara uyumlu uygulamamız MySQL veri tabanından verileri alıp hasta, hemşire ve doktorlara; hastanelere uygun olan çizgi grafiği ve anlık simülasyon olarak göstermiştir.



Resim 9-10: Elektrokas'ın detaylı gösterimi

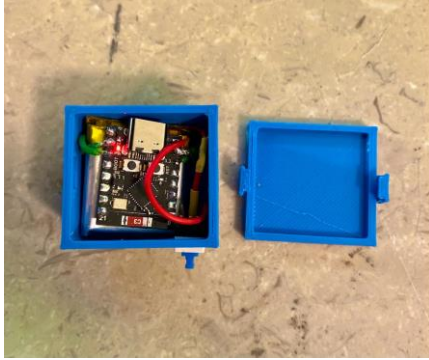


Resim 11: Elektrokas'ın bacakta gösterimi

#### 3.1.1.4 Elektroimu

Ortopedik, romatolojik ve nörodejeneratif hastalıkların teşhis ve tedavisinde oldukça önemli olan yürüyüş verilerinin değerlendirilmesinde ayağın yürüme fazları sırasında aldığı açı ve ivme değerleri büyük öneme sahiptir. Bu sebeple ayağın ve ayak bileğinin yürüme fazları sırasındaki açı ve ivme değerlerini; internete gönderebilen, mobil cihazlara ve bilgisayara uyumlu uygulama ile ölçüm verileri doktor, hasta, hemşire tarafından anlık olarak görüntülenebilen, gelişmiş makine öğrenmesi metotları kullanan, yüksek doğruluk oranları ile ölçüm yapabilen bir cihaz için boyutları madeni para kadar minimal olan ayakkabıya takılabilen bir ürün üretilmiştir. Ürünümüz açı, ivme, pusula değerlerinin genel adı olan IMU verilerini gelişmiş yazılım metotları ve gelişmiş elektronik sistemler ile ölçtüğü için Elektroimu adı verilmiştir.

Ürünümüzün boyutları ve ölçüm hassasiyeti göz önünde bulundurularak prototipimiz yapılmıştır. Sensör olarak çoğu IMU sensörlerinden daha hassas veri ölçebilen ve maliyeti uygun olan MPU9250 kullanılmıştır.



Resim 12. Elektroimu'nun gösterimi



Resim 13. Elektroçip'in ayakkabı üzerinde gösterimi

Üç boyutlu yazıcıdan bastırılan bir kutunun içine konulan MPU9250, ESP32-C3 Super Mini mikrokontrolcü ve 180mAh 3.7V Lityum Polimer batarya ile çalışan bir sistem kurulmuştur. Ürünümüz IMU verilerini Quanterion adı verilen yazılımsal bir filtre ile %99.8 oranında ölçmüştür. Ölçülen veriler sunucumuz üzerinde bulunan PHP web sayfasına HTTP POST yöntemi ile URL üzerinden gönderilmiştir. PHP sayfası URL üzerinden alınan verileri sunucumuz üzerinde bulunan MySQL veri tabanına kaydedecek şekilde kodlanmıştır. Mobil cihazlara ve bilgisayarlara uyumlu uygulamamız veri tabanından verileri alıp çizgi grafiği ve anlık simülasyon olacak şekilde doktor, hasta, hemşirelere gösterecek şekilde ayarlanmıştır.

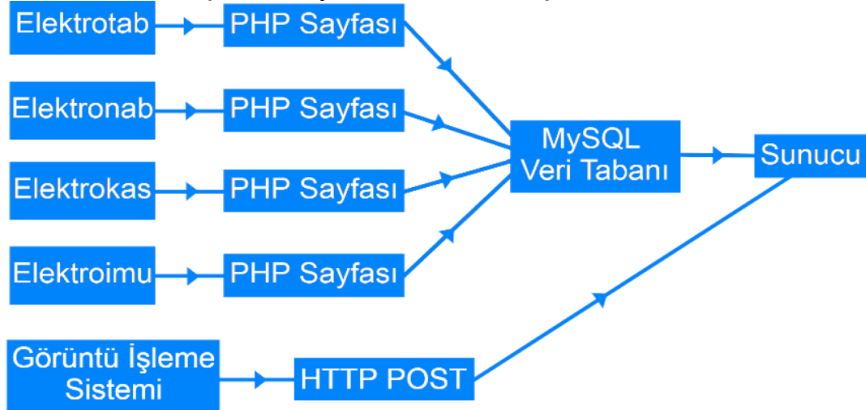
### 3.1.2 Yazılımsal Çözümler

Prototiplerimizin daha iyi anlaşılabilmesi için yazılımsal ürünlerimiz Nesnelerin İnterneti Sistemi, Uygulamamız, Görüntü İşleme Sistemi, Makine Öğrenmesi Modeli ile Verilerin Analizi ve Simülasyon olacak şekilde ayrı başlıklar altında inceledik.

#### 3.1.2.1 Nesnelerin İnterneti Sistemi (IOT)

Ortopedik, romatolojik ve nörodejeneratif hastalıkların teşhis ve tedavisinde veri çeşitliliği en önemli unsurlardan biridir. Bu sebeple mekanik ürünlerimizden alınan verileri birbiri ile bağlantılı ve verimli şekilde kullanabilmek için yazılımsal bir bulut sistemi oluşturulmuştur.

Sistemimizin mobil cihazlara ve bilgisayarlara uyumlu olması, yüksek işlem kapasitesine sahip olması, siber saldırılara karşı dayanıklı olması düşünüldükçe sanal bir sunucuya Ubuntu 18.04 işletim sistemi kurulmuştur. Kullanıcı profil bilgileri ve giriş sistemi için Firebase, sensör verilerinin iletişimi için ise MySQL veritabanı kullanılmıştır. Veritabanı ile veri kaynağı arası iletişimi sağlayabilmek için ise sunucu üzerine kurulmuş PHP sayfaları kullanılmıştır.



Şema 1: Nesnelerin internet üzerine ulaşma algoritması

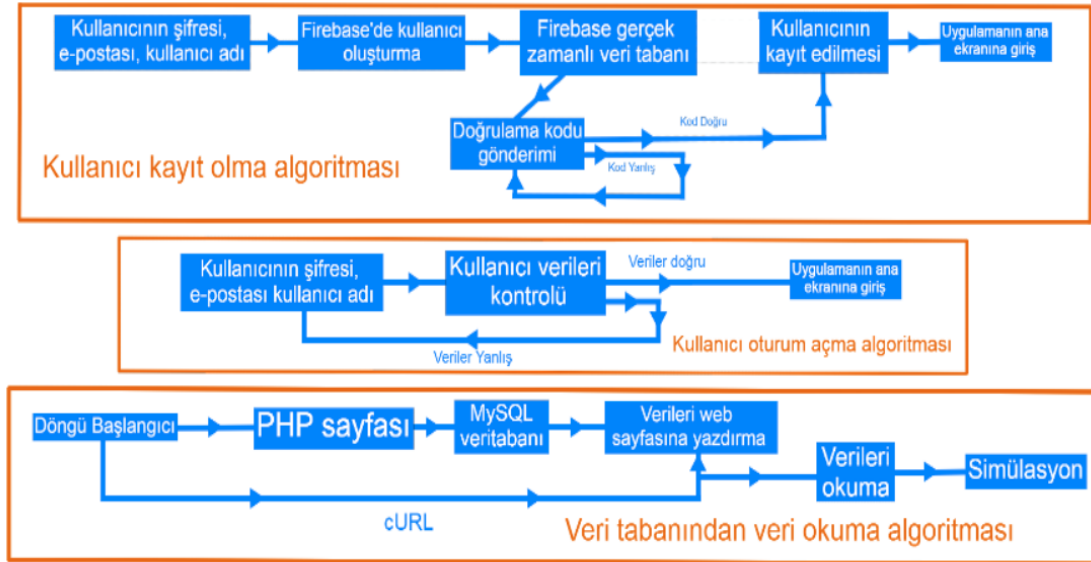
Sunucu üzerine web sunucu programı olan Apache2 kurularak, sunucu web üzerinden IP adresi ile erişilebilir hale getirilmiştir. MySQL veri tabanı sistemine her bir sensör verisi için veritabanı

kurulmuştur. Kurulmuş veri tabanlarına sensör verilerinin çeşidine göre tablolar oluşturulmuştur. PHP sayfası URL üzerinden aldığı verileri MySQL sistemine giriş yaparak kaydedecek şekilde kodlanmıştır. Firebase sistemi için ise web sunucusu üzerine bir Javascript sayfası açılıp Firestore ve Firebase Default paketleri dahil edilmiştir. Bu web sayfası URL üzerinden veri olarak kullanıcının uygulamaya girişinin ardından kullanıcıya doğrulama kodu gönderip gönderilen kodu doğrulayacak şekilde kodlanmıştır. Sistemin güvenli olması için sistemler arası her bir veri iletiminde asimetrik şifreleme kullanılmıştır.

### 3.1.2.2 Uygulamamız

Ortopedik, romatolojik ve nörodejeneratif hastalıkların teşhis ve tedavisinde kullanılan verilerin hasta, hemşire ve doktor tarafından görüntülenmesi tedavi süresini kısaltması ve ölçüm doğruluk oranlarını artırması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle mekanik ürünlerimizin internet veri tabanına gönderdiği verileri; anlık ve hafızalı olarak grafik ve simülasyon şeklinde gösterebilen bir uygulama kodlanmıştır.

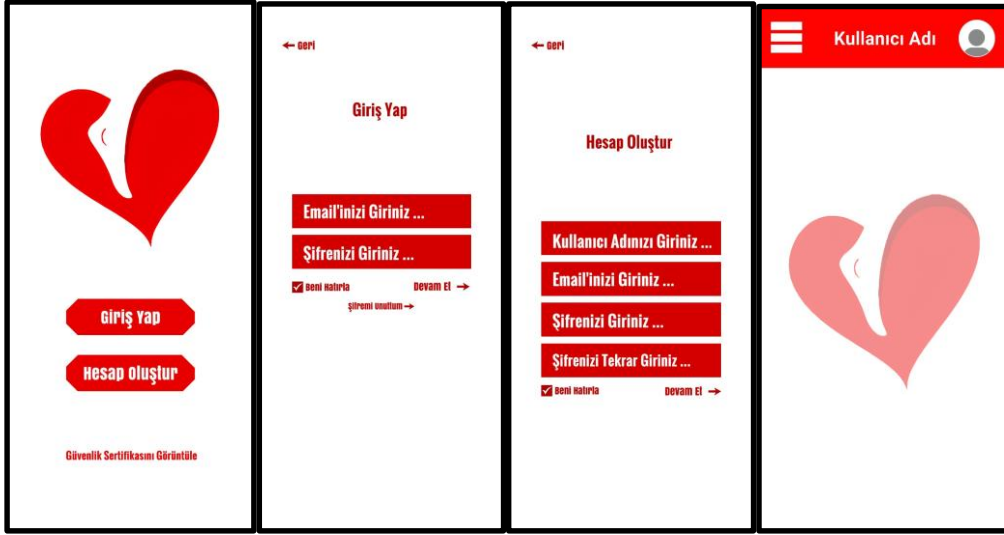
Uygulamamızın; bilgisayar ve mobil cihazlarda çalışabilmesi, verileri internet veri tabanından okuyabilmesi, simülasyon ve grafik oluşturabilmesi, yapılışının pratik olması düşünülerek uygulamamızın oluşturulacağı platform olarak Unity Engine olarak seçilmiştir.



Şema 2: Kullanıcı kayıt olma, oturum açma ve veri tabanından verilerin okunması şemaları

Unity Engine ile C# kodlama dili üzerinden oluşturulan projeye, Firebase sistemini kullanabilmek için Firebase Auth, Firebase Default ve Firebase Firestore paketleri eklenmiştir. Kurulan Firebase sistemi ve uygulama kodları kullanılarak hasta, hemşire ve doktor giriş paneli yapılmıştır. Uygulamaya, kullanıcı girişinden sonra sunucumuzda bulunan bir diğer Firebase sistemine bağlanarak 2 aşamalı doğrulamayı ve email doğrulamasını aktifleştirilmeyi sağlayan bir kod yazılmıştır. Kullanıcı uygulamada oturum açmasının ardından kit tanımlayabilmektedir. Uygulama yakındaki cihazları tarayarak tespit edip kullanıcıya sunmakta, kullanıcı ise bu cihazlardan istediklerini seçili kite ekleyebilmektedir. Ardından uygulama kayıtlı cihazlara tanımlı olan MySQL veri tabanlarından makine öğrenmesi ile analiz edilmiş verileri sunucuda bulunan PHP sayfasından cURL yöntemi ile alıp uygulama hafızasına kaydetmektedir.

Uygulama üzerinde bulunan bölümlerden hasta, hemşire ve doktor; uygulamanın hafızasına kaydedilmiş verileri anlık veya daha sonradan grafik ve simülasyon halinde görebilmektedir. Kullanıcılar, uygulama üzerinde endüstri 3.0 ve 4.0 standartlarına uygun olacak şekilde özelleştirme yapabilmektedir.



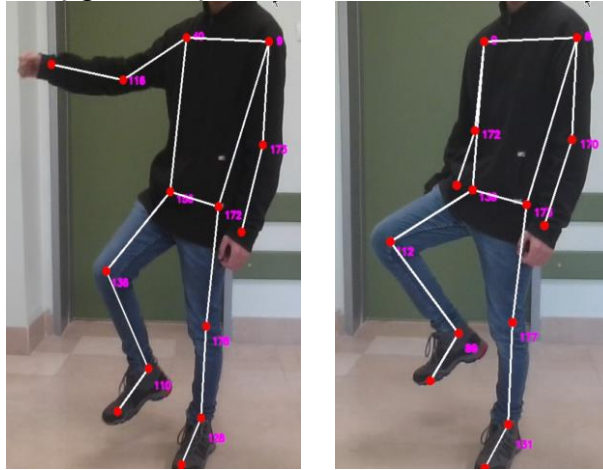
Resim 14-15-16-17: Uygulamamızın ana ve ara yüz Resimleri

Tüm bu sistem, doktor ve hasta arasındaki iletişimi kolaylaştırmakta, tıbbi verilere daha kolay erişim sağlayarak hastaların hastaneye gitme zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır.

### 3.1.2.3 Görüntü İşleme Sistemi

Ortopedik, romatolojik ve nörodejeneratif hastalıkların tedavisinde doktorun hasta üzerindeki gözlemi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle hastanın eklemlerinin açı ve pozisyon bilgilerini herhangi bir kamera üzerinden görüntü işleme ve yapay zekâ kullanarak algılayan bir sistem geliştirilmiştir.

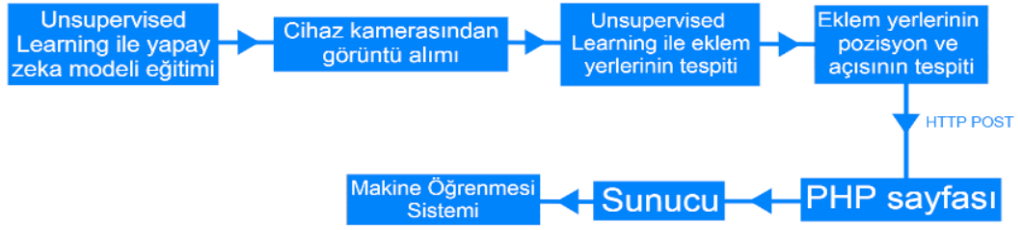
Sistemin optimize olması, her cihazda çalışabilmesi, hızlı olması, yüksek doğruluk oranlarıyla ölçüm yapması düşünülerek kullanılacak kütüphane MediaPipe ve OpenCV, yazılım dili ise Python olarak belirlenmiştir. Mobil uygulama aracılığıyla alınmış kamera görüntüsü, kamera sistemi ve cihazın gücüne göre ayarlanmış görüntü işleme sistemine tabi tutulmaktadır.



Resim 18-19: Görüntü işleme sistemi kullanım halinde

Görüntü işleme sisteminde kullanılan makine öğrenimi Unsupervised Learning algoritması ile eğitilmiştir. Sistem tarafından cihaz kamerasından alınan görüntülerdeki kişinin eklem yerleri Unsupervised Learning algoritması ile tespit edilmiş ve eklemler arasına doğrular çizilmiştir. Görüntü işleme sistemi tarafından, çizilen doğrular arası açılar hesaplanarak sonucu üzerinde bulunan veri setine kaydedilmiştir. Veri setindeki aykırı değerler Unsupervised Learning ile tespit edilip veri setinden çıkartılmıştır.





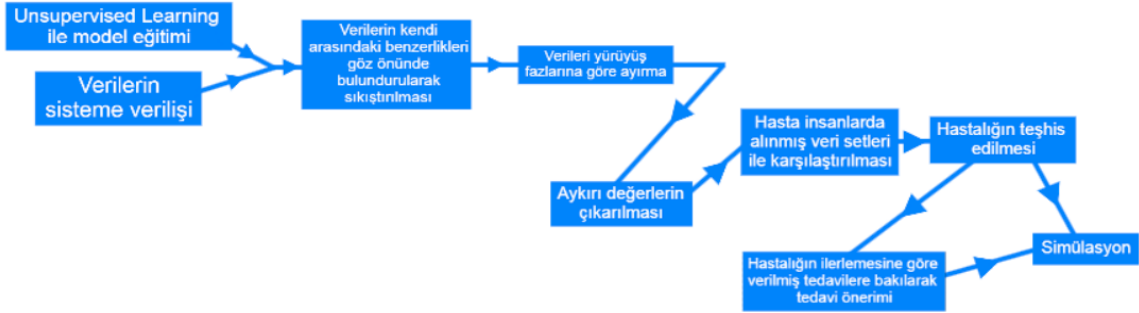
Şema 3: Görüntü işleme sisteminin çalışma algoritmaları

Tüm bu sistem teşhis ve tedavi esnasındaki hata oranlarını azaltmakta, doktor gözetimi olmaksızın teşhis ve tedavi süreçlerinin bir kısmının gerçekleştirilebilmesini sağlamaktadır.

### 3.1.2.4 Makine Öğrenmesi Modeli ile Verilerin Analizi

Ortopedik, romatolojik ve nörodejeneratif hastalıkların teşhis ve tedavisinin yapılabilmesi için birçok verinin alınması, veri setinin büyük ve karmaşık olması nedeniyle veriler üzerinden çıkarım yapmak çok zor bir hale gelmektedir. Bu sorunun çözmek için alınan veri çeşitliliği veya miktarı fark etmeksizin bunları analiz edebilen ve çıkarım yapabilen bir makine öğrenmesi algoritması kodlanmıştır.

Makine öğrenmesi sistemi için en optimize ve amaca uygun kütüphaneler Numpy ve PyTorch olarak belirlenmiş, yazılım dili olarak ise Python tercih edilmiştir. Ayrıca, sistemin hızlı ve optimize çalışması göz önünde bulundurularak konumu sunucu olarak belirlenmiştir. Makine öğrenmesi sistemi ise Supervised Learning ile eğitilmiştir.



Şema 4: Makine öğrenmesi sistemi ve verilerin analizinin çalışma algoritmaları

Mekanik ürünlerimizden alınan verilere sunucu üzerinden doğrudan erişen makine öğrenmesi sistemi, verileri çalışma gücüne göre belirli aralıklar ile yerel veri setine kaydetmektedir. Makine öğrenmesi kaydedilen verileri yapay sinir ağları kullanarak sıkıştırmakta, sıkıştırdığı verileri ise yürüyüş fazlarına ayırmaktadır. Daha sonra bu veri setlerindeki verilerden anormal derecede farklı olanlar, Unsupervised makine öğrenmesi algoritması ile tespit edilip veri setinden silinmektedir. Böylece veriler en sağlıklı biçimde kaydedilmektedir. Ardından veriler hasta olan insanlardan alınmış olan veriler ile Supervised Learning yöntemi ile karşılaştırılarak benzerlik oranları elde edilir. Bu da

```

0 0.85 0.86 0.89 0.94
1 0.84 0.97 0.96 0.81
2 0.88 0.99 0.92 0.89
3 0.96 0.97 0.85 0.92
4 1.00 0.84 0.95 0.98
5 0.91 0.95 0.94 0.94
6 0.84 0.84 0.92 0.89
7 0.86 0.93 0.85 0.86
8 0.88 0.87 0.84 0.83
9 0.96 0.84 0.89 0.98
10 0.10 0.81 0.98 0.86

{
DİRSEK -> 0.04, 0.18, 0.18, 0.18, 0.19, 0.19, 0.04, 0.03
OMUZ -> 0.97, 0.99, 0.97, 0.81, 0.99, 0.97, 0.81, 0.98, 0.99, 0.98, 0.81, 0.82, 0.81, 0.83, 0.83, 0.82, 0.97, 0.82
BEL -> 0.98, 0.81, 0.98, 0.81, 0.97, 0.99, 0.82
DİZ -> 0.81, 0.98, 0.83, 0.98, 0.99, 0.99, 0.97, 0.99, 0.83, 0.82, 0.81, 0.98
}

Aykırı veriler silindi.
DİRSEK Eşleşmesi
%98
OMUZ Eşleşmesi
%91
BEL Eşleşmesi
%96
DİZ eşleşmesi
%90
Genel Eşleşme Sonucu:
%90
Kapatmak için enter tuşuna basın

```

Resim 20 Makine öğrenmesi modelinin çalışma anı

elde edilen veriler ile hastalığı yüksek doğruluk oranlarıyla teşhis edebilmemizi sağlar. Ayrıca kullanıcının hastalığının ilerleme oranı, elimizdeki veri setleriyle karşılaştırılarak hastaya en uygun tedavi yöntemi belirlenir. Tüm bu süreç Regresyon analizi kullanılarak kendini özyinelemeli olarak geliştirir.

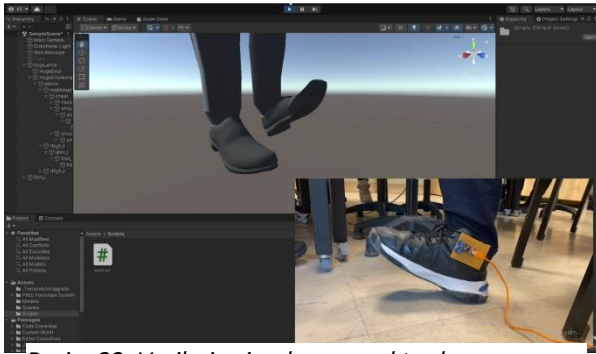
Tüm bu sistem elde edilen sonuçların daha hızlı ve yüksek doğruluk oranlarıyla değerlendirilmesi fayda sağlamaktadır. Ayrıca bu sistemin kişiye özel verileri değerlendirip teşhis ve tedavi önermesi sağlık personellerinin iş yükünün azalmasına ve hastaların sonuçlarına daha kolay ulaşabilmesine fayda sağlamaktadır.

### 3.1.2.5 Simülasyon

Simülasyon ortopedik, romatolojik ve nörodejeneratif hastalıkların teşhis, tedavi süreçlerinde hastadan alınan veri eksikliğinin tedavi sürecinin hızlı ve daha başarılı gerçekleşebilmesi için çok önemlidir. Bu nedenle cihazlarımız aracılığıyla hastadan alınan verilerin doktora grafik tasarım olarak sunulabileceği bir simülasyon sistemi oluşturulmuştur.

Simülasyonun mobil cihazlara ve bilgisayarlara uyumlu ve optimize olabilmesi için kullanılacak platform Unity Engine olarak seçilmiştir.

Simülasyon uygulamadan gelen verileri arayüz ile hasta, hasta bakıcı ve doktora yansıtmaktadır. Alınan verilerden basınç verileri sıcaklık grafiği halinde, açı verileri çizgi grafiği şeklinde, nabız verileri EKG halinde, kasılma verileri ise EMG halinde gösterilmektedir. Makine öğrenmesi modelinin yaptığı analiz ve tespitler çeşitli grafikler



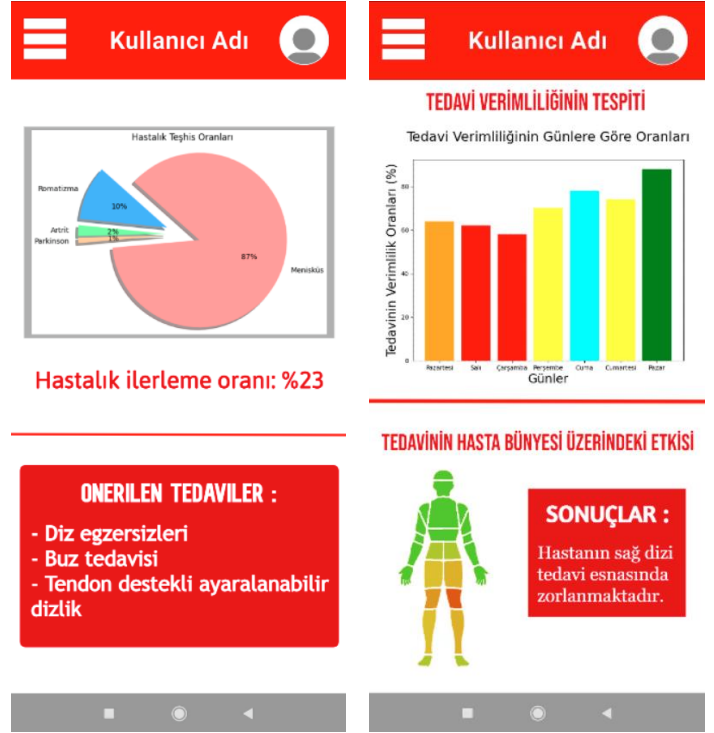
Resim 23: Verilerin simülasyona aktarılması

gözlemleyebilmektedir. Bunun yanı sıra makine öğrenmesi algoritmasından alınan veriler de grafik ve analiz şeklinde uygulama ara yüzüne sunulmaktadır.

Sonuç olarak tüm bu simülasyon sistemi hasta verilerinin daha rahat bir şekilde gözlemlenebilmesini sağlayarak tedavi ve teşhis süreçlerinin kısaltıp veriminin artmasını sağlamaktadır.

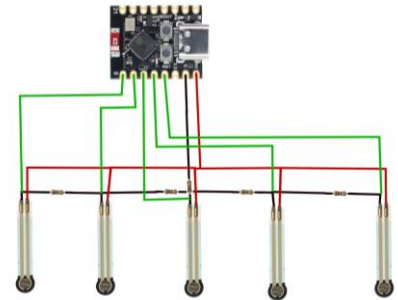
#### 3.1.3.1 Elektrotab'ın Elektronik Sistemi

Günümüzde giyilebilir teknolojilerin önemi elektronik sistemlerin gelişmesiyle gittikçe artmaktadır. Bu nedenle Elektrotab'ın elektronik sistemi giyilebilir teknolojilere uygun olacak şekilde tasarlanmıştır (Resim 24). Kullanılan FSR400 basınç sensörlerinin artı yüklü bacakları birbirine bağlanıp bu bağlantıya bağlı olan başka bir kablo ESP32-C3 Super Mini'nin 5v pinine bağlanmıştır. Sensör değerlerini istenilen aralıkta ölçebilmek için basınç sensörlerinin eksi bacaklarına 250Ω değerine sahip direnç takılarak ESP'nin GND bacağına bağlanmıştır. Basınç

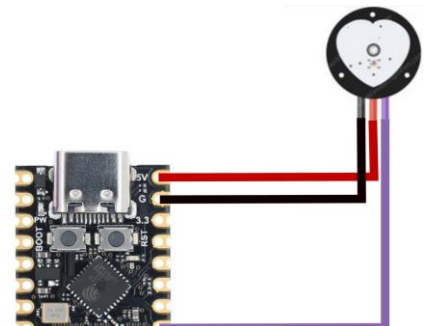


Resim 21: Tedavi ve Teşhis tespitleri. Resim 22: Tedavi Analizleri

haline gösterilmektedir (Resim 21 - 22). Ayrıca açı ve kas kasılma verileri uygulama hafızasına kaydedilip, hastanın vücut oranlarına göre oluşturulmuş modelin eklem açılarını belirlemek için de kullanılmaktadır (Resim 23). Hasta, hemşire ve doktor; hastanın yürüyüş esnasındaki halini anlık veya daha sonradan üç boyutlu bir şekilde



Resim 24: Elektrotab'ın elektronik sistemi



Resim 25: Elektronab'ın elektronik sistemi



sensörlerinin eksi bacaklarına birer kablo daha bağlanıp bu kablo ESP'nin analog pinleri olan 0, 1, 2, 3 ve 4. bacaklarına bağlanmıştır.

### 3.1.3.2 Elektronab'ın Elektronik Sistemi

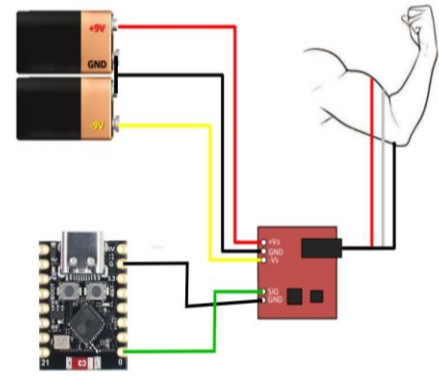
Giyilebilir teknolojiler her ne kadar önemli olsada genellikle teknik yetersizliklerden dolayı hassas veri ölçmemektedir. Buna rağmen Elektronab giyilebilir teknoloji olmasına rağmen verileri hassas olarak ölçebilecek şekilde tasarlanmıştır (Resim 25).

Elektronab'ın nabız sensörü, giyilebilir teknolojilere uygun olabilmesi için hassas ölçüm yapabilen ve giyilebilir teknolojilere uyum sağlayabilecek olan HW-827 tercih edilmiştir. HW-827'nin eksi pini ESP'nin GND pinine, artı pini ESP'nin 5V pinine sinyal pini ise ESP'nin analog pini olan 2. pinine bağlanmıştır.

### 3.1.3.3 Elektrokas'ın Elektronik Sistemi

Günümüzde sağlık pedleri kullanarak ölçüm yapan ve giyilebilir olan teknolojilerin yapımı maliyetli ve karmaşık olsada Elektrokas uygun elektronik sistem ile giyilebilir teknolojilere uygun olacak şekilde tasarlanmıştır (Resim 26).

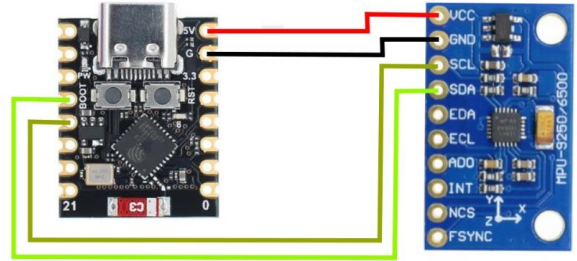
EMG sensörünü çalıştırmak için 5 volttan fazla güce ihtiyaç duyulduğu için iki adet batarya birbirlerine seri bağlanarak EMG sensörü çalıştırılmıştır. EMG sensörü üzerinde bulunan GND (toprak) pini ESP'nin üzerindeki GND pinine bağlanmış, EMG sensörünün sinyal pini ise ESP'deki analog pinlerden biri olan 0 numaralı pine bağlanmıştır.



Resim 26: Elektrokas'ın elektronik sistemi

### 3.1.3.4 Elektroimu'nun Elektronik Sistemi

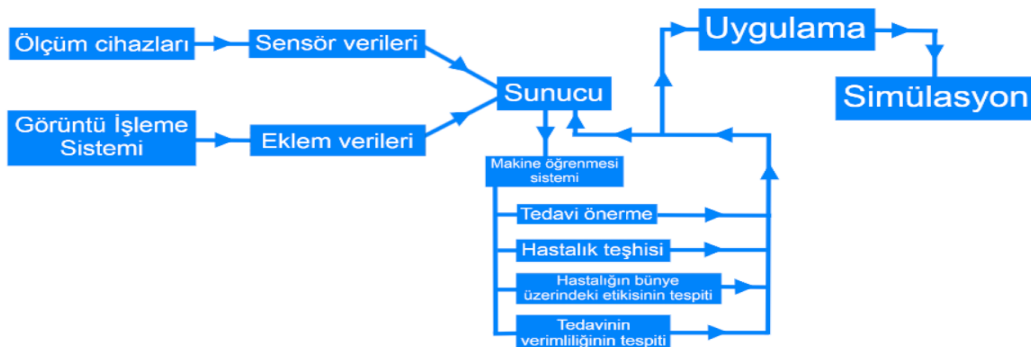
Elektroimu giyilebilir olmasından ziyade minimal, hafif ve kullanıcıyı rahatsız etmeden veri alacak şekilde tasarlanmıştır. (Resim 27) Açölçer, ivmeölçer ve manyometre görevinde kullanılan MPU9250'nin VCC ve GND pinleri sırasıyla ESP üzerinde bulunan 5V ve GND pinlerine bağlanmıştır. MPU9250'nin SCL ve SDA pinleri ise sensör verilerini alabilmek için sırasıyla ESP üzerindeki SCL ve SDA pinlerine bağlanmıştır.



Resim 27: Elektroimu'nun elektronik sistemi

## 3.2 Proje İşleyiş Planı

Projemizin kapsamlı olması sebebiyle tüm sistem ve ürünlerin birlikte çalışma planını anlatabilmek için ayrı bir başlık açılmıştır.



Şema 5: Proje işleyiş planının algoritma üzerinden gösterimi

Projemiz 4 adet mekanik ürün 5 adet yazılımsal ürün olmak üzere 9 parçadan oluşmaktadır. Oluşturulan 4 adet mekaniksel ürün nesnelerin interneti sistemi ile birbiriyle iletişim halinde giyilebilir teknolojileri kullanarak sensörlerden topladıkları verileri internet veri tabanına atmaktadırlar. Görüntü işleme sistemi makine öğrenmesi metotlarıyla eklem verilerini kaydedip internet veri tabanına atmaktadır. İnternet veri tabanında bulunan veriler makine öğrenmesi algoritmalarıyla değerlendirilip hastalık teşhisi, tedavi önermesi, tedavinin bünye üzerindeki etkisi ve tedavinin verimliliği çıktıları sunucu üzerindeki veri setlerine kaydedilmektedir. Uygulamamız bu veri setlerindeki verileri alıp kullanıcı arayüzünde göstermekte simülasyon ise kaydedilen verileri 3 boyutlu ortamda anlık veya daha sonradan gözlemleyebilme imkanı sunmaktadır.

### 3.3 Maliyet ve Uygulanabilirlik

ESP32-C3 Super Mini (4 Adet)	900 TL	EMG Sensörü	600 TL
100N Kuvvet Sensörü (2 Adet)	600 TL	EKG Sensörü (AD-8232)	170 TL
20N Kuvvet Sensörü (3 Adet)	330 TL	EKG Sensörü (HW-827)	80 TL
MPU9250 jiroskop ve manyometre	250 TL	180mAh 3.7V Lityum Polimer Pil (4 Adet) + 350mAh 3.7V Lityum Polimer Pil (1 Adet)	470 TL

Tablo 4: Toplam Maliyet Tablosu

Ürünlerin kullanımından sonra elde edilen maliyet tablosuna bakıldığında günümüzde herhangi bir özel hastane ücretine kıyasla daha karşılanabilir olduğu tespit edilmiştir. Toplam maliyeti; üretimi gerçekleştirilebilecek, uzun ömürlü ve herkesin kullanımına uygun bir cihaz olması yönleri göz önüne alındığında gayet makuldür. Hastanelerde bulunan milyonlarca liralık cihazlara karşı oluşturulan bu alternatif yöntem ile en efektif çözüm oluşturulmaya çalışılmıştır.

### 3.4 Cihazlarımızın Patentlenmesi

Oluşturduğumuz kitlerin gelişimini sürdürülebilir kılmak, özgün olduğunu tescillemek, HAYAT'ı uluslararası alanda temsil edilebilir, ülkemiz adına katma değer katacak bir projeye dönüştürebilmek için kitlerimiz ve uygulamamız için Türk Patent ve Marka Kurumu nezdinde patent başvurusu yapılmıştır.

## 4. PROJE İŞ-ZAMAN ÇİZELGESİ

Tablo 5: İş-Zaman Çizelgesi

AYLAR										
İŞİN TANIMI	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Literatür taraması	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Yazılımların geliştirilmesi		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Arazi çalışması									X	X
Verilerin toplanması ve analizi			X	X	X	X	X	X	X	X
Proje raporu yazılımı						X	X	X	X	X

## 5. BULGULAR

Test	Test sayısı	Doğru test sayısı	Başarılı test sayısı
Nabız ölçüm testi	50	45	%90
Kas ölçüm testi	50	47	%94
Basınç ölçüm testi	50	49	%98
Açı ölçüm testi	50	46	%92

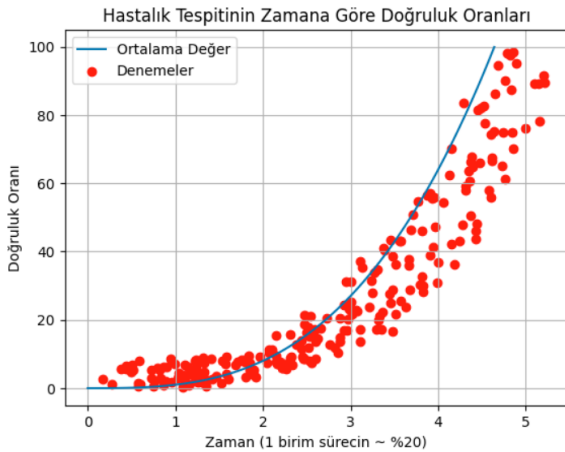
Tablo 6: Elektronik sistemlerin (Elektrotab, Elektronab, Elektrokas, Elektroimu) ölçüm doğruluk oranları tablosu.

Elektronik ürünlerimizin ölçüm sonuçları, tıbbi ölçüm cihazlarının her biri ölçüm sonuçlarıyla 50 defa karşılaştırılmış böylece elektronik ürünlerimizin ölçüm doğruluk oranları bulunmuştur(Tablo 6). Nabız ölçüm testinde doğru veri alınan test sayısı 45 ve doğruluk oranı %90, kas ölçüm testinde doğru veri alınan test sayısı 47 ve doğruluk oranı %94, basınç ölçüm testinde doğru veri alınan test sayısı 49 ve doğruluk oranı %98, açı ölçüm testinde doğru veri alınan test sayısı 46 ve doğruluk oranı %92 olarak belirlenmiştir.

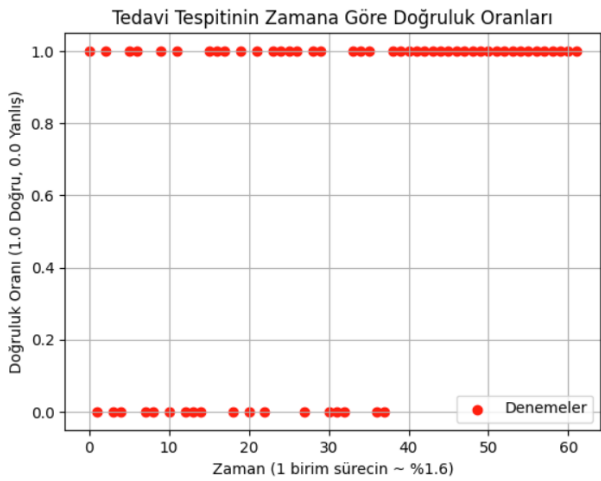
Normal yürüyüşte ortalama değerler	Erkekler	Kadınlar
Adım uzunluğu (cm)	79	66
Çift adım uzunluğu (cm)	158	132
Dakikadaki adım sayısı (adım/dk)	117 (60-132)	117 (60-132)
Hız (m/sn)	1.54	1.31
Adım genişliği (cm)	8.1	7.1
Ayak açısı	7	6

Tablo 7: Yürüyüş verilerinin kadın ve erkekler için ortalama değerleri. (İMRENK, 2011)

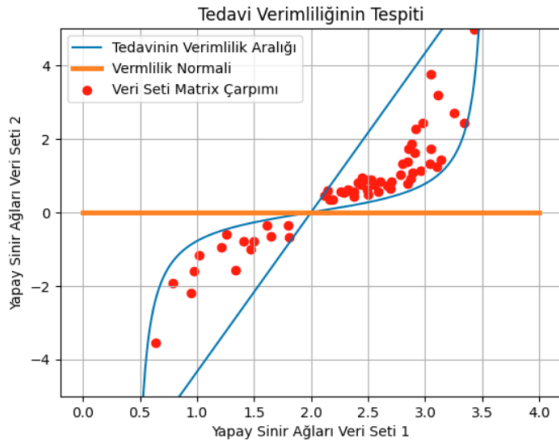
Daha önceki bir çalışmada kadın ve erkeklerin yürüyüş verilerinden oluşturulan ve Tablo 7’de ortalaması verilmiş olan veri seti; makine öğrenmesi modelimizi, Unsupervised Learning algoritması ile eğitmek için kullanılmıştır. Eğitilen makine öğrenmesi modelinin oluşturduğu verilerin analizi aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.



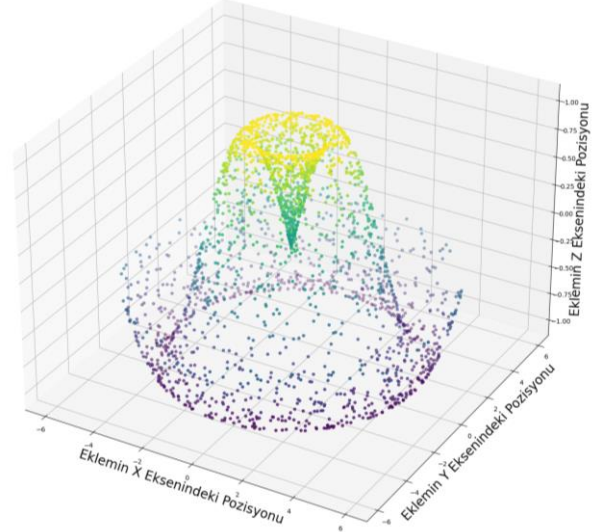
Grafik 1



Grafik 2



Grafik 3



Grafik 4

Grafik 1’de makine öğrenmesi modeline Unsupervised Learning algoritması uygulanarak zaman içerisindeki hastalık tespiti doğruluk oranının değişimi gözlemlenmiştir. Sürecin başında düşük doğruluk oranları elde edilirken süreç ilerledikçe elde edilen verilerin doğruluk oranı ivmeli bir şekilde artmıştır.

Grafik 2’de makine öğrenmesi modeline Unsupervised Learning algoritması uygulanarak doğru tedavi önerimi oranının zaman içerisinde değişimi gözlemlenmiştir. Veriler sürecin başındayken 0.0 verilerine (yanlış tespit) fazlaca rastlanmış süreç ilerledikçe ise 1.0 verilerine (doğru tespit) daha fazla rastlanmıştır.

Grafik 3’de tedavi için sensör ve görüntü işleme sisteminden toplanan veriler yapay sinir ağları ile veri setlerine çevrilmiştir. Bu veri setleri birbirleri arasında matrix çarpımı yaparak değerler oluşturmuştur. Bu değerler Verimlilik normalinin üstündeki verimlilik aralığındaysa tedavi verimli olarak nitelendirilmiştir.

Grafik 4’de görüntü işleme sistemi ile alınan eklem pozisyonları verilerinin ortalama değerlerine göre hastaya uygulanan tedavinin hastaya zor gelip gelmediği tespit edilmiştir. Yeşilden mora doğru gidildikçe hasta için tedavi zorluğunun arttığı belirtilmiştir.

## 6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan testler sonucu Elektrotab, Elektronab ve Elektrokas’ın tıbbi doğruluk oranlarına yakın olacak şekilde %90 ve üzeri yüksek doğruluk oranları ile ölçüm yaptığı gözlemlenmiştir. Elektroimu’dan alınan verilerin ise yazılımsal filtreleme tabi tutulması sonucu ölçüm doğruluk oranı artmış ve tıbbi oranlarına yaklaşmıştır.

Tablo 2’de ortalaması alınan verilerden uyumsuz ve aykırı olanlar çıkarılmış makine öğrenmesi sistemini Unsupervised Learning yönetimi ile eğitmek için kullanılmıştır. Tablo 3’de makine öğrenmesi sisteminin eğitim süresi arttıkça hastalık tespiti sonuçlarının doğruluk oranlarında artışın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Tablo 4’de Unsupervised eğitim yöntemini kullanan makine öğrenmesi sisteminin eğitim süresi arttıkça doğru önerme sayısının arttığı gözlemlenmiştir. Tablo 5’de verimli bir tedavinin uygulanışı sırasında alınan yapay sinir ağları verilerinin tedavinin verimli olduğu bölgeye yığıldığı gözlemlenmiştir. Tablo 6’da ise başka bir çalışmadan alınmış olan miyofasyal ağrı sendromu (ağrılı kas hastalığı) fizik tedavisi görüntüleri, görüntü işleme sistemi ile işlenmiş ve tedavinin hasta bünyesindeki etkisi tespit edilmiştir.

Yapılan saha çalışmaları, deneyler ve gözlemler sonucunda elde ettiğimiz bulgulara dayanarak cihazımızın yürüme bozukluğunun semptom olduğu hastalıklara sahip kişilerin erken teşhis ve tedavi süreçleri için ortalamada %93.1 oranında başarılı olduğu görülmüştür.

Tüm bulgular göz önünde bulundurularak HAYAT’ın nörodejeneratif, ortopedik ve romatolojik hastalıklar için gerekli olan verileri yüksek doğruluk oranları ile ölçüp, ölçtüğü verileri

makine öğrenmesi algoritmalarına tabi tutarak hastalık tespiti, tedavi önerisi, tedavinin bünyeye üzerindeki etkisinin tespiti ve tedavi verimliliklerini yüksek doğruluk oranlarıyla tıbbi oranlara uygun olacak şekilde hesapladığı doğrulanmıştır. Ayrıca Tablo 12 ve Tablo 13'e bakılarak makine öğrenmesinin eğitimi için verilen süre ve veri sayısı arttırılırsa elde edilen sonuçların doğruluk oranının artacağı çıkarımı yapılmıştır.

Sonuç olarak projemizde kullandığımız gelişime açık ürünler sayesinde sürekli gelişen, her insanın kullanımına uygun her yerde kullanılabilecek, evrensel bir çalışma yapılmıştır. Ayrıca elde edilen veri setleri başka projelerin makine öğrenmesi algoritmalarını eğitmek için kullanılabilmektedir.

### ** zg nl k ve Kullanılabilirlik**

HAYAT projesinin literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılan yanları vardır:

- Daha  nceki hiçbir çalışmada ölçülen yürüyüş verilerini anlık bir simülasyon halinde gösterecek bir uygulama tasarlanmamıştır.
- Daha  nceki hiçbir çalışmada nörodejeneratif, ortopedik ve romatolojik hastalıklar için uygulanan tedavinin verimliliğini, bünyeye üzerindeki etkisini tespit eden ve tedavi yöntemleri öneren bir makine öğrenmesi sistemi yapılmamıştır.
- HAYAT, cihazlarını nesnelerin interneti sistemi ile birbirine bağlayarak koordineli şekilde çalıştıran ilk nörodejeneratif, ortopedik, romatolojik hastalık tespit ve teşhis kitini oluşturmuştur.
- HAYAT giyilebilir olduğundan dolayı, istenilen veriler kullanıcıyı rahatsız etmeden ve uzun süreli bir şekilde ölçülebilmiştir.
- HAYAT maliyetinin az olması sebebiyle uygulanabilir bir çalışmadır.
- HAYAT elde ettiği tüm verileri mobil uygulama aracılığıyla sunabildiğinden kullanılabilirlik açısından gelişmiştir.
- HAYAT, içinde bulundurduğu cihazlar ve makine öğrenmesi sistemleriyle literatürdeki ürünleri geliştirmiş ve teknolojik tasarım alanına farklı bir bakış açısı getirmiştir.
- HAYAT'ın açık kaynaklı olması planlanıp sahip olduğu veri setleri, yazılım sistemleri ve cihazlarıyla diğer projelerin gelişimine katkı sağlamaktadır.

### **7.  neriler**

- HAYAT, günümüzde hastanelerde kullanılan cihazlarla alınan verileri destekleyici olarak kullanılabilir.
- Geliştirilen uygulama, Sağlık bakanlığı E-Nabız uygulamasına entegre edilerek genel kullanımı yaygınlaştırılabilir.
- Kullanılan sensörlerin hassasiyeti arttırarak elde edilen verilerin doğruluk oranı yükseltilebilir.
- Makine  ğrenmesi sisteminin eğitimi için veriler bilgi sayısı arttırılarak sistemin doğruluk oranı yükseltilebilir.
- İlerleyen süreçte analog çipler kullanılarak makine öğrenmesi için gerekli olan matris çarpım işlemlerinin hızlanmasıyla daha çok veri hesaplanabilir.
- PCB devre kartı bastırılarak ürünlerimizde meydana gelebilecek bazı hatalar engellenebilir.

## 8. KAYNAKLAR

- AKGÜN, Ö., AKAN, A., & DEMİR, H. (2015). NÖRODEJENERATİF HASTALIKLARDA YÜRÜME İŞARETLERİNİN ZAMAN-FREKANS ANALİZİ. *Kirkireli University Journal of Engineering and Science*.
- BAKBAK, S., & KAYACAN, R. (2014, 10 20). Hastalıkların Teşhis ve Takibinde Kullanılan Yürüyüş Analiz Sistemleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10.
- BAYDAR, M. (2010). *Nörodejeneratif Hastalıklarda Olası Genotoksik Hasarın Değerlendirilmesi*. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Chelius, G., Braillon, C., Pasquier, M., Horvais, N., Gilbollet, R. P., Espiau, B., & Coste, C. A. (2011, August 4). *A Wearable Sensor Network for Gait Analysis: A Six-Day Experiment of Running Through the Desert*. IEEE.
- Dünya Sağlık Örgütü. (2018). Global Health Estimates 2016: Disability.
- Faivre, A., Dahan, M., Parratte, B., & Monnier, G. (2004). Instrumented shoes for pathological gait assessment. In *Mechanics Research Communications* (pp. 627-632). ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2003.10.008>
- İmrenk, M. (2011). *BİR ALT EKSTREMİTE ORTEZİNİN KİNETİK VE KİNEMATİK ANALİZİ*. DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ.
- İMRENK, M. (2011). *BİR ALT EKSTREMİTE ORTEZİNİN KİNETİK VE KİNEMATİK ANALİZİ*. T.C.DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ.
- İSOM. (n.d.). *Ortopedik Hastalıklar Nedir I İSOM Ortopedi ve Travmatoloji*. isom. Retrieved January 19, 2024, from <https://isom.com.tr/blog/isom-ortopedik-hastaliklar-nelerdir>
- Klucken, J., Barth, J., Kugler, P., Schlachetzki, J., Henze, T., Marxreiter, F., Steidi, R., Kohl, Z., Hornegger, J., Eskofier, B., & Winker, J. (2013, February 19). *Unbiased and Mobile Gait Analysis Detects Motor Impairment in Parkinson's Disease*. Plos One.
- KORKMAZ, Ü., & KAYA, M. (2019). *Nörodejeneratif Hastalıklarda Deneysel Modeller*. NÜKLEER TIP SEMİNERLERİ.
- Lind, R. F., Love, L. J., Rowe, J. C., & PIn, F. G. (2009). Multi-axis foot reaction force/torque sensor for biomedical applications.
- Liu, T., Inoue, Y., & Shibata, K. (2009, aralık 19). *A wearable force plate system to successively measure multi-axial ground reaction force for gait analysis*. Association for computing machinery Digital Library home.
- Lui, T., Inoue, Y., & Shibata, K. (2009). Development of a wearable sensor system for quantitative gait analysis. In *Measurement* (pp. 978-988). ScienceDirect.
- Mariani, B., Hoskovec, C., Rochat, S., Büla, C., Penders, J., & Amian, K. (2010). 3D gait assessment in young and elderly subjects using foot-worn inertial sensors. In *Journal of Biomechanics* (pp. 2999-3006). ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.07.003>
- MAYETİN, U., KÜÇÜK, S., & ŞAYLI, Ö. (2015, Ekim 16). EMG Kontrollü Mobil Robot Uygulaması. *1 Teknoloji Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Kocaeli Üniversitesi*.
- MEMORIAL. (n.d.). *Romatoloji Nedir, Hangi Hastalıkları Kapsar?* Memorial. Retrieved January 19, 2024, from <https://www.memorial.com.tr/tibbi-birimlerimiz/romatoloji>
- Schepers, H. M. (2009, Jun 25). *Ambulatory assessment of human body kinematics and kinetics*. University of Twente Research Information Logo.
- Tien, I., Glaser, S. D., & Aminoff, M. J. (2010). Characterization of gait abnormalities in Parkinson's disease using a wireless inertial sensor system. *IEEE*. 10.1109/IEMBS.2010.5627904
- Türkiye'de Yürüme Bozuklukları. (2020). *Türkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi*.
- YAVUZER, G. (2014). Yürüme Analizi ve temel kavramlar. *TOTBİD Dergisi*, 5.