

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**  
**ELEKTRONİK BİLİM DALI**

**BİLGİSAYARLA GÖRME VE GİYİLEBİLİR ÇOKLU**  
**SENSÖR SİSTEMİ İLE YÜRÜYÜŞ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HÜSEYİN ÖZTÜRKSOY**

**DENİZLİ, OCAK - 2023**

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**  
**ELEKTRONİK BİLİM DALI**



**BİLGİSAYARLA GÖRME VE GİYİLEBİLİR ÇOKLU**  
**SENSÖR SİSTEMİ İLE YÜRÜYÜŞ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HÜSEYİN ÖZTÜRKSOY**

**DENİZLİ, OCAK - 2023**

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Birimi (PAÜ BAP) tarafından 2022FBE024nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**HÜSEYİN ÖZTÜRKSOY**

## ÖZET

**BİLGİSAYARLA GÖRME VE GIYİLEBİLİR ÇOKLU SENSÖR SİSTEMİ İLE  
YÜRÜYÜŞ ANALİZİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
HÜSEYİN ÖZTÜRKSOY  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRONİK BİLİMDALI  
(TEZ DANIŞMANI:DR. ÖĞRETİM ÜYESİ AHMET ÖZEK)**

**DENİZLİ, OCAK - 2023**

Bu projede, Fizik Tedavive Rehabilitasyon (FTR) alanında, hastalıkların tedavisi için, hastaların yapması gereken egzersizlerin, uzaktan kontrolü, takibi, gerekli olduğu takdirde uzaktan yönlendirilmesi ve daha ileri düzeyde çalışmalar için bir veri toplama system tasarımı vasıtasıyla mevcut sistemlere göre üstünlükleri bulunacak, özellikle yürüyüş bozukluklarını tespiti ile rahatsızlıkların tespitine yönelik çalışmalara imkan sağlayabilecek bir system tasarımı gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında, hem ayak tabanı haritası çıkarma, hem de yürüyüş esnasında gövde ve uzuvların duruşunu eşzamanlı olarak analiz etmeye yarayan, taşınabilir özellikte, gerçekleştirilen uzman ihtiyaçlarını karşılayan düzeyde bir donanım ve elde edilen verilerin işlenebileceği bir yazılım ortamının oluşturulmasına yönelik araştırma çalışmaları yürütülmüştür. Yapılan literatür çalışması neticesinde, mevcut ticari sistemlerin bilimsel araştırmalara olanak sağlayan veri sağlamaması nedeniyle verilerin toplanabilmesini sağlayacak cihazlar üzerinde geliştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut bilimsel araştırmalarda, görsel sistemlerin sadece gövde ve duruş analizine odaklı olduğu ve ayak tabanında oluşan değişimleri ölçmekten uzak olduğu görülmüştür. Giyilebilir sensörlerin veya ayakkabı tabanına monte edilen zemin sensörlerinin ise gövde duruşu hakkında bilgi sağlama konusunda eksiklikler içerdiği görülmüştür. Mevcut literatürde yürüyüş analizi için gerçekleştirilen çalışmalarda ise çözüm odaklı bir analiz yapan systemin varlığı konusunda eksikler olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasında, yürüyüş esnasında ayağın konumunu, duruşunu ve ayaktabanı üzerine uygulanan kuvvetlerin tespitini gerçekleştirebilen, bu sayede yürüyüş bozuklukları gibi rahatsızlıkların tespitini gerçekleştirebilecek verileri işleyebilen, elde edilen verilerin analizlerini gerçekleştirebilen, bir tasarım ve uygulama gerçekleştirilmiştir.

### **ANAHTAR KELİMELEER:**

Yürüme Analizi, Bası Analizi, Konuma Dayalı Yürüyüş Analizi, Ayakkabı Tabanı Kuvvet Ölçer

## **ABSTRACT**

### **GAIT ANALYSIS WITH COMPUTER VISION AND WEARABLE MULTIPLE SENSOR SYSTEM**

**MSC THESIS**

**HÜSEYİN ÖZTÜRKSOY**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

**ELECTRONIC SCIENCE**

**(SUPERVISOR:DR. ÖĞRETİM ÜYESİ AHMET ÖZEK)**

**DENİZLİ, JANUARY 2023**

In this project, which was developed for Physical Therapy and Rehabilitation (FTR) applications, it is aimed to remote control, follow up and, if necessary, to direct the exercises that patients need to do for the treatment of diseases. At the same time, data collection for further studies and especially the detection of gait disorders are among the aims of this project.

Within the scope of this thesis, a hardware has been developed for both mapping the sole of the foot and simultaneous analysis of the posture of the trunk and limbs during walking. Moreover, research studies were carried out to create a software in which the obtained data can be processed.

As a result of the literature study, there is a need to develop devices that will enable data to be collected, since the existing commercial systems do not provide sufficient data for scientific research. In current scientific research, it has been seen that visual systems focus only on trunk and posture analysis and are far from measuring changes in the sole of the foot. It has been observed that wearable sensors or floor sensors mounted on the sole of shoes have deficiencies in providing information about body posture. In the current literature, it has been observed that there are deficiencies in the existence of a solution-oriented analysis system in the studies carried out for gait analysis.

In this thesis, a design has been developed that enables the determination of the position, stance of the foot and the forces applied on the sole of the foot during walking. Thus, a design and application has been carried out that enables the detection of disorders such as gait disorders and analyzes the obtained data.

#### **KEYWORDS:**

Gait Analysis, Compression Analysis, Position Based Gait Analysis, Shoe Sole Force Meter

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>3</b>
2.1    Biyomedikal sektöründe IoT uygulamaları .....	3
2.2    Akıllı Giysiler .....	5
2.3    Yürüme .....	6
2.3.1    Yürüme ve Hareket Analizi .....	6
2.3.2    Giyilebilir Yürüme Analizi Sistemleri.....	6
2.3.2.1    Akıllı Ayak Tabanı (AAT).....	6
2.3.2.2    Atalet Ölçüm Birimi (AÖB).....	7
2.3.2.3    Elektromiyografi (EMG).....	8
2.3.3    Görüntü İşleme ile Yürüyüş Analizi .....	8
2.4    Yapılmış çalışmalar .....	9
2.5    Kullanılan materyaller .....	14
2.5.1    Esp 32 Kontrol Modülü .....	15
2.5.2    Kuvvet Algılama Direnç Sensörü .....	16
2.5.3    Foto Direnç .....	16
2.5.4    Lazer Modülü.....	17
2.5.5    Esnek Fiber Optik Sensör .....	17
2.5.6    Kuvvet filmi .....	18
2.5.7    Analog/Dijital Çevirici, Dijital/Analog Çevirici, Çoğullayıcı, Kanal Aktarıcı ve Kanal Çoklayıcı .....	18
2.5.8    ArUco İşaretleyici (ArUco Marker) .....	19
2.5.8.1    İşaretçi adaylarının tespiti işlemi: .....	20
2.5.8.2    Aday tespitinden sonra içsel kodlamalarının analiz edilerek gerçekten belirteç olup olmadıklarının tespit edilmesi:.....	20
2.5.9    Nesnelerin İnterneti (IoT) .....	21
<b>3. Görme ve Giyilebilir Çoklu Sensör Sistemi ile Yürüyüş Analizi</b>	
<b>Sistem Tasarımı</b> .....	<b>23</b>
3.1    Tasarım Yöntemi .....	23
3.2    Farklı Sensörlere Göre Tasarımlarda Kullanılan Ölçüm Yöntemleri.....	26
3.2.1    Kuvvet Algılama Direnç Sensörü (FSR) Kullanılarak Ayak Basınç Ölçüm Sistem Tasarımı .....	26
3.2.2    Yumuşak Optik Fiber Sensör Kullanılarak Ayak Basınç Ölçüm Sistem Tasarımı .....	27
3.2.3    Yürüyüş Esnasında Verilerin Toplanması .....	28
3.3    Tasarımlarda Elde Edilen Veriler ve Analiz Çalışmaları .....	35
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>42</b>
<b>5. KAYNAKLAR</b> .....	<b>44</b>
<b>6. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>46</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: ArUco işaretleyici (Khazetdinov ve diğ, 2021). .....	10
Şekil 2.2: Gazebo simülatörü kullanılarak ArUco işaretleyici tespiti çalışması (Khazetdinov ve diğ, 2021). .....	11
Şekil 2.3: Gauss ideal düzey gürültü seviyesi %0(Zakiev ve diğ, 2020). .....	12
Şekil 2.4: Gauss orta düzey gürültü seviyesi %5(Zakiev ve diğ, 2020). .....	12
Şekil 2.5: Gauss yüksek düzey gürültü seviyesi %10(Zakiev ve diğ, 2020). ...	12
Şekil 2.6: Rana'nın geliştirmiş olduğu sensör ve bağlantı birimi (Rana , 2009). .....	13
Şekil 2.7: Ayakkabıdaki DAT modülünün, iç tabanın ve genel donanımın görüntüsü(Guo, 2021).....	13
Şekil 2.8: Polimer optik fiber sensörlerinin konumları ile iç tabanın alt kısmı .....	14
Şekil 2.9: Esp32 modülü .....	15
Şekil 2.10: Kuvvet algılama direnç sensörü.....	16
Şekil 2.11: LDR'de direnç-ışık değişimi ( <a href="https://maker.robotistan.com/ldr">https://maker.robotistan.com/ldr</a> ).....	17
Şekil 2.12: ArUco Marker Örnekleri. ....	20
Şekil 2.13: Nesnelerin İnterneti (IoT) .....	22
Şekil 3.14: Ayakkabı tabanı üretim aşaması. ....	24
Şekil 3.15: Ayakkabı tabanının 3D Yazıcı ile üretilme aşaması.....	24
Şekil 3.16: Üretilen ayakkabı tabanı. ....	25
Şekil 3.17: Sensörlerin taban üzerine yerleştirilmesi.....	25
Şekil 3.18: Tasarımı gerçekleştirilen tabanın ve kontrol sisteminin sandalete yerleştirilmesi .....	26
Şekil 3.19: Kuvvet algılama direnç sensörü ile taban tasarımı. ....	27
Şekil 3.20: Fiber optik sensörü ile yapılan taban tasarımı. ....	28
Şekil 3.21: Yürüyüş analizi. ....	29
Şekil 3.22: r1 sensör verileri ile oluşturulan yürüyüş grafiği.....	30
Şekil 3.23: r2 sensör verileri ile oluşturulan yürüyüş grafiği.....	30
Şekil 3.24: r3sensör verileri ile oluşturulan yürüyüş grafiği.....	31
Şekil 3.25: r4 sensör verileri ile oluşturulan yürüyüş grafiği.....	31
Şekil 3.26: r5 sensör verileri ile oluşturulan yürüyüş grafiği.....	32
Şekil 3.27: r6 sensör verileri ile oluşturulan yürüyüş grafiği.....	32
Şekil 3.28: o1 sensörü yürüyüş esnasındaki veriler. ....	33
Şekil 3.29: o2 sensörü yürüyüş esnasındaki veriler. ....	33
Şekil 3.30: o3 sensörü yürüyüş esnasındaki veriler. ....	34
Şekil 3.31: Aruco işaretleyici ile yürüyüş esnasında alınan verileri. ....	35
Şekil 3.32: Basma fazı (Çalışkan, 2018). ....	36
Şekil 3.33: Elde edilen veriler ile basma fazının evrelerinin görselleştirilmesi. ....	36
Şekil 3.34: Verilerin analizi için iş akış diyagramı. ....	37
Şekil 3.35: Sliding window örnek sayısına göre R-squared değerleri. ....	38
Şekil 3.36: Adaboost – r1 sensörü etkileşimli dağılım grafiği görselleştirilmesi. ....	41



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 2.1: Zemin doğrusuna olan Öklid mesafe hata değerlerinin ortalaması. ....	9
Tablo 2.2: ESP32 Özellikleri. ....	15
Tablo 2.3: Esnek Tpu Filament Baskı Malzemesi Özellikleri. ....	18
Tablo 2.4: Velostat (Kuvvet Filmi) Özellikleri.....	18
Tablo 3.1: Üç farklı algoritmaya göre yapılan tahmin sonuçları. ....	39

## SEMBOL LİSTESİ

<b>IoT</b>	:	Internet Of Things
<b>EMG</b>	:	Elektromiyografi
<b>EKG</b>	:	Elektrokardiyografi
<b>GPS</b>	:	Global Positioning System
<b>AAT</b>	:	Akıllı Ayak Tabanı
<b>AÖB</b>	:	Atalet Ölçü Birimi
<b>ROS</b>	:	Robot İşletim Sistemi
<b>USB</b>	:	Universal Serial Bus
<b>FSR</b>	:	Kuvvet Algılama Direnç Sensörü
<b>LDR</b>	:	Light Dependent Resistor
<b>3D</b>	:	3 Boyutlu
<b>MAE</b>	:	Ortalama Mutlak Hata

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana desteğini esirgemeyen ve sonuca ulaşma konusunda beni yüreklendiren Tez Danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Ahmet ÖZEK hocama, tezin her aşamasında verdiği değerli bilgilerden dolayı Doç. Dr. Ahmet Çağdaş SEÇKİN hocama ve eğitim öğretim hayatımda beni her zaman destekleyen ve yanımda olan sevgili aileme teşekkür ederim.

# 1. GİRİŞ

Bu çalışmada hem ayak tabanı haritası çıkarma hem de yürüyüş esnasında gövde ve uzuvların duruşunu eşzamanlı analiz etmeye yarayan bir sistemin tasarlanması amaçlanmıştır. Sistem tasarımında ise uzman ihtiyaçlarını karşılayabilecek bir tasarım gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

Yapılan literatür çalışması neticesinde mevcut ticari sistemlerin bilimsel araştırmalara olanak sağlayacak veri sağlayamaması sebebiyle yeni tasarımların geliştirilmesine ihtiyaç olduğu görülmüştür. Mevcut bilimsel araştırmalar incelendiğinde, gövde ve duruş analizine odaklı çalışmaların literatürde bulunduğu fakat ayak tabanında oluşan değişimleri ölçme konusunda literatüre katkı sağlamadığı görülmektedir. Literatürde giyilebilir veya ayakkabı tabanına yerleştirilmiş zemin sensörlerinin kullanıldığı çalışmalarda ise gövde duruşu hakkında bilgi sağlama konularında eksiklikler olduğu görülmüştür. Sağlık alanında bu konuda yapılacak tedavi çalışmalarında problemlerin tespitine yönelik ölçme değerlendirme çalışmalarında yürüyüş esnasında gövde ve uzuvların duruşu üzerinde eşzamanlı analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, literatürdeki bu eksikliği gidermek için ayak tabanı haritası çıkarma ve yürüyüş esnasında ayak tabanının durumunu (ayak tabanı basınç uygulama noktaları) gerçek zamanlı olarak analiz edebilen bir sistem tasarlanması amaçlanmıştır. Mevcut literatürde kuvvet filmi kullanılarak ortaya konulan sistem çözümlerindeki yüksek maliyetler dikkate alındığında ucuz, kolay uygulanabilir, taşınabilir ve uzman ihtiyaçlarını karşılayan bir sisteme ihtiyaç bulunmaktadır.

Sağlık sektöründe, Endüstri 4.0'a paralel olarak Sağlık 4.0'ın ortaya çıkmasıyla birlikte, sağlık alanında hasta takip, hasta izleme ve tedavi yöntemlerinin bireyselleştirilmesine ve aynı zamanda sağlık çalışanlarının iş yükünün azaltılmasına odaklanılmıştır. Giyilebilir teknolojiler, tıbbi personelin hasta bakımı için harcadığı zamanı ve çabayı azaltmak için kullanılabilir. Ayrıca kronik hastalıklarda hastalığın seyri yapılan uzun süreli ölçümler ile sürekli olarak takip edilebileceği için kişiye özel çözümler üretilebilir. Bütün bunlara ek olarak, yürüyüş bozukluğuna sahip hastalarda sadece tedavi aşamasında değil tedavi tamamlandıktan sonra da bu veriler kullanılarak ilgili hastanın tedavisinin başarısını tespit edebilmeyi sağlayabilecek olan yapıları ortaya koymak ve bu yapılar üzerinde bilimsel sonuçlar ortaya çıkartmak bu çalışmanın kazanımları arasındadır.

Bu tez çalışmasının özellikle ayak yarası olan şeker hastaları için faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Akıllı ayakkabılar, bunları kullanan kişilerin yürüyüşlerinde herhangi bir bozukluk olması durumunda bu kişilerin yürüyüş tekniklerini düzelterek kendilerini incitmelerini engelleyecektir. Aynı zamanda bu çalışma egzersiz yapan, yürüyen veya koşan kişinin ayağının yere nasıl ve nerede temas ettiğinin ve ayağın yere ne sıklıkta temas ettiğinin doğru bir şekilde izlenilmesine olanak sağlar. Bu sayede akıllı ayakkabıları kullanan kişilerin sorunları yakından gözlemlenerek belirlenebilir ve bu kişiler için uygun bir yürüyüş şekli bulma olasılığı artar.

Bu tez çalışmasında ayakkabı tabanına yumuşak optik fiber sensörü ve kuvvet algılama direnç sensörü kullanılarak ayakkabı tabanı yapılmış, elde edilen veriler analiz edilmiş, tabanlar üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

IoT teknolojisi, günlük hayatta kullandığımız makinelerin birbirleri arasında bilgi paylaşmasına olanak sağlar. Böylece bir makine sensörleri vasıtasıyla algıladığı nesnelere anlamlı veriler haline getirerek diğer makineler ile paylaşabilir. Yani bu teknoloji nesnelere bir araya gelerek birbirleriyle haberleşmesine ve buna göre karar vermesini sağlar. Bu nedenle nesnelere interneti için gömülü sistemler, haberleşme ve internet protokolleri gibi temel teknolojilerin geleneksel sistemlerden akıllı sistemlere dönüşümü denilebilir. Nesnelere interneti tabanlı sistemlerin biyomedikal alanı ile ilgili olanları sağlıkta mobil uygulamalar, evde bakım hizmetleri, hastalıkların teşhisi, tedavisi ve bu tedavinin başarısının uzaktan takibi olarak sıralanabilir.

### 2.1 Biyomedikal sektörde IoT uygulamaları

Nesnelere interneti tabanlı teknolojiler gelişen teknolojinin etkisi ile sağlık sektöründe hastalıkların teşhisi, hastalıkların tedavisi, hasta takibi ve uzaktan hasta bakım hizmetleri için kullanılmaya başlamıştır. Nesnelere interneti teknolojisinde iki farklı temel vardır. Bunlar, radyo frekanslı tanımlama sistemleri ve kablosuz vücut alan ağlarıdır. Bu bölümde biyomedikal sektörde kullanılan bazı IoT uygulamaları incelenecektir.

2019 yılının sonunda Çin’de ortaya çıkan ve dünya genelinde milyonlarca insanın ölümüne neden olan korona virüs (SARS-CoV-2) salgını tüm dünyayı ciddi bir şekilde etkilemiştir. Dünya genelinde birçok ülkede bilim insanları, virüsü keşfetmek ve gerekli aşılarda geliştirip uygun tedaviyi bulmak ve hastalığın yayılmasını durdurmak için büyük çaba sarf etmiştir. Bu pandemi döneminde nesnelere interneti teknolojisinin sağlık alanında kullanımı ve bunun önemi çok daha iyi anlaşılmıştır. Bu dönemde nesnelere interneti teknolojileri korona virüs bulaşmış ve karantinaya tabi tutulan hastalara yerleştirilen bir dizi sensör yardımıyla bu hastaların sağlık durumlarını izlemek, başkalarıyla temasını önleyerek hastalığın yayılmasının önüne geçmek ve sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltmak için kullanılmıştır.

IoT, hastanede veya karantina yerlerinde uzaktan sağlık izleme için gelişmiş bir model sağlar. Sensörler hastanın tıbbi bilgilerini alır ve IoT bunu bir web tarayıcısı veya uzaktan bakım sağlayan özel programlar aracılığıyla depolar ve görüntüler. Bu sayede hem insan hatasını azaltır hem de sağlık çalışanlarının iş yükü azalır. Korona virüs çok hızlı yayıldığı için birçok ülkede hasta yoğunluğu bu ülkelerin sağlık sistemlerini çökertmiştir. IoT teknolojileri hem sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltarak hem de hastaları izlemek için gereken tıbbi cihazların sayısını azaltarak sağlık

sisteminin pandemi karşısında ayakta kalmasını sağlar ve maliyetlerin çoğunu azaltır. Ayrıca hastaların vücut ısısı, vücut hareketi ve kandaki oksijen seviyesi, kalp atış hızı, solunum hızı, Glikoz, kan basıncı, GSR ve Hava akışı da anlık olarak takip edilebilir (Abdulaal ve diğ., 2021). Böylece sistem, hastaya zamanında ilaç verilmesi için gerçek zamanlı müdahale sağlar, ayrıca hasta için herhangi bir tehlike olması durumunda e-posta ve SMS ile bildirim uyarıları gönderir. Bu bildirim, doktorları her hastanın durumu hakkında bilgilendirir.

2014 yılında Yang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, nesnelerin interneti bazlı IMEDBOX ve IMEDPACK adında iki farklı akıllı sağlık hizmeti uygulaması geliştirmişlerdir. Bu uygulamalarda ilaç kutularının ağırlıkları sürekli olarak karşılaştırılarak programlanan saatte ilgili hastanın ilacını kullanıp kullanmadığını tespit edebilmekte ve böylece hastayı ve doktorunu bu konuda uyarmaktadır. (Yang, 2014)

IoT teknolojilerinin biyomedikal alandaki bir başka uygulaması da Lee ve arkadaşları tarafından yaşlı hastaların evde bakımı için EKG sinyallerinin izlenmesi ve analizi üzerine yapılan çalışmadır (Lee ve diğ. 2007). Geliştirilen platform ile gerçek zamanlı olarak sinyaller analiz edilmiş, gelişmiş teşhis ve alarm sistemi kurulmuştur. Sistemde Maxfor firmasının TIP50CM algılayıcı düğümleri kullanılmıştır. Düğümler içerisinde TinyOS işletim sistemi bulunmaktadır. Hastalardan gelen sinyaller bir veri tabanına aktarılıp analiz edilmektedir. Kalp sinyallerindeki PQRST parametrelerindeki QRS parametrelerinin genişliği, R-R parametreleri arasındaki mesafe gibi bilgileri incelenerek kalbin çalışmasındaki anormallikler analiz edilmektedir. Bu anormal durumlar geliştirilen yazılım ile sınıflandırılmaktadır. Ayrıca oluşan anormal kalp ritimleri doktorlara alarm şeklinde iletilmektedir.

Bu alandaki bir diğer uygulama ise bebek yoğun bakım ünitesinde yatmakta olan bebeklerden alınan fizyolojik verilerin hem hastane ortamından hem de hastane ortamı dışından izlenmesine olanak sağlayan IoT tabanlı sistemdir. Ayrıca bu sistem sayesinde ilgili yoğun bakım ünitesindeki ilaç envanterlerinin takibinin de yapılması amaçlanmaktadır. Çalışmada, IoT teknolojisinin hem kendisi hem de önerilen platformun temel bileşenleri olan KVAA ve RFID sistemleri tanıtılmıştır. KVAA sistemlerinin servis kalitesi ihtiyaçlarından bahsedilerek IEEE 802.15.4 standardı geniş olarak incelenmiştir (Altaş ve diğ. 2016). Gelecekteki çalışmalarda, önerilen sistemin tamamlanmasına yönelik benzetimler ve gerçek zamanlı bir uygulamanın yapılması planlanmaktadır. Önerilen sistemin gerçek zamanlı uygulamasının gerçekleştirilmesi aşamasında web tabanlı ve kullanıcı dostu bir ara yüzün geliştirilmesini hedeflemişlerdir.

## 2.2 Akıllı Giysiler

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte verilerin toplanması, depolanması ve işlenmesi kolay hale gelmiştir. Böylelikle giyilebilir teknolojilerin popülaritesi de giderek artmıştır. Teknolojik gelişimdeki bu ivmeyle birlikte akıllı giysilerde kullanılan sensörler ve akıllı tekstil ürünleri de daha küçük, daha ucuz ve herkes tarafından daha kolay erişilebilir hale gelmiştir. Böylece, bu teknolojiler günlük hayatta daha yaygın hale gelmiş ve kullanıcıların günlük hayattaki aktivitelerinin takibi ve hasta kullanıcılarının hastalıklarının takibi konularında da yaygın olarak kullanılabilir hale gelmiştir.

Giyilebilir teknolojiler kullanıcılarının günlük hayattaki aktivitelerini tanıyarak (yürüyüş, koşu, bisiklet, uyku vb.) bu aktiviteleri takip etmeye böylece kullanıcıların hayat kalitesini arttırmaya da olanak sağlar (Ravi, 2005). Kullanıcıların günlük hayattaki aktivitelerinin tanınmasıyla beraber akıllı giysiler, kullanıcıya özel reklam faaliyetlerinden kullanıcının sağlık durumu takibi ve kullanıcının bireysel güvenliğine kadar çok bir geniş alanda kullanılmaya başlamıştır (Casela ve diğ., 2011). Akıllı giysiler kolay ulaşılabilir hale gelip ucuzladıkça günlük hayatta da daha sık kullanılmaya başlamıştır. Böylece bu teknoloji kullanıcıların hayatında büyük kolaylıklar sağlamaya başlamıştır. Kullanıcılar çok kolay bir şekilde bu teknolojiyi üzerlerinde taşıyabilmektedirler. Çünkü giyilebilir teknolojiler bir saat ya da bileklik şeklinde olabilir. Ayrıca bu teknoloji bir bant ya da giysi içerisine yerleştirilmiş sensörlerden müteşekkil de olabilir. Akıllı giysilerin kullanımıyla birlikte kullanıcılar kendi durumları (nabız, tansiyon vb.) hakkında anlık olarak doğru bir şekilde geri bildirim alabilmektedirler. Bütün bu özellikleri sayesinde akıllı giysiler, kullanıcının günlük hayatını kolaylaştırma ve konforunu arttırmanın yanı sıra biyomedikal ve rehabilitasyon alanında da sıklıkla kullanılmaktadır. Biyomedikal alanında kullanılan bu teknoloji sadece hasta kullanıcıların anlık durumunu takip etmeye yardımcı olmakla kalmaz aynı zamanda sağlık çalışanlarına sağladığı anlık takip olanaklarıyla tedavi sürecini de desteklemeye yardımcı olur. Böylece tedavi ya da rehabilitasyon sürecinde olan hastaların motor becerilerinin düzelmesini maksimize etmeye yardımcı olan beceri pratiğini yönlendirebilir ve kullanıcının olası yanlış uygulamalarını anlık olarak sağlık çalışanlarına ileterek yapılan geri bildirimle bu becerileri geliştirebilir (Aşuroğlu, 2020).



## **2.3 Yürüme**

Yürüme, canlıların bir noktadan bir noktaya hareket etmesi esnasında gövdenin hareket edilecek noktaya doğru ilerletilmesi için kol ve bacakların koordineli ve tekrarlanan hareketlerinin bütünüdür (Yavuzer, 2014).Yürüme temelde sinir, hareket ve dolaşım sistemlerinin koordineli çalışması ile gerçekleşen karmaşık bir eylemdir. Vücuttaki herhangi bir bozukluk diğer sistemleri de etkileyerek yürüme bozukluğuna sebep olabilir.

### **2.3.1 Yürüme ve Hareket Analizi**

Yürüme analizi geleneksel olarak uzman bir kişinin gözlemlemesi ile yapılmaktadır. Ancak bilgisayarlı sistemlerin gelişmesi ile yürüme analizinin daha hassas ve doğru yapılabilmesi mümkün olmuştur. Yürüme analizinin bilgisayarla yapılması için giyilebilir sensörler ve mutlak sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

### **2.3.2 Giyilebilir Yürüme Analizi Sistemleri**

Giyilebilir sensörler, insan vücuduna üzerine çeşitli yöntemlerle giydirilen sensörlerden meydana gelmektedir. Bu sistemler, ilgilenilen bölge üzerine tutturulmak üzere tasarlanmış olup sensör, işlemci ve enerji kaynakları barındıran ve genellikle bir de kablosuz haberleşme birimi bulunan cihazlardır. Yürüme analizi için kullanılan giyilebilir sistemler arasında en sık kullanılan metotlar Akıllı Ayak Tabanı (AAT), Atalet Ölçüm Birimi (AÖB) ve Elektromiyografi (EMG)'dir.

#### **2.3.2.1 Akıllı Ayak Tabanı (AAT)**

AAT sistemleri, bir ayakkabı tabanı üzerine veya içine yerleştirilmiş pek çok basınç, bükülme veya kuvvet sensöründen meydana gelir. AAT'ler ile ayak bası yüzeyinin yürüme esnasındaki değişimi haritalanabilmektedir, vücudun ayaklara uyguladığı kuvvet ve kuvvet dağılımı görselleştirilebilmekte ve dengesiz durumlar saptanabilmektedir. AAT üzerinde en çok kullanılan sensörler kuvvet filmleridir. Kuvvet filmleri, üzerlerine uygulanan kuvvet ile esneme yapan ve buna karşılık direnç değeri değişen sandviç yapılı sensörlerdir. Bu sensörler, piyasada hazır ve kendin yap şeklinde satılmaktadır. Hazır sensörler, aynı boyutta ve standart şekilde üretilmiş elemanlardır.

Standart şekilde üretildikleri için çok sayıda yerleştirildiklerinde kalibrasyonları kolaydır. Ancak istenen boy ve şekilde teminleri zor olduğu için doğal bir şekli olan ayak tabanı gibi yapılara uyarlanmaları veya istenen sayıda yerleştirilmeleri zor olabilmektedir. Ayrıca hazır sensörler oldukça pahalıdır. Kendin yap için satılan kuvvet filmleri ise ham halde satılmaktadır. İstenen yüzeye göre kesilip kolayca uygulanabilir ancak her bir sensörün ayrı ayrı kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Kuvvet algılama için piezo sensörlerdir. Piezo sensörler üzerlerine kuvvet uygulandığında bir gerilim üreten kristallerdir. Bu sensörler oldukça hassastır ve günümüzde neredeyse tüm ağırlık ölçüm süreçlerinde kullanılan yük hücresi gibi yapıların temelini teşkil etmektedir. Piezo sensörler oldukça hassas ve doğru sonuç üretmektedir ayrıca ucuz ve neredeyse her boyutta temin edilebilmektedir. Piezo sensörler kristal yapıları sebebiyle kırılğan bir yapıdadır. Özellikle spor gibi uygulamalarda yüksek kuvvet uygulanması sebebiyle piezo sensörlerin yapısı kırılarak bozulmaktadır. Ayakkabı tabanları ayak bası haritalaması için çok kullanışlıdır ancak kalibrasyonu, üretimi, harita çözünürlüğü ve doğruluğunun iyi ayarlanması gerekmektedir.

### **2.3.2.2 Atalet Ölçüm Birimi (AÖB)**

AÖB aslında bir çoklu sensör modülüdür. AÖB geleneksel olarak ivmeölçer ve jiroskop sensörlerinden meydana gelmektedir ancak manyetometre, barometre ve termometre gibi sensörlerinde eklenmiş olduğu türleri vardır. İvmeölçer, Kartezyen koordinatlarda uygulanan kuvvete karşılık sensör içindeki birim yükün üzerinde oluşan ivmeyi ölçmektedir. Jiroskop ise sensörün poz değişimleri sebebiyle oluşan açısız dönme miktarını ölçmektedir. İvme ölçer ve jiroskop ile alınan sinyaller işlenerek aktivite tanıma, yürüyüş analizi, adım sayar, insan makine arayüzü uygulamaları yapılmaktadır. Bu uygulamalar ağırlıklı olarak akıllı telefon ve akıllı saat cihazları üzerine inşa edilmektedir. Ancak yürüme analizi için olan uygulamalar için bileklik, bandana, ayakkabı ve ayak tabanı için uygulamalar yapılmıştır. AÖB sensörleri ucuz ve uygulaması basit sensörlerdir ancak alınan verinin işlem maliyeti yüksektir ve AÖB hata birikimli bir sensördür yani geçmişe dayalı veriden faydalanan uygulamalar için hatayı sürekli biriktirir ve uzun süre çalışılması durumunda yanlış veya yanıltıcı sonuçlar üretmeye başlar.

### 2.3.2.3 Elektromiyografi (EMG)

EMG yürüyüş esnasında kaslarda oluşan aktivitelerin elektrotlar yardımıyla ölçülüp kaydedilmesine denir. Dinamik EMG, kasların ne zaman kasıldığı, kasılma süre ve kasılma şiddeti bilgilerine ulaşmamızı sağlar. Kaydedilen sinyaller bilgisayara aktarılır, filtreleme işlemlerinden sonra veriler bilgisayar sistemlerine kaydedilir. EMG verilerini kaydetmenin önemi kas faaliyetlerinin, yürüme döngüsünün hangi anında oluştuğunu göstermesidir. EMG, kas aktivitesinin gerçekleştiği zamana dair objektif bilgi vermekle birlikte, Kinematik Analiz olmadan patolojik yürümeyi sağlıklı yürümeden ayırt etme olanağı sağlamaz (Yavuzer, 2014) , EMG de yüzeysel ve iğnen elektrotlar olmak üzere iki çeşit elektrot kullanılır. Yüzeysel elektrotlar cilt yüzeyine yapıştırma yoluyla bir uzman yardımı olmasa bile kolayca uygulanır fakat derinin kas üzerinde kayması durumlarında yanıltıcı sonuçlar üretebilmektedir. İğne elektrotlar ise kasın ilgili bölgesine batırılmak suretiyle uygulanır bu metot çok daha güvenilir sonuçlar üretmektedir fakat deri altı uygulama olması sebebiyle uzmanlık gerektirir.

Mutlak Sistemler ile Yürüyüş Analizi Mutlak izleme sistemleri izlenecek varlığın haricinde konumu bilinen referans ölçüm noktaları yardımıyla yapılan bir ölçüm metodudur [3]. Mutlak metotlar, görüntü işleme, mesafe sensörleri veya zemin döşemesi ile gerçekleştirilebilmektedir. Mutlak sistemler, arasında uygulama kolaylığı ve yüksek başarımlı sebebiyle görüntü işleme tabanlı sistemler daha popülerdir.

### 2.3.3 Görüntü İşleme ile Yürüyüş Analizi

Tipik Görüntü işleme sistemleri, yürüyüşle ilgili bilgileri toplamak için kullanılabilen lensli birkaç dijital veya analog kameradan oluşan yapılardır. Görüntü işlemede ana amaç gövde veya bir uzvun 3d modelinin çıkarılmasıdır. Geleneksel görüntü işleme yöntemleri ve tek kamera kullanarak gövdenin başarılı şekilde bir modelini oluşturmak zor bir süreçtir ve genellikle başarılı sonuçlar alınamamıştır. Bu sebeple normal kameralara ek olarak termal, infrared veya çoklu kamera sistemleri geliştirilmiştir ve halen kullanılmaktadır. Bu metotlar da doğal olarak donanım maliyetini artırmaktadır. Günümüzde hem donanım maliyetini düşük tutmak hem de başarımlı yüksek modeller çıkarmak için basit kameralara derin öğrenme metotları uygulanarak çalışmalar yapılmış ve oldukça hızlı çalışan sistemler elde edilmiştir. Derin öğrenme kullanılarak vücut iskeleti çıkarma için kullanılan bazı önemli yöntemler Tablo 2.1'de zemin doğrusuna olan Öklid mesafe hata değerlerinin ortalaması sunulmuştur. Derin öğrenme metotları yapay öğrenmenin (makine öğrenmesi) bir alt

alanıdır ve geleneksel makine öğrenmesine göre daha çok sayıda önileme ve öğrenme katmanı bulduran bir yapıdır. Derin öğrenme içerisindeki evrişim (convolution), havuzlama (pooling) vb. katmanlar öznelik (özellik) çıkarma sürecini otomatik olarak yerine getirmekte ve sonra gelen yapay sinir ağı katmanlarına daha yüksek başarılı girişler sunmaktadır.

**Tablo 2.1:** Zemin doğrusuna olan Öklid mesafe hata değerlerinin ortalaması.

Referans	Poz	Oturma	Bekleme	Yürüme
Tekin vd.	112.4	138.9	138.8	55.1
Zhou vd.	106.9	124.5	118.1	79.4
Sun vd.	46.4	65.7	47.8	49.0
Rhodin vd.	44.6	57.3	32.8	

### 2.3.2.1 Zemin Döşeme Sensörleri

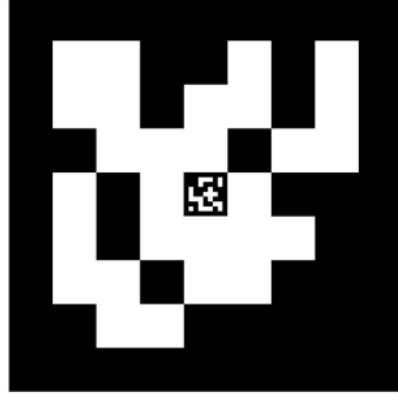
Bu tekniğe dayalı sistemlerde sensörler yürüme eyleminin gerçekleştirileceği zemine yerleştirilerek ölçüm alınma prensibiyle çalışmaktadır. Bu sistemler kuvvet platformları, yürüyüş bantları veya halı şeklinde karşımıza çıkabilmektedir. İki tür zemin sensörü vardır: kuvvet platformları ve basınç ölçüm sistemleri. Kuvvet platformları, basınç merkezini de ölçmelerine rağmen, uygulanan kuvvet vektörünü doğrudan ölçmeyen basınç ölçüm sistemlerinden ayırt edilmelidir. Basınç ölçüm sistemleri, bir ayak altındaki basınç modellerini zaman içinde ölçmek için kullanışlıdır, ancak uygulanan kuvvetlerin yatay veya kesme bileşenlerini ölçemez (Robertson ve diğ. 2013). Ayak tabanları gibi çalışan bu sistemler daha düşük çözünürlük sağlamalarının yansırı giyilme veya ölçeklenme sorunları olmadığı için oldukça pratiktir. Ayrıca, bu sistemlerde işlem maliyeti oldukça düşüktür.

## 2.4 Yapılmış çalışmalar

Khazetdinov ve arkadaşlarının yaptığı bu çalışmada görsel duyuşal verileri kullanarak hassas İHA iniş için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Yeni bir referans işaretleyici türü olan gömülü ArUco (eArUco), çok çeşitli mesafeler için sağlam bir işaret algılama görevi için geliştirmektedir. E-ArUco işaretçileri, orijinal ArUco işaretçileri yaklaşımına dayalıdır ve yalnızca ArUco algılama algoritması

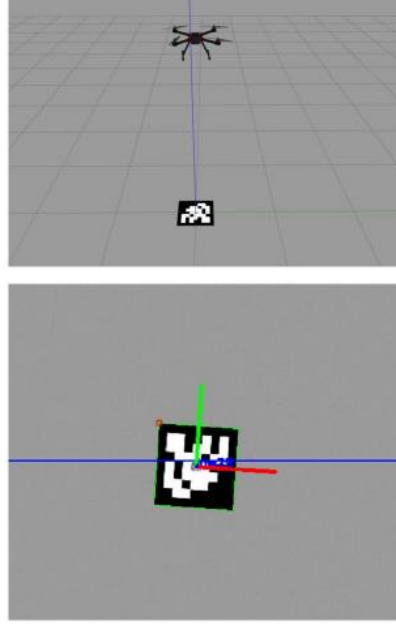
ritimlerini gerektirir. Geliştirilen belirteçlerin uygulanabilirliği, sanal ortamda İHA iniş deneyleri kullanılarak doğrulanmıştır.(Khazetdinov ve diğ, 2021)

Bu çalışmada kullanılan ArUco işaretleyici örneği Şekil 2.1’de sunulmuştur. ArUco işaretleyici, 7x7 boyutlu iç işaretçi ve 45x45 boyutlu dış işaretçi olmak üzere iki işaretçiden oluşmaktadır.



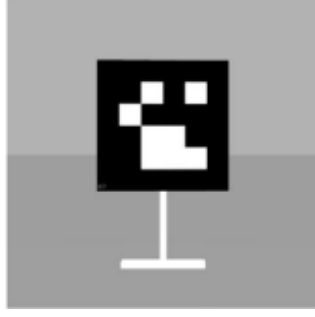
**Şekil 2.1:** ArUco işaretleyici (Khazetdinov ve diğ, 2021).

Hem geliştirilmiş bir işaretleyici hem de bir iniş algoritması, ROS çerçevesi içinde uygulanmakta ve Gazebo simülatöründe test etmişlerdir. Sanal deneylerine göre, ortalama iniş doğruluğu 2,03 cm ve standart sapma 1,53 cm’dir. Şekil 2.2’de ROS paketi tarafından gerçekleştirilen, ArUco işaretleyici tespiti için yaygın kullanılan sanal deney görülmektedir.

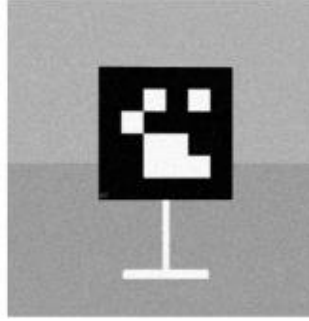


**Şekil 2.2:** Gazebo simülatorü kullanılarak ArUco işaretleyici tespiti çalışması (Khazetdinov ve diğ, 2021).

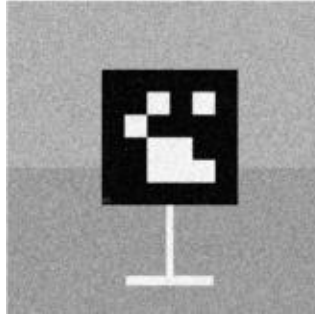
Zakiev ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada yapay görme yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Yapay görme yöntemlerinde başarılı performans elde etmek için tanıma kalitesi çok önemlidir. Bunların büyük bir kısmı, algoritmaların ana unsuru olarak referans işaretleyici sistemlerini kullanır. Ancak, sadece birkaç araştırma standart marker sistemlerini karşılaştırmaktadır. Bu çalışma, AprilTag ve ArUco belirteçlerinin sentetik gürültü varlığında dönüşlere karşı direncinin karşılaştırılmasına ayrılmıştır. Algoritmaların performansını etkileyen dış ortam koşullarını ortadan kaldırırken, işaretçi algılama ve tanıma algoritmalarının adil bir karşılaştırmasını sağlamak için ROS/Gazebo sanal ortamında deneyler yapılmıştır. Sunulan sanal ortamlar, deney süreci otomasyonu ile önemli miktarda veri toplanmasına imkân tanır. Gerçek dijital kameraların kusurluluğunu simüle etmek için giriş duyuşsal verilerine farklı düzeylerde ek beyaz Gauss gürültüsü uygulamışlardır. Makalenin ana katkısı, optik sensör gürültüsünün varlığında dönme direnci için AprilTag ve ArUco belirteçlerinin sistematik olarak karşılaştırılmasını yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada Gauss gürültüsü koşullarında, ArUco belirteçlerinin güvenilir algılama oranı, AprilTag işaretleri algılama oranından önemli ölçüde daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5’de ArUco sensörlerin Gauss gürültü seviyeleri görülmektedir (Zakiev ve diğ, 2020).



**Şekil 2.3:** Gauss ideal düzey gürültü seviyesi %0(Zakiev ve diğ, 2020).



**Şekil 2.4:** Gauss orta düzey gürültü seviyesi %5(Zakiev ve diğ, 2020).



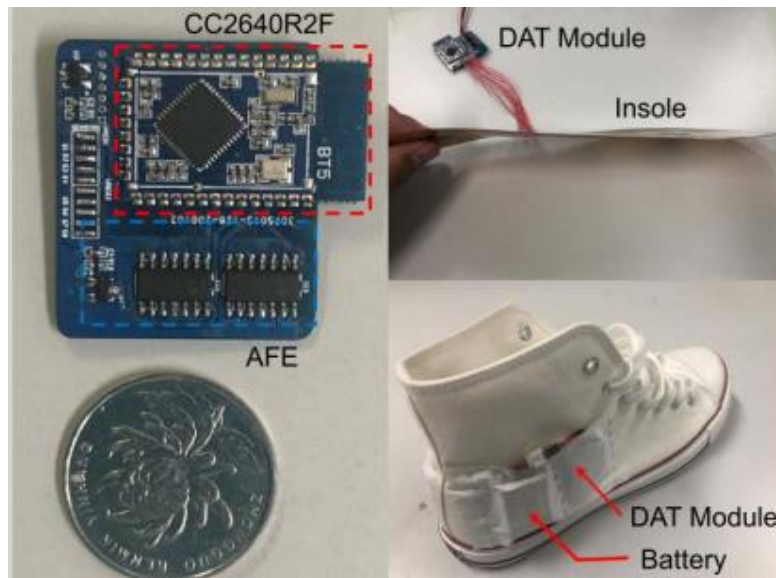
**Şekil 2.5:** Gauss yüksek düzey gürültü seviyesi %10(Zakiev ve diğ, 2020).

Rana'nın 2009 yılında kuvvet algılama direnci uygulaması ile geliştirdiği ayakkabı için plantar basınç sensörü ve ölçüm sistemi ile çeşitli hasta grupları testler ve analizler yapıp sonuçlarını paylaşmıştır. Geliştirilen plantar basınç ölçüm sensörü kauçuk bir tabanlık üzerinde 8 bölgeye yerleştirilen kuvvete duyarlı dirençten oluşmaktadır. Sensör Şekil 2.6'da görülmektedir. Burada ölçtüğü analog değerleri Biopac MP100 adlı bir veri toplama sistemi ile toplayarak dijitale dönüştürülmüş ve USB ara birimi ile bilgisayar sistemine aktarılmıştır (Rana, 2009). Denekler üzerinde yapılan ölçümler ile yapılan analizlerin diyabetik ayak ülseri hastalığının erken tanısında ve tabanlık üretimlerinde kullanılabileceği belirtilmiştir.



**Şekil 2.6:** Rana'nın geliştirmiş olduğu sensör ve bağlantı birimi (Rana , 2009).

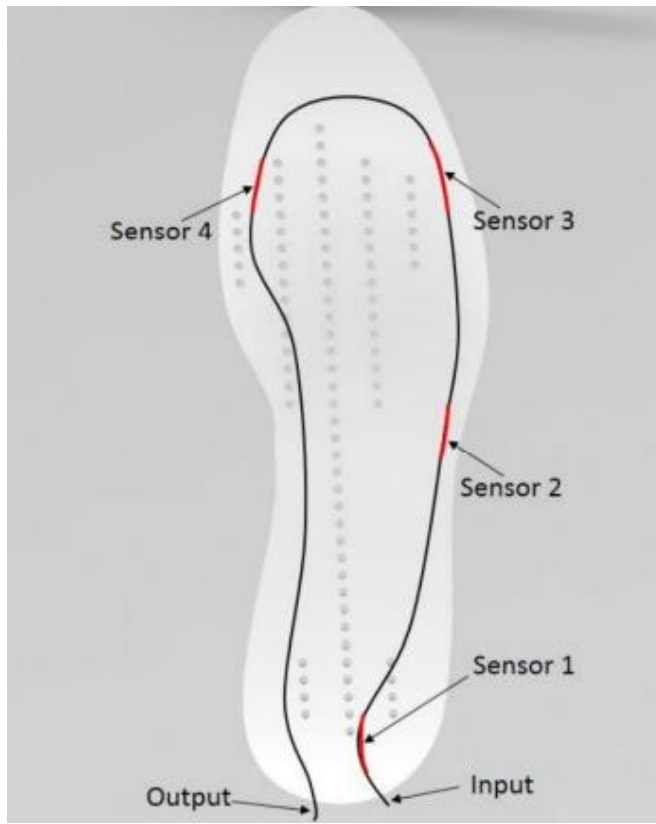
Bu yazıda, akıllı ayakkabı biçiminde uzun vadeli basınç merkezi izleme için düşük maliyetli ve yüksek enerji verimli bir sensör sistemi geliştirdik. Plantar basıncını birden fazla kuvvet sensörü aracılığıyla ölçebilir ve akıllı telefondaki kullanıcı dostu bir uygulama aracılığıyla gerçek zamanlı basınç merkezi izlerini sunabilir. Ek olarak, ticari cihazla karşılaştırıldığında iyi bir doğruluk gösteren, kesin sensör konumlarına ihtiyaç duyulmadan basitleştirilmiş bir statik basınç izleme hesaplama yöntemi de geliştirildi (Guo, 2021). Ek olarak, basınç merkezi izleme sürecini daha otomatik hale getirmek için bir insan etkinliği tanıma modeli dâhil edildi. Sonuç olarak sistemimiz, özellikle ev ve topluluk ortamlarında mevcut sistemlerin tamamlayıcısı veya yerine geçecek şekilde kullanılmak üzere iyi bir potansiyele sahiptir Şekil 2.7.



**Şekil 2.7:** Ayakkabıdaki DAT modülünün, iç tabanın ve genel donanımın görüntüsü(Guo, 2021).



Junior ve arkadaşlarının yaptığı bu çalışmada, yürüyüş döngüsü sırasında dikey yer reaksiyon kuvvetini ölçmek için Şekil 2.8’de görüldüğü gibi bir ayakkabı içi sistem tasarlamışlardır. Sistem, bir iç tabanda dört polimer optik fiber sensöründen oluşur. Polimer, viskoelastisitesi nedeniyle stres veya gerinme ile sabit bir tepkiye sahip olmadığından, bu etki için bir dengeleme tekniği de önerilmiştir. Önerilen iç taban, ticari bir kuvvet platformuyla karşılaştırıldığında ve 5.30 N’lik bir kök ortalama karesel hata elde etmişlerdir. Sonuçlar aynı zamanda sistemin yürüme sırasında yer reaksiyon kuvvetini ölçme fizibilitesini ve ticari kuvvet platformları ve fiber Bragg ızgaraları tarafından sunulandan tam taşınabilirlik, daha düşük maliyet ve daha yüksek esneklik gibi ek avantajlara sahip olduğunu görmüşlerdir(Leal – Junior ve diğ, 2018).



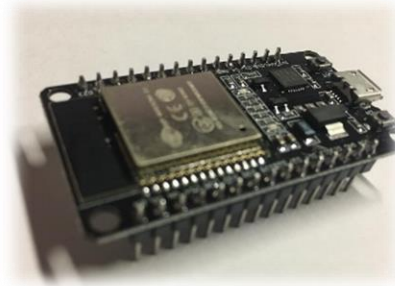
Şekil 2.8: Polimer optik fiber sensörlerinin konumları ile iç tabanın alt kısmı (Leal – Junior ve diğ, 2018).

## 2.5 Kullanılan materyaller

Tez Ar-Ge çalışmalarımızda, deneysel ölçümlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan materyaller hakkında detaylı bilgilendirme aşağıda verilmiştir.

## 2.5.1 Esp 32 Kontrol Modülü

ESP 32, Bluetooth ve WiFi gibi özelliklere sahip, yapılan projeleri internet ortamına bağlamak veya IoT(Nesnelerin İnterneti) gibi projelerde kullanılan bir mikrodenetleyicidir. Ayrıca, düşük güç tüketimi ve düşük maliyet gerektiren uygulamalarda da kullanılabilir. Diğer mikrodenetleyiciler ve mikroişlemciler gibi, ESP32 de güç regülasyon devrelerinde, yerleşik antenlere, gürültü filtrelerine sahiptir ve hızlı prototipleme için herhangi bir devre tahtasına rahatça oturabilmektedir.



Şekil 2.9: Esp32 modülü

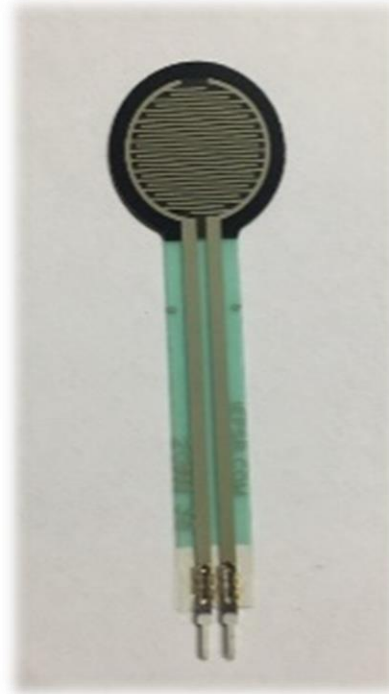
ESP32, master veya slave olarak, diğer MCU'LARLA arayüz oluşturabilir ve/veya SPI/SDIO, I2C ve UART üzerinden tamamen bağımsız çalışabilir. Ayrıca, bu mikrodenetleyici bir SD kart ve 32 GPIO pinleri ile birden fazla sensörü destekleyebilir.

Tablo 2.2: ESP32 Özellikleri.

ÜrünKategorisi	WifiModül
Seri	ESP32-WROOM-32D
ÇalışmaGerilimi	2.2 - 3.6VDC
32 GPIO	ADC (16), SPI (2), I2C (1), UART (1), PWM (32), SDIO (50 Mhz)
SRAM	520 KB
Flash	4 MB
WiFiAlıcı-Verici	802.11BGN HT40 WiFiAlıcı-Verici (-98 dBm minimum hassasiyet)
Maksimum Veri Hızı	150 Mbps
ÇalışmaSıcaklığı	-40 ° C ile 125 ° C
Boyut	29,22 mm x 98,58 mm x 17,22 mm

### 2.5.2 Kuvvet Algılama Direnç Sensörü

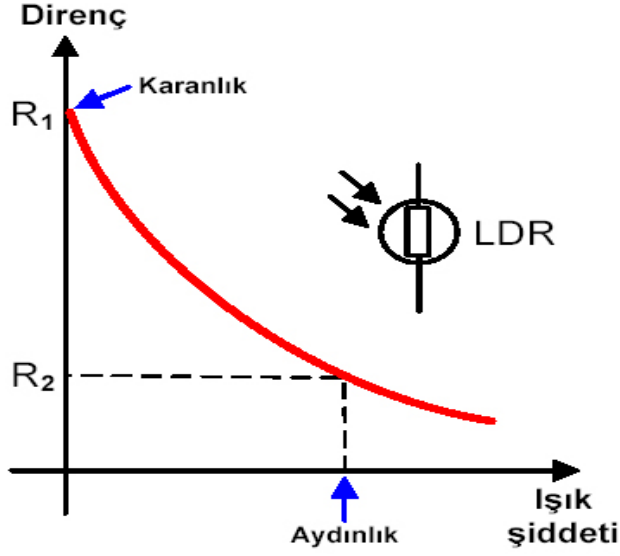
Bu tez çalışmasında kullanılan kuvvet algılama direnç sensörü (FSR), 1,5 cm çaplı, aktif alana uygulanan kuvvette bir artış olduğunda dirençte bir azalma gösteren ve bir sensör oluşturmanıza olanak tanıyan pasif bir bileşendir. Kuvveti veya basıncı algılayabilir. Birkaç gramdan birkaç kilograma kadar kuvvet hassasiyeti aralığına sahip bu sensör, insan dokunmatik kontrol uygulamalarında kullanım için optimize edilmiştir. Sensör yüzeyindeki polimer kalın film bu sensörü, elektronik cihazların insan dokunmatik kontrolünde kullanılmak üzere optimize edilmiştir ve aktif alanın herhangi bir yerinde birkaç gramdan birkaç kilograma (0,2 N ila 20 N) kadar uygulanan bir kuvveti algılayabilir, Şekil 2.10.



Şekil 2.10: Kuvvet algılama direnç sensörü.

### 2.5.3 Foto Direnç

Foto dirençler, ışık şiddetine bağlı direnç değerleri değişen elektronik bileşenlerdir. LDR'lerin, aydınlık bir ortamda direnç değeri azalırken; karanlık bir ortam da ise direnç değeri artmaktadır. Bundan dolayı, ışık şiddeti farkı ile kontrol istenen uygulamalarda kullanılmaktadır. Şekil 2.11'de, LDR'nin direnç-ışık şiddeti grafiği gösterilmektedir.



Şekil 2.11: LDR'de direnç-ışık değişimi (<https://maker.robotistan.com/ldr>).

#### 2.5.4 Lazer Modülü

Arduino ve benzeri mikrodenetleyiciler ile kullanabilen bir lazer modülüdür. I2C haberleşme protokolü ile mikrodenetleyiciler arasında veri haberleşmesi yapmaktadır. Sistem üzerinde bulunan UART RX-TX pinleri vasıtasıyla veri okuması işlemi gerçekleştirmekte, 3-5V güç aralığında çalışmaktadır. Robot süpürgede engel tespiti ve insan tespiti gibi projelerde de kullanılabilirler.

#### 2.5.5 Esnek Fiber Optik Sensör

Fiber Optik Sensörler, bir ışık demeti gönderir ve gönderilen bu ışık demetinin sensöre geri dönmesi prensibi ile çalışır. Bu sensörler, ışık enerjisini elektrik sinyaline dönüştürme işlemi yaparlar. Fiber optik kabloda, elektrik sinyalinin optik sinyale dönüşmüş şekli iletilerek kablo ile alıcı uçta foto diyot veya fototransistor gibi yarı iletken elemanlar kullanılarak tekrar optik formdan elektriksel sinyal şekline dönüştürülür. Bu şekilde hem sayısal hem de analog sinyaller taşınabilir. Fiber optik sistemlerde sinyal kaynağı olarak led veya lazer diyotlar kullanılır ve böylece veriler, minimum güç kaybı ve bozulma ile taşınmış olur.

**Tablo 2.3:** Esnek Tpu Filament Baskı Malzemesi Özellikleri.

Filament Çapı	1.75mm
Önerilen Baskı Sıcaklığı	195 ° C - 245 ° C (383 ° F - 473 ° F)
Makara Çapı	7.8mm
Makara Genişliği	2.6mm
Makara Göbeği Delik Çapı	2.20mm

### 2.5.6 Kuvvet filmi

Velostat olarak da bilinen bu basınç ve kuvvete duyarlı iletken malzeme, giyilebilir bir yapıdadır. Esnedikçe direnci değişir, sıkıştırmak direncini azaltmaktadır. Bu nedenle, esnek basınç sensörü olarak da kullanılabilir. Giyilebilir yapılarda sensör olarak kullanılma gerekçelerinden bir tanesi maliyetinin düşük olmasıdır. Velostat malzemeler kullanıcılara bir avantaj sağlamaktadır.

**Tablo 2.4:** Velostat (Kuvvet Filmi) Özellikleri.

Boyutlar	11 "x 11" (280mm x 280mm)
Kalınlık	4 mil / 0.1mm
Ağırlık	18.66g
SıcaklıkSınırları	-45 ° C - 65 ° C (-50 ° F - 150 ° F)
IsıyaDayanıklılık	Var
SesDayanımı	<500 ohm-cm
YüzeyDayanımı	<31.000 ohm / sq.cm

### 2.5.7 Analog/Dijital Çevirici, Dijital/Analog Çevirici, Çoğullayıcı , Kanal Aktarıcı ve Kanal Çoklayıcı

Analog ve Dijital sinyaller üzerinde işlem yapılırken bazı elektronik devre elemanları (modülleri) kullanılmaktadır. Analog girişlerden elde edilen sinyalleri dijital sistemlerde işleyebilmek için Analog/Dijital çevirici sistemler kullanılmaktadır. Dijital formdaki bilgileri ise Analog sinyallere dönüştürebilen Dijital/Analog çevirici sistemler mevcuttur. Birden çok sinyalin işlenmesi gerektiği durumlarda (çoklu kanal) bu bilgilerden istenilen bir tanesini seçip gönderebilme imkânı sağlayan elektronik Çoğullayıcılar (Multiplexer) ve yine tek bir kanaldan gelen bilgileri

istenilen(seçilen) kanala gönderebilmesini sağlayabilen Demultipler devre eleman ve/veya modül devreleri mevcuttur. Yine tek bir kanaldaki bilgiyi birden çok kanalda kullanma imkânı sağlayan kanal çoklayıcı devre elemanları veya modülleri sistem kontrollerinde kullanılabilir. Bu tür uygulamalarda seçici uçlar örneğin ikili sistemde S<sub>0</sub>-S<sub>3</sub> pinleri ile 16 kanal seçim işlemi gerçekleştirilebilmektedir. İkili sistemlerde haberleşme için ise UART, I2C ve SPI gibi dijital haberleşme bağlantılarında da kullanılabilir.

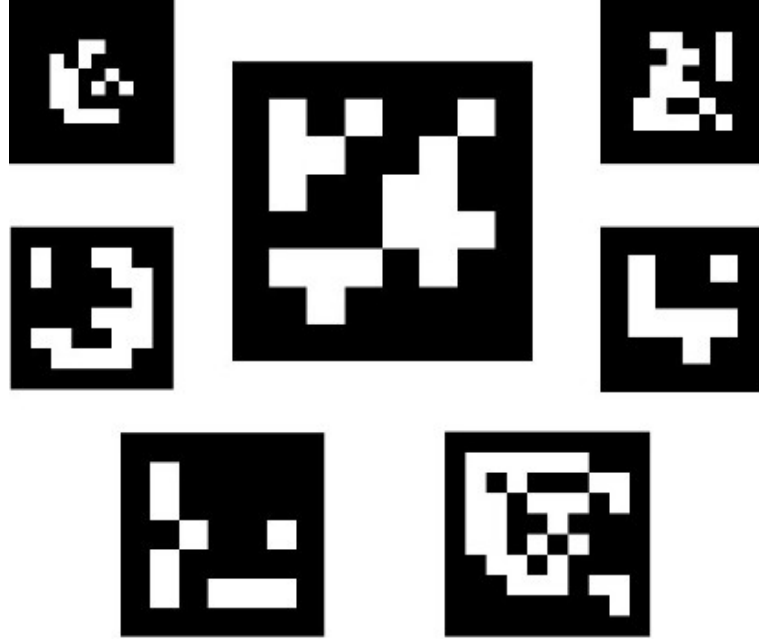
**Tablo 2.5:** Analog/Dijital Multiplexerin Çalışma Saha Özellikleri(Örnek).

Çalışma gerilimi	2-6V
"On" direnci	70Ω /4.5V
Çalışma sıcaklığı	-55 ile 125 °C

### 2.5.8 ArUco İşaretleyici (ArUco Marker)

Poz tahmini, robot navigasyonu, artırılmış gerçeklik ve dahası gibi uygulamalara dayanan birçok bilgisayarlı görme uygulaması için büyük önem taşır. Bu işlemi kolaylaştırmak için sentetik veya güvenilir işaretleyicilerin kullanılması gerekir. En popüler yaklaşımlardan biri, ikili sistem (binary system) kare işaretleyicilerin kullanılmasıdır. Bu işaretleyicilerin temel yararı, tek bir işaretleyicinin kamera pozunu elde etmek için yeterli olmasını, dört köşesi ile sağlamasıdır. Ayrıca, iç ikili kodlama, işaretleyicide kullanımı sağlam hale getirerek hata algılama ve düzeltme tekniklerinin uygulanmasına imkân sağlamaktadır.

ArUco işaretleyici, geniş bir siyah kenarlık ve tanımlayıcısını belirleyen bir iç ikili(binary) matristen oluşan sentetik bir kare işaretleyicidir. Siyah kenarlık, görüntüdeki hızlı algılamayı kolaylaştırır ve ikili kodlama, tanımlanmasına ve hata algılama ve düzeltme tekniklerinin uygulanmasına imkân tanır. İşaretleyici boyutu, iç matrisin boyutunu belirler.



Şekil 2.12: ArUco Marker Örnekleri.

ArUco Marker ile yapılan işlemler, 2 adımdan oluşur. İlk olarak işaretçi oluşturulmakta, sonrasında ise, işaretçi algılaması yapılmaktadır. İşaretçi algılama işlemi iki adımda incelenmektedir, bunlar;

#### **2.5.8.1 İşaretçi adaylarının tespiti işlemi:**

Bu adımda, işaretleyici olmaya aday kare şekilleri bulmak için görüntü analiz edilir. İşaretçileri bölümlere ayırmak için uyarlanabilir bir eşikleme ile başlar, ardından eşikli görüntüden konturlar çıkarılır ve dışbükey olmayanlar veya bir kare şekline yaklaşmayanlar atılır. Bazı ekstra filtreleme de uygulanır (çok küçük veya çok büyük konturları kaldırmak, birbirine çok yakın konturları kaldırmak, vb.).

#### **2.5.8.2 Aday tespitinden sonra içsel kodlamalarının analiz edilerek gerçekten belirteç olup olmadıklarının tespit edilmesi:**

Bu adım, her bir işaretleyicinin işaretleyici bitlerini çıkararak başlar. Bunu yapmak için, işaretçiyi kanonik biçiminde elde etmek için önce bir perspektif dönüşümü uygulanır. Ardından, kanonik görüntü, beyaz ve siyah bitleri ayırmak için Otsu kullanılarak eşikleme işlemi gerçekleştirilir. Görüntü, işaretçi boyutuna ve kenarlık boyutuna göre farklı hücrelere bölünür. Daha

sonra her bir hücredeki siyah veya beyaz piksel sayısı, beyaz veya siyah bit olup olmadığını belirlemek için sayılır. Son olarak, işaretleyicinin belirli bir sözlüğe ait olup olmadığını belirlemek için bit'ler analiz edilir. Gerekğinde hata düzeltme teknikleri kullanılır.

## 2.5.9 Nesnelerin İnterneti (IoT)

İzleme cihazları, sensörler, bioçipler gibi nesnelerin, dış ortamdaki etkileşimleri neticesinde elde ettiği verilerin, algoritmaya göre değerlendirilmesi ve bu değerlendirme sonucu elde edilen verilerin kişilere iletilmesi veya sistemler yardımı ile işlenerek faaliyet gerçekleştirilmesi gibi süreçleri gerçekleştiren sisteme, Nesnelerin İnterneti (IoT; Internet of Things) denmektedir. Kısaca, günlük hayatta kullanılan akıllı cihazların internete bağlanıp veri gönderme ve veri alma işlemi de denebilir. Bu sistemin yapı taşları, internet ve özellikle kablosuz internettir. Bu sistemle ile istenilen herhangi bir cihazı, internet aracılığıyla, uzaktan kontrol etme imkanına sahip olunabilmektedir.

1999'lu yıllara kadar "Nesnelerin İnterneti" kavramı ortaya atılmamıştı, fakat bu teknoloji yıllardır gelişme gösteriyordu. 1980'li yıllarda, bir kola makinesinin durumunu internet üzerinden kontrol etmeye yarayan bir uygulama geliştirilmesi ile bu alandaki ilk uygulama gerçekleşti. Kevin Ashton tarafından 1999 yılında ortaya koyulan bu kavram, başlangıçtaki zamanlarda radyo frekansları kullanılarak birbirleriyle haberleşen cihazları kapsıyordu ama gelişen teknolojilerle birlikte bu kavram daha geniş bir alan da kullanım olanağı buldu. Sadece evimizdeki eşyaları ya da yoldaki trafik ışıklarını değil, aynı zamanda fabrikalarda üretim yapan makineleri de kapsayan bir yapıya büründü. Kevin Ashton'un önerdiği sistem; "Nesnelerin İnterneti" kavramını ortaya çıkaran radyo dalgaları ve sensörlere dayalı bir küresel sistem standardıdır.

Nesnelerin İnterneti birçok farklı alt yapıya sahiptir. Bunlar: ısı, basınç, hareketi algılayan sensör sistemleri; sensörden gelen verilerin analiz edilmesi, sensörden gelen verilerin merkezi sunucularda toplanması; minimum enerji ile verilerin iletilmesi ve verilerin şifrenmesi ile gizli ve güvenli bir yapıda saklanması gibi süreçlerdir. Günümüzde bu sistemler, sensörler vasıtasıyla elde ettikleri verileri genellikle lokal sistemler yerine bulut sisteminde saklamakta ve yine bulut sistemi üzerinde işleyebilmektedir. Yine bu sistemlere, Yapay Zekâ entegrasyonu ile Akıllı binalardan, Akıllı Kentlere doğru teknolojik bir ilerleme gösterebilmektedir.





**Şekil 2.13:** Nesnelerin İnterneti (IoT)  
(<https://www.evde360.com/page/nesnelerin-interneti-ve-akilli-evler>).

Akıllı trafik sistemleriyle, trafikteki sürücülerin konumlarının sürekli olarak izlenmesi ile sürücülerin hareket bilgilerini analiz ederek bölgedeki trafik yoğunluğunu, trafiğin akış hızını, belirli bir rota üzerinde tahmini varış süresini tespit edebilmesi gibi işlemler, Nesnelerin İnterneti aracılığı ile sağlanmaktadır. Böylelikle, trafiğe yeni çıkacak sürücüler, trafik yoğunluğuna göre başka yolları tercih edebilirler. Akıllı sensörler yardımıyla bir odadaki karbon monoksit ölçülmesi ve gerekli bilgilerin, ev sahibi kişilere bu bilgilerin iletilmesi veya odanın sıcaklığının, sıcaklık sensörü yardımıyla ev sahibi kişinin telefonunda gösterilmesi gibi işlemler de yapılabilir. Ayrıca, hava kirliliği, yağış durumu, baraj doluluğu, orman yangını gibi bildirimlerden, ilgili mercilerin anında haber alması işlemi de bu sistemin uygulama alanlarındandır.

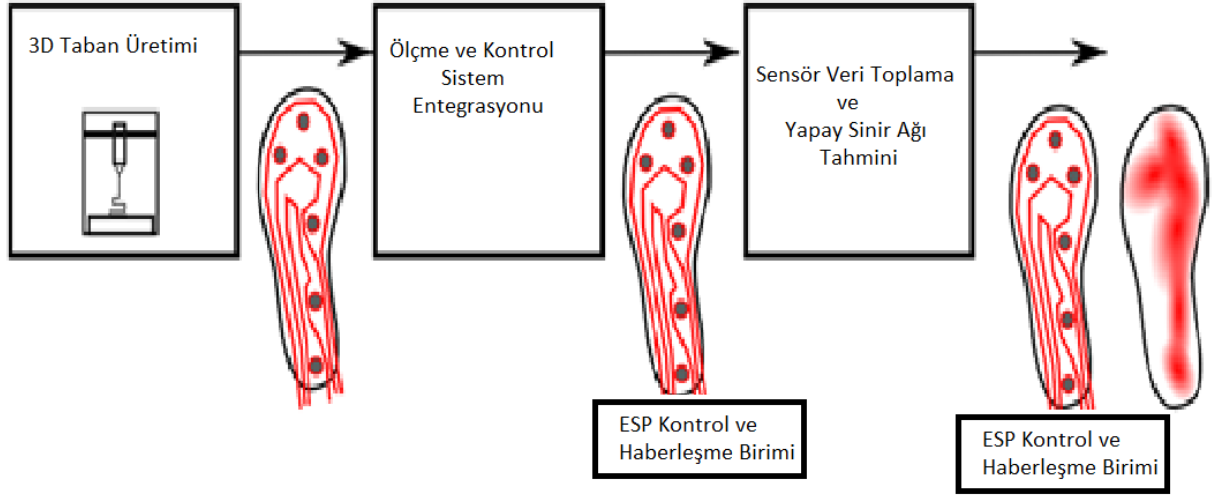
### **3. Görme ve Giyilebilir Çoklu Sensör Sistemi ile Yürüyüş Analizi Sistem Tasarımı**

Bu tez çalışmasında ayakkabı tabanlığına kuvvet algılama direnç sensörleri ve yumuşak optik sensörleri montajlanarak iki farklı yapıdaki sensörler aynı ayakkabı tabanı üzerinde birleştirilerek ölçüm değerlerinin doğruluklarının kıyaslanabilmesini temin edebilecek bir ölçme düzeneği tasarlanmıştır. Bu ölçüm düzeneği ile yürüyüş sırasında elde edilen veriler toplanabilmekte ve analiz edilebilmektedir. Yapılan farklı çalışmalar ile, farklı tabanlar üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bunun için, ayakkabı tabanı taban büyüklüğü, sensör yerleşimi ve sensör sayıları üzerinde farklılıklar içeren farklı Ar-Ge tasarım çalışmaları yapılmıştır.

#### **3.1 Tasarım Yöntemi**

Tez çalışması kapsamında tasarımda izlenen yöntem; görsel donanım tasarımı, akıllı ayak tabanı tasarımı, deneysel çalışma ile veri toplama ve son olarak analiz çalışmaları olmak üzere beş ana kısımdan meydana gelmektedir. Kamera ve taban sensörleri ile eş zamanlı ölçüm alınarak ayağın yürüyüş halindeki konumu belirlenebilmek, kameralar ile yürüme eylemi kaydedilirken, aynı zamanda tasarlanan ayak tabanı sensörü ile taban haritaları üretilmektedir. Çalışmalar sırasında elde edilen veriler daha sonra araştırmacı veya doktorun incelemesi için depolanmakta ve depolanan veriler kullanılarak analiz işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Tez çalışması kapsamında tasarlanan sistemin genel çalışma prensibi Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Buna göre öncelikle tasarımı yapılan ayakkabı tabanı 3D printer ile üretilmiştir, Şekil 3.2. Üretilen tabana yumuşak optik fiberler ve referans sensör sistemi olan kuvvet algılama direnç sensörleri monte edilmiştir, Şekil 3.3, 3.4’de Yumuşak Optik Fiberler ve kuvvet algılama direnç sensörleri aynı ölçüm devresine bağlanmakta ve veriler kablosuz haberleşme kullanılarak bilgisayara aktarılmaktadır, Şekil 3.5. Son olarak bilgisayar sisteminde zaman serisi halindeki verilerin yapay sinir ağı tahmini yapılarak toplanan verilerin işlenmesi, analizi yapılmaktadır.



Şekil 3.1: Ayakkabı tabanı üretim aşaması.



Şekil 3.2: Ayakkabı tabanının 3D Yazıcı ile üretilme aşaması.



**Şekil 3.3:** Üretilen ayakkabı tabanı.



**Şekil 3.4:** Sensörlerin taban üzerine yerleştirilmesi.



**Şekil 3.5:** Tasarımı gerçekleştirilen tabanın ve kontrol sisteminin sandalete yerleştirilmesi.

## **3.2 Farklı Sensörlere Göre Tasarımlarda Kullanılan Ölçüm Yöntemleri**

Yapılan deneysel çalışmalarda 2 farklı yapıda basınç sensörü kullanılmıştır. Bunlar; kuvvet algılama direnç sensörü ve yumuşak optik fiber sensör 'dür. Farklı sensörleri aynı taban üzerine yerleştirilerek aynı anda elde edilen verilerin işlenebilmesi mümkün hale getirilmiştir.

### **3.2.1 Kuvvet Algılama Direnç Sensörü (FSR) Kullanılarak Ayak Basınç Ölçüm Sistem Tasarımı**

Yürüyüş analizinde yaygın olarak kullanılan sensörlerden biri de kuvvet algılama direnç sensörüdür. Şekil 3.6'da kuvvet algılama direnç sensörüne sahip taban tasarımı görülmektedir. Kuvvet algılama direnç sensörü yüksek maliyeti ve düşük dayanımı nedeniyle genel kullanımlar için tercih edilmemektedir. Bu husus kullanılan teknolojinin en önemli dezavantajıdır. Bu dezavantaj biyomedikal sektöründe yeni arayışlara neden olmuştur.



**Şekil 3.6:** Kuvvet algılama direnç sensörü ile taban tasarımı.

### **3.2.2 Yumuşak Optik Fiber Sensör Kullanılarak Ayak Basınç Ölçüm Sistem Tasarımı**

Yürüyüş analizinde kullanılan mevcut sensörler düşük dayanımları ve yüksek maliyetleri sebebiyle biyomedikal sektörünü yeni arayışlara itmiştir. Fiber optik sensör teknolojisinin bu arayışa bir cevap olabileceği düşünülmüştür (Rana 2009).

Bu tez çalışmasında, yumuşak optik fiber sensörü için Ar-Ge çalışması yapılmış, Tasarım kullanılarak yürüyüş analizi gerçekleştirebilecek kabiliyette bir model ortaya konulması sağlanmıştır. Şekil 3.7’de görüldüğü üzere üç farklı fiber kanal ayak tabanına yerleştirilmiştir. Bu üç farklı fiber hattı kullanılarak elde edilen sistem üzerinde lazer kaynağından bir adaptör vasıtası ile lazer ışınları gönderilmekte, gönderilen bu lazer ışınları fiber kanalları içerisinden geçerek fiber kanalların diğer uçlarından çıkmaktadır. Burada LDR sensörleri kullanılarak taban yapı üzerindeki uygulanan kuvvet ile orantılı olarak modüle edilebilmektedir (ışık yoğunluğu algılanmaktadır). Bu tasarımda üç kanal yapısı, üç LDR sensör ile sonlandırılmış bir ölçüm sistemi tasarlanmıştır. Kullanıcı yürümeye başladığında tabanlığının üzerinde farklı noktalarda basınç oluşur ve bu basınç lazer ışınlarının geçişine belirli ölçüde etki etmektedir. Bu da ldr sensörlerinden okunan değerlerin değişiklik göstermesine neden olmaktadır. Bu sayede kullanıcının yürüyüş esnasında hangi

noktalara bastığını öğrenme imkânına kavuşulmuş olur. Böylece kullanıcının yürüyüş analizi gerçekleştirilmiş olur.



**Şekil 3.14:** Fiber optik sensörü ile yapılan taban tasarımı.

### **3.2.3 Yürüyüş Esnasında Verilerin Toplanması**

Örnek ölçüm verilerinin elde edilmesi için, kullanıcı Şekil 3.8’de görüldüğü üzere yürüyüş bandı üzerinde 1 km/s hız ile 1 dakika boyunca yürütülmüştür. Bu esnada özel olarak tasarlanan yumuşak optik fiber ve kuvvet algılama direnç sensörlerinin de monte edildiği ayakkabı kullanılmıştır. Böylece her iki tipteki sensörün de üzerine düşen her nokta için tekrarlı ölçümler yapılmış ve maksimum değerler kaydedilmiştir. Ayakkabının anlık konumunun takip edilmesi için ise ArUco işaretleyicileri ve kamera ile birlikte bilgisayarlı görme teknolojisi kullanılmıştır. Bu

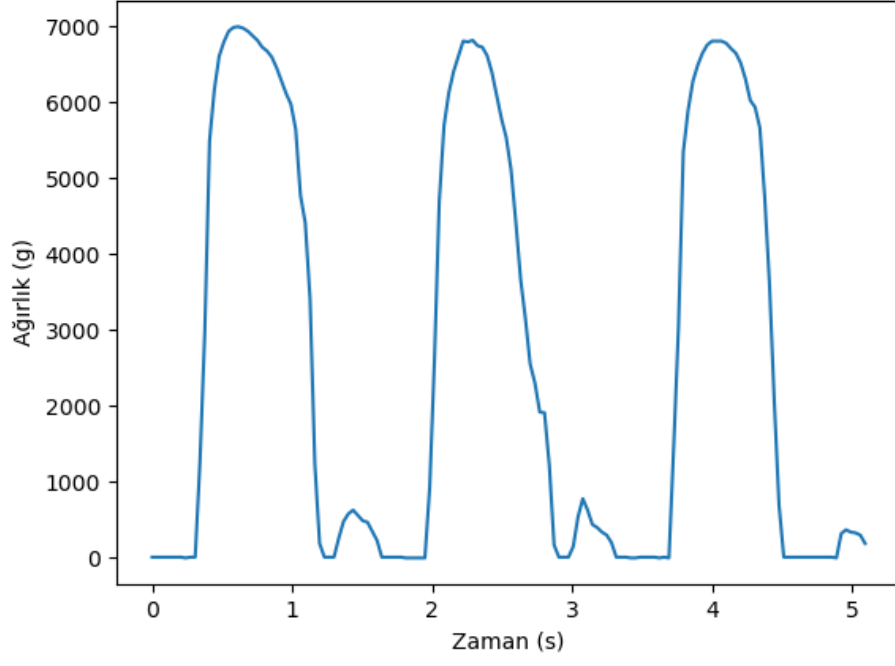
sayede hem sensör verileri hem de bilgisayarlı görme teknolojisi aracılığıyla ayakkabının hareketleri ve yürüyüş analizi yapılmıştır. Eş zamanlı olarak, ayakkabının konumunun kaydedildiği dosya, daha sonra incelenmesi ve analiz edilmesi için kullanılacak veriler kayıt altına alınmış olur. Böylece, farklı tipteki sensör ve bilgisayarlı görme teknolojisi kullanılarak çok daha detaylı ve kesin bir yürüyüş analizi yapılmıştır.



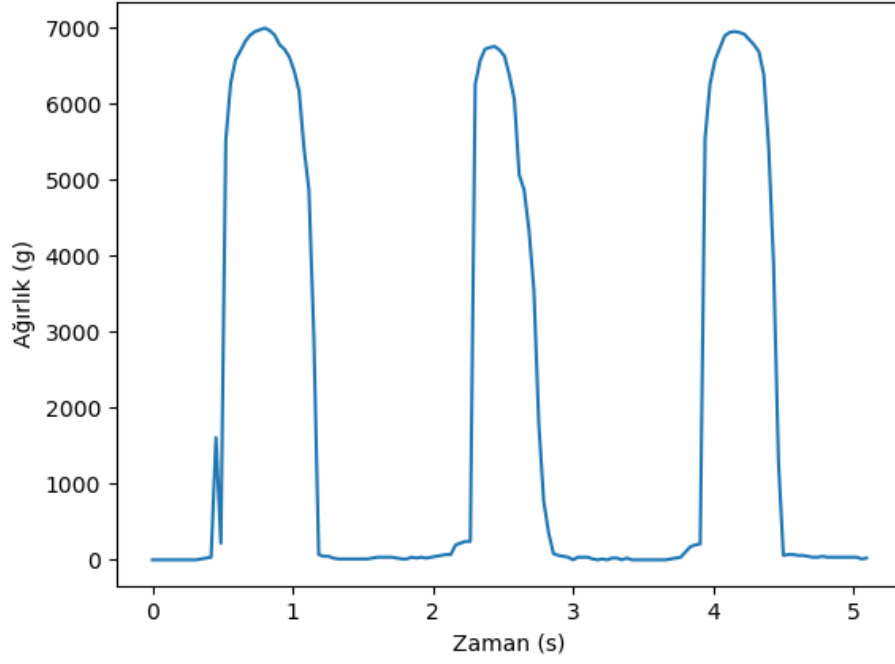
Şekil 3.8: Yürüyüş analizi.

Referans sensörü olarak kullandığımız kuvvet algılama direnç sensörlerimizden r1 sensörümüzün yürüyüş esnasındaki verileri çizgi grafiğine dökülmüş hali Şekil 3.9'da görülmektedir. Grafiğimizde yürüyüş analizi esnasındaki 5.1 saniyelik zaman aralığı sunulmuştur. Bu zaman aralığında grafikten de görüleceği üzere üç adet adım atılmıştır. Sensörümüzün üzerinden ise maksimum 7000g civarı ağırlık ölçülmüştür. Diğer referans sensörlerimiz ile elde ettiğimiz grafikler ise r2 sensörümüz Şekil 3.10'da, r3 sensörümüz Şekil 3.11'de r4 sensörümüz Şekil 12'de r5 sensörümüz Şekil 3.13'de ve r6 sensörümüz ile elde ettiğimiz veriler ile oluşturduğumuz grafik Şekil 3.14'de verilmiştir.

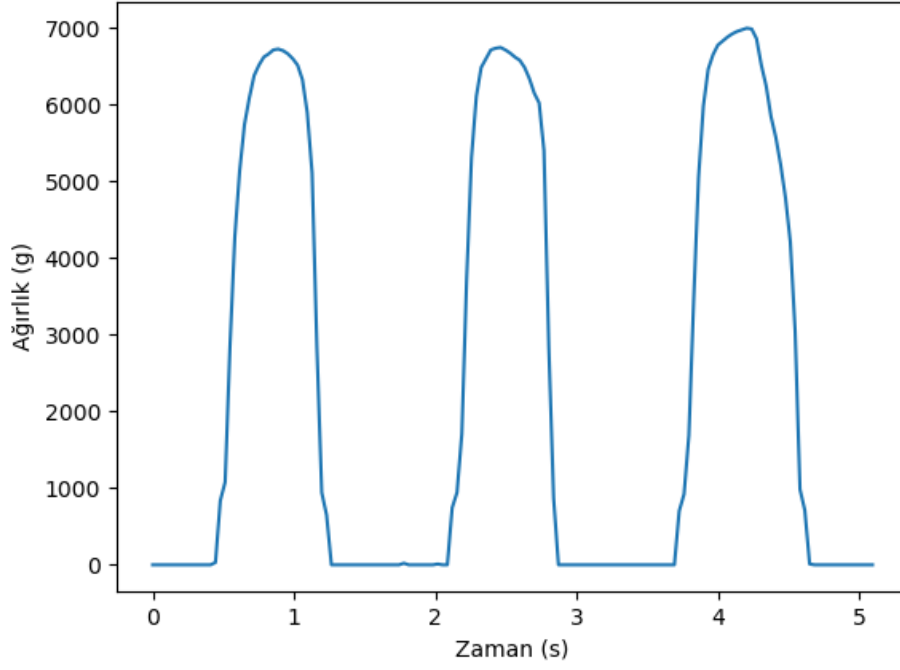




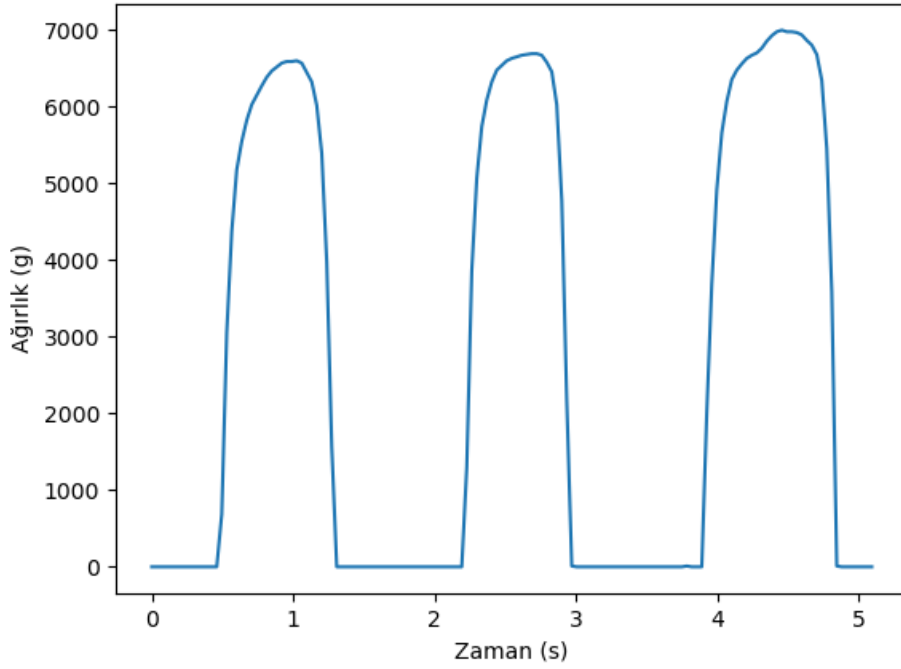
Şekil 3.9: r1 sensör verileri ile oluşturulan yürüyüş grafiği.



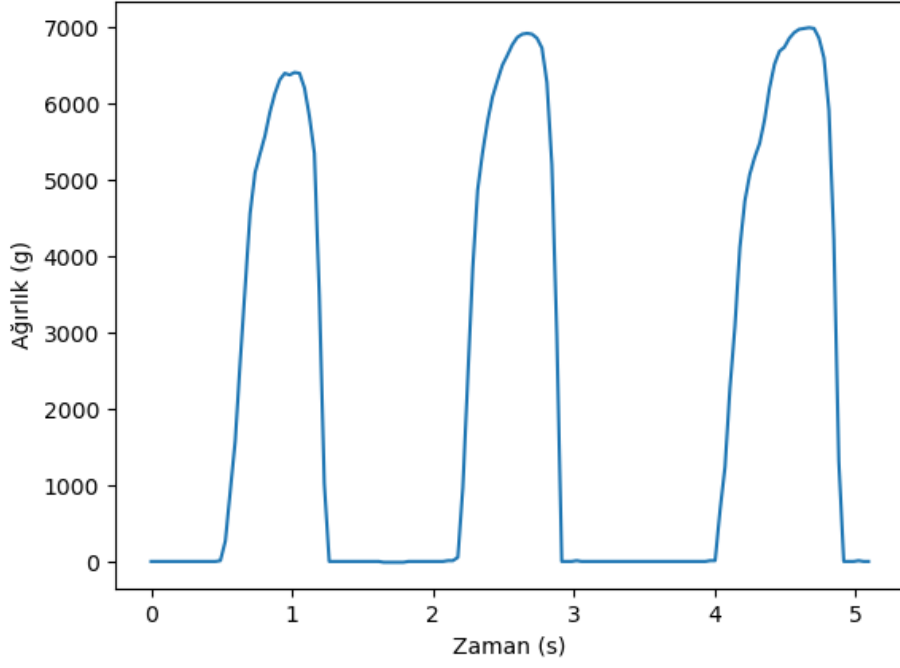
Şekil 3.10: r2 sensör verileri ile oluşturulan yürüyüş grafiği.



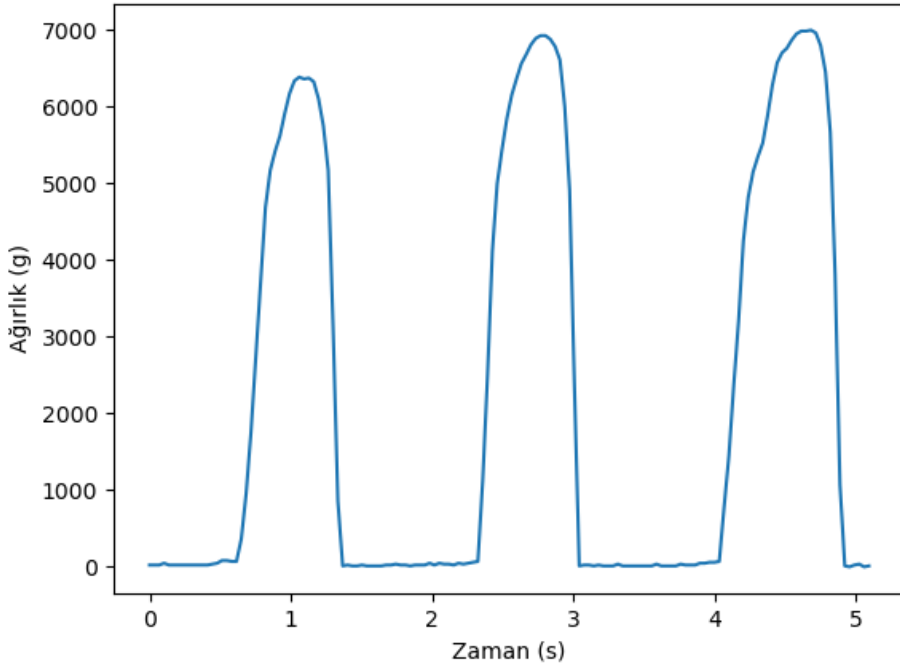
Şekil 3.11: r3sensör verileri ile oluşturulan yürüyüş grafiği.



Şekil 3.12: r4 sensör verileri ile oluşturulan yürüyüş grafiği.



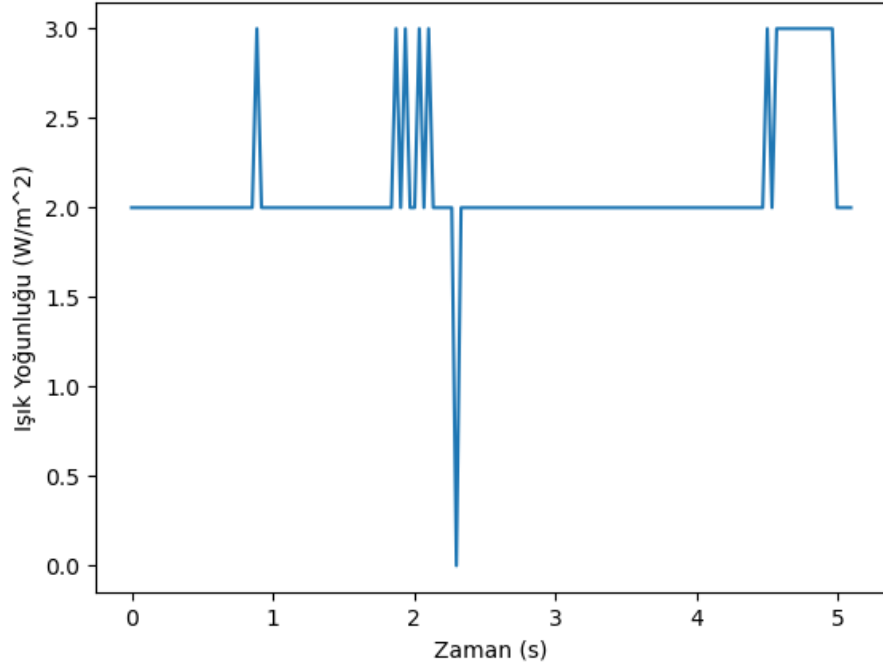
Şekil 3.13: r5 sensör verileri ile oluşturulan yürüyüş grafiği.



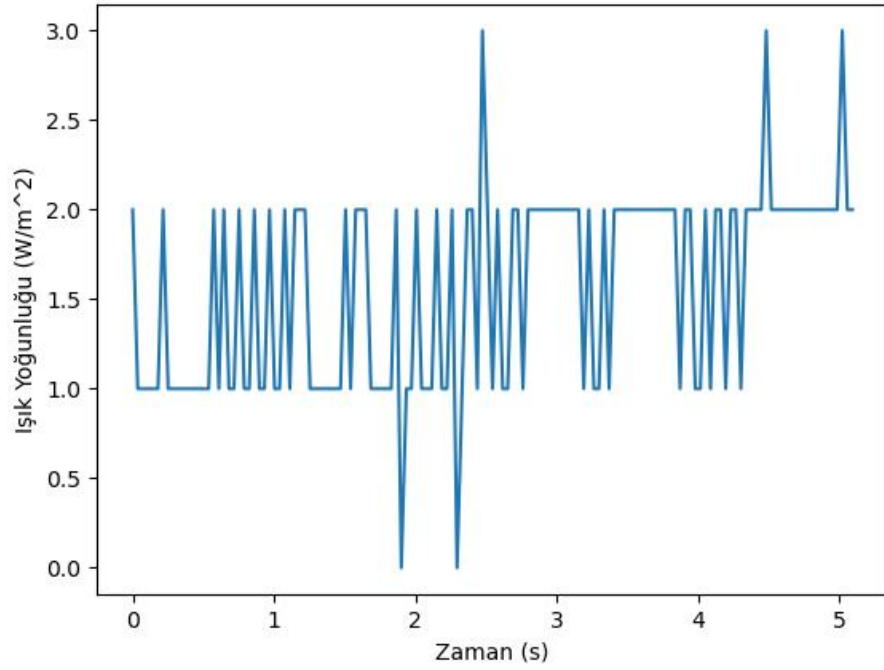
Şekil 3.14: r6 sensör verileri ile oluşturulan yürüyüş grafiği.

Yürüyüş esnasında yumuşak optik sensör vasıtasıyla elde edilen veriler ile grafikler oluşturulmuştur. Tabanlık üzerine yerleştirilmiş yumuşak optik sensörlerin en iç kısımda yer alan o1 sensörümüzün verileriyle oluşturduğumuz grafiğimiz Şekil 3.15’de gösterilmiştir. Şekil 3.16’da

ise üç adet yumuşak optik sensörümüz orta kısmında yer alan yumuşak optik sensörümüzün verileriyle elde edilen grafiğimiz görülmektedir.

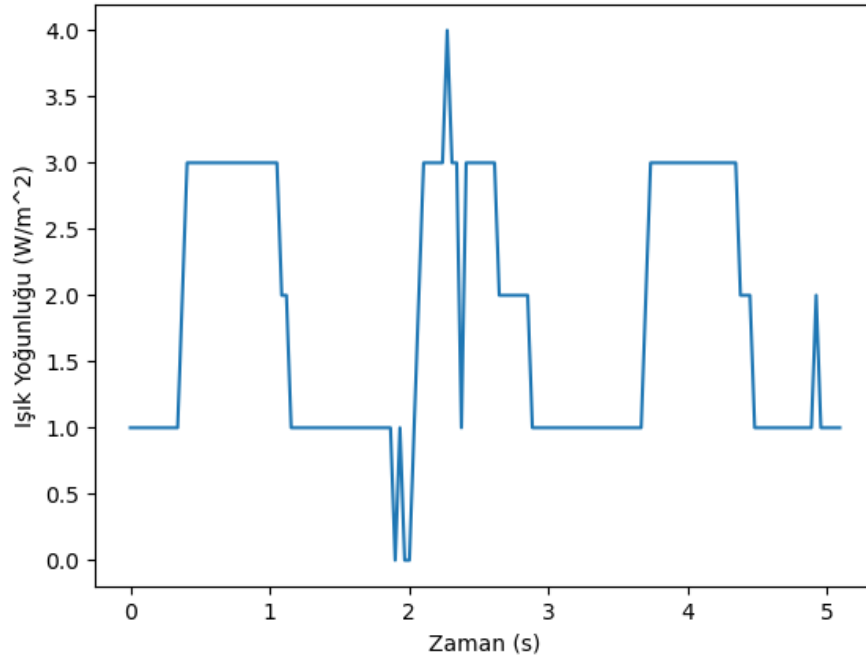


Şekil 3.15: o1 sensörü yürüyüş esnasındaki veriler.



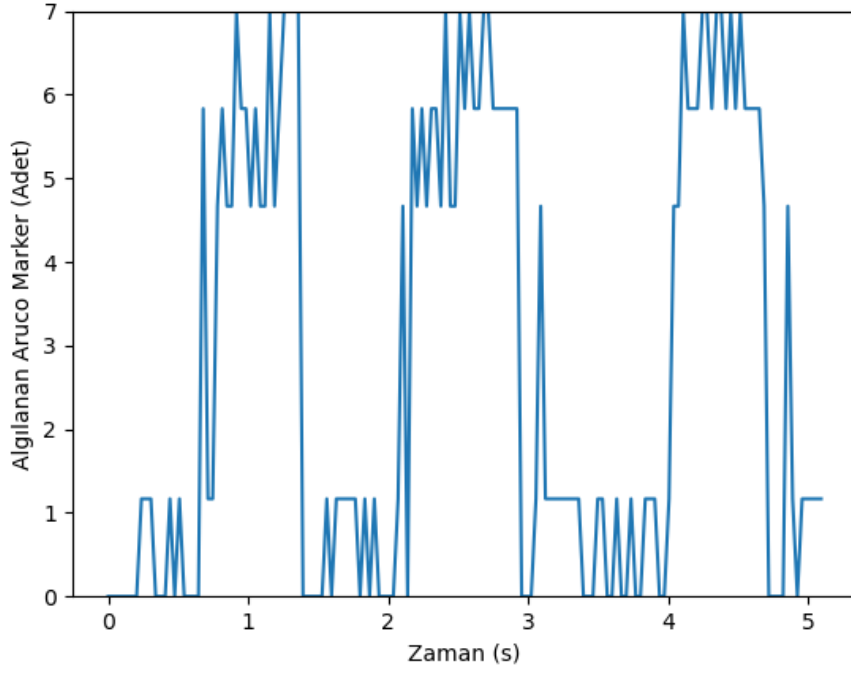
Şekil 3.16: o2 sensörü yürüyüş esnasındaki veriler.

Tabanlık üzerinde yerleştirilmiş sensörlerimizin en dış kısmında bulunan yumuşak optik sensörümüzün grafiği ise Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Bu sensörümüz diğer sensörlerimize göre daha verimli olduğu grafiği incelediğimizde açıkça görülmektedir. Bu verimlilik sebebinin ise en dış kısımda olduğundan dolayı daha az kıvrıma uğramıştır.



Şekil 3.17: o3 sensörü yürüyüş esnasındaki veriler.

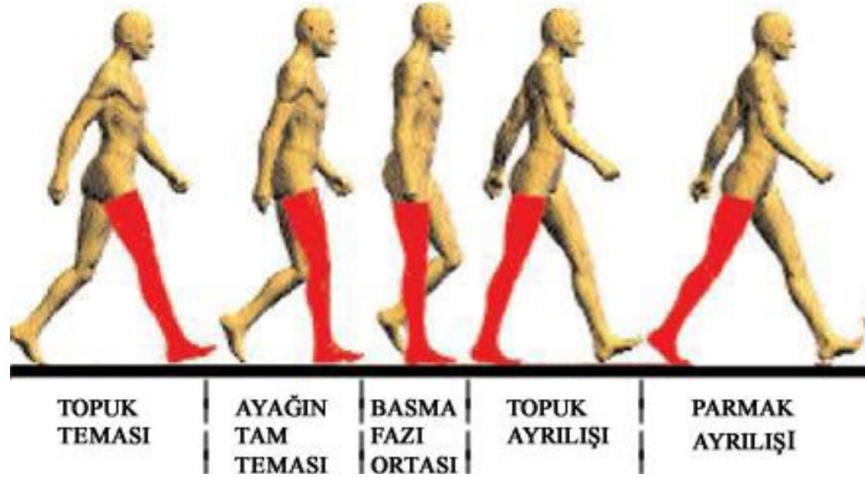
Yürüyüş esnasında ayak konumunu belirlemek için Aruco işaretleyiciler kullanılmıştır. Ayakkabı yan yüzeyine yerleştirilen yedi adet Aruco işaretleyicinin tespiti ile Şekil 3.18’deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 3.18: Aruco işaretleyici ile yürüyüş esnasında alınan verileri.

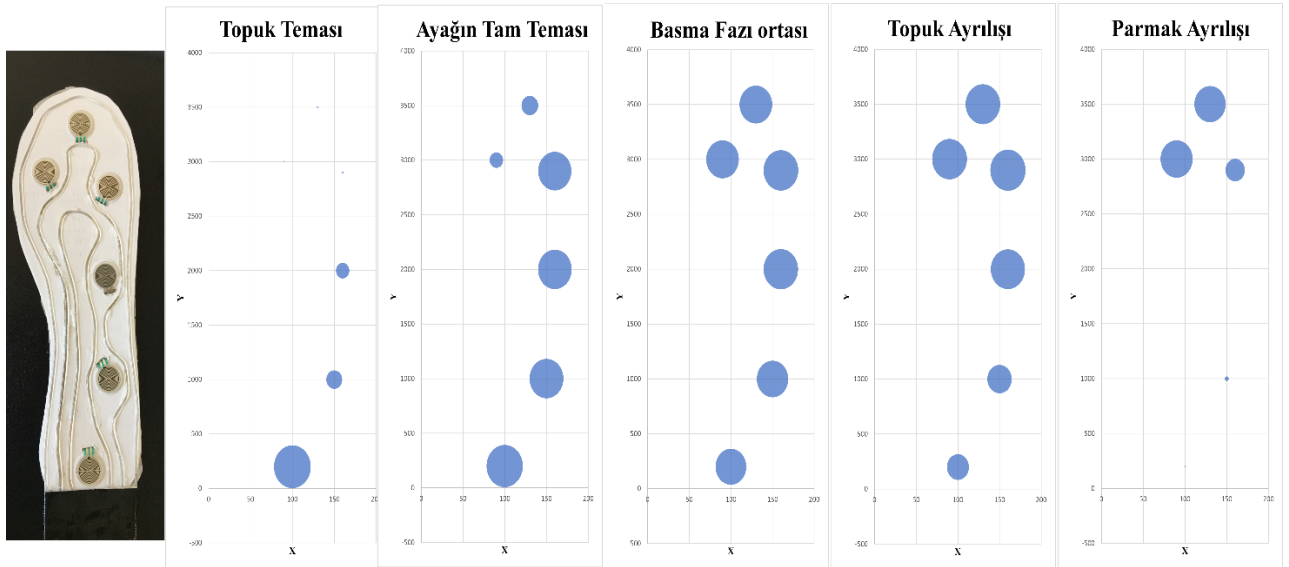
### 3.3 Tasarımlarda Elde Edilen Veriler ve Analiz Çalışmaları

Basma fazı, yürüme sırasında gerçekleşen bir hareket dizisidir. Bu faz yürüyen kişinin ayağının yere bastığı anda başlar ve yürüyen kişinin ayağının yerden kaldırmasına kadar devam eder. Basma fazı yürüyen kişinin ayağının yere bastığı anda yürüyen kişinin vücut ağırlığının ayağa aktarılmasını yürüyen kişinin vücudunun denge ve hareket kontrolünün sağlamak için gerekli olan hareketleri gerçekleştirmesini içerir. Yürüyüş analizi için “Basma Fazı”nı inceleyecek olduğumuzda Şekil 3.19’da görüldüğü üzere beş fazdan oluşmaktadır. Bunlar: Topuk teması, ayağın tam teması, basma fazı ortası, topuk ayrılışı ve son olarak parmak ayrılışıdır.



Şekil 3.19: Basma fazı (Çalışkan, 2018).

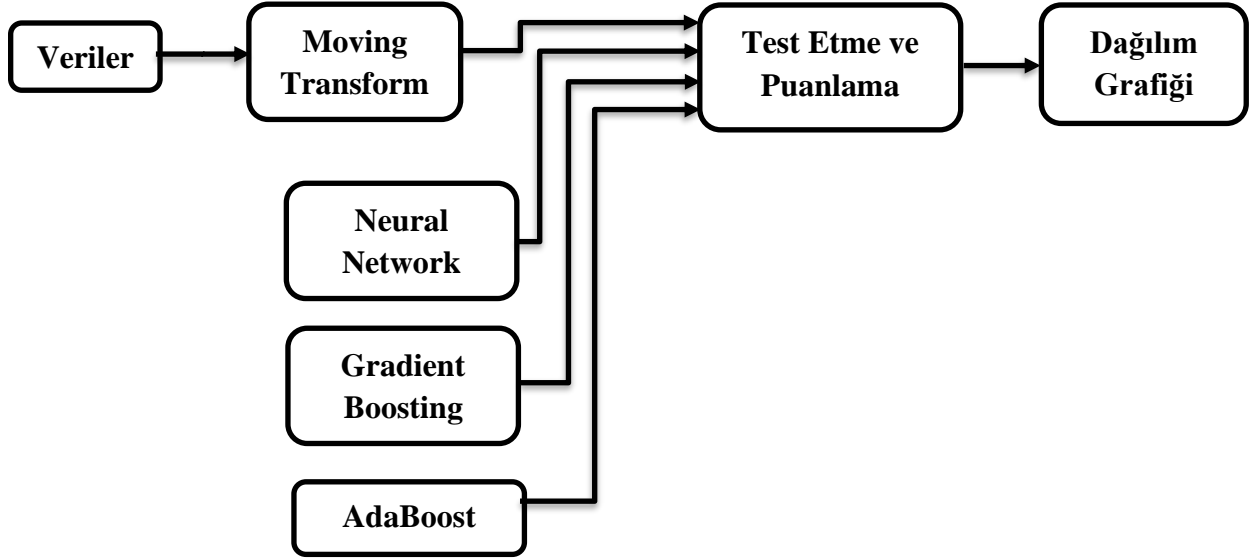
Tasarlamış olduğumuz tabanlıktan alınan veriler ile oluşturulmuş basma fazının evreleri Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.20: Elde edilen veriler ile basma fazının evrelerinin görselleştirilmesi.

Yumuşak optik fiber sensörü ile yapılan test yürüyüşünden elde edilen verilerle kuvvet algılama direnç sensörü ile yapılan test yürüyüşünden elde edilen verilerin karşılaştırılması için SQL (Yapılandırılmış sorgu dili) kütüphanesi kullanılmıştır. SQL kütüphanesi, veri tabanı işlemleri için kullanılan bir programlama dili veya kütüphanesidir. SQL veri tabanlarına sorgu göndermek veri

tabanı tablo ve kayıtlarını oluşturmak, değiştirmek veya silebilmek için kullanılır. Verilerin analizi için gerçekleştirilmiş olan iş akış diyagramı Şekil 21’de gösterilmiştir.

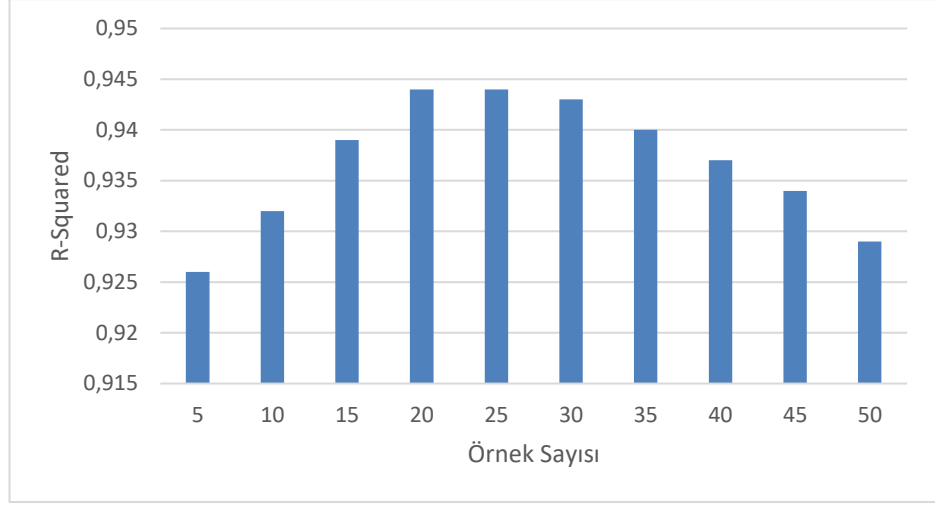


Şekil 3.21: Verilerin analizi için iş akış diyagramı.

İş akış diyagramından ilk sırada yer alan veri grubumuzu inceleyecek olursak üç farklı yumuşak optik fiber sensörlerinden gelen veri grubumuz (o1, o2, o3) ile referans sensörü olarak seçilen kuvvet algılama direnç sensörlerinden gelen verileri gruplarımız (r1, r2, r3, r4, r5, r6) oluşturmaktadır.

Veri gruplarımız iş akış diyagramından da görüleceği üzere moving transform’a girmektedir. Moving transform veri analitiklerinde, özellikle zaman serisi verilerinde kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte matematiksel bir işlev gibi bir dönüşümü belirli bir zaman diliminde veri noktalarının serisine uygulamak için kaydırıcı bir pencere veri kümesi boyunca hareket ettirilir. Moving transform içerisinde yer alan sliding window tekniği verilerin zaman içinde nasıl değiştiğini analiz etmeye olanak sağlar. Verileri küçük parçaya böler ve her parçayı ayrı ayrı analiz eder. Böylece verilerin bütün olarak bakıldığında görünmeyebilecek olan desenleri veya trendleri tespit etmeye yardımcı olur. Analiz esnasında sliding window örnek sayısı 20 olarak belirlenmiştir. Bu sayıyı tercih etmemizin sebebi Şekil 3.22’de görüldüğü üzere farklı örnek sayılarına göre Gradient Boosting modeli kullanılarak analiz edildiğinde, 0.944 değeri ile 20 örnek sayısı bize en verimli sonuca ulaşmamıza yardımcı olmuştur.





**Şekil 3.22:** Sliding window örnek sayısına göre R-squared değerleri.

Moving transform yapısının bir diğer özelliği de içerisinde agregasyonlar içermesidir. Bu agregasyonlar verileri daha anlaşılır hale getirmek ve özet bilgiler elde etmek için kullanılmaktadır. Analiz esnasında kullanılan agregasyonlar: Mean value, Minimum, Maksimum Standard deviation, Exponential MA, Non- zeroCount'tur.

Mean value, veri kümesinin belirli bir zaman aralığı içindeki ortalama değerini hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir. Mean value'nin formülü ise Denklem (3.1)'de verilmiştir.

$$\text{Mean Value} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (3.1)$$

Minimum, veri kümesi üzerinde belirli bir zaman aralığı için minimum değeri hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu yöntemde, tanımlanan pencere ve veri kümesi üzerinde hareket eder, pencerenin içindeki elemanların minimum değerlerini hesaplar.

Maksimum, veri analizinde kullanılan bir yöntemdir ve veri kümesi üzerinde belirli bir zaman aralığı için maksimum değer hesaplamak için kullanılır. Bu yöntemde, bir pencere tanımlanır ve veri kümesi üzerinde hareket eder, pencerenin içindeki elemanların maksimum değerlerini hesaplar.

Standard Sapma (Standart Deviation), veri analizinde kullanılan bir yöntemdir ve veri kümesi üzerinde belirli bir zaman aralığı için standart sapmayı hesaplamak için kullanılır. Standart sapma, veri kümesinin dağılımın ne kadar yaygın olduğunu gösterir. Yüksek standart sapma, verinin daha yaygın dağıldığını, düşük standart sapma ise verinin daha sıkı dağıldığını gösterir. Bu yöntem veri

kümesindeki herhangi bir anormallikleri veya önemsiz değişimleri filtrelemek için kullanılmaktadır. Standard Sapma formülü Denklem (3.2)'de verilmiştir.

$$\text{Standart Sapma} = \sqrt{\frac{(x_1 - x_{\text{ortalama}})^2 + (x_2 - x_{\text{ortalama}})^2 + \dots + (x_n - x_{\text{ortalama}})^2}{(n-1)}} \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de  $x_1, x_2, \dots, x_n$  veri kümesinin elemanlarıdır,  $x_{\text{ortalama}}$  ise veri kümesinin ortalamasıdır ve  $n$  ise eleman sayısıdır.

Exponential MA, moving transformda hareketli olasılıksal ortalama anlamına gelmektedir. Bu yöntem veri analitikte ve veri kümesi üzerinde belirli bir zaman aralığı için olasılıksal ortalama değerlerini hesaplamak için kullanılır. Bu yöntem hareketli ortalama yöntemi ile benzerdir ancak daha önceki değerlerin ağırlıkların daha yüksek olduğu bir formül kullanılır. Bu daha sonraki değerlerin daha az etkili olduğu ve daha eski değerlerin daha önemli olduğu anlamına gelir.

Non-zero Count, veri analitikte kullanılan bir yöntemdir ve veri kümesi üzerinde belirli bir zaman aralığı içinde sıfır olmayan değerlerin sayısını hesaplamak için kullanılır.

İş akış diyagramının bir diğer parçaları da Neural Network, Gradient Boosting ve AdaBoost makine öğrenme modelleridir. Neural Network (Sinir Ağı): Sinir ağıları, insan beyninin öğrenme ve işleme yapma yöntemlerini taklit eden, yapay bir zekâ modelidir. Sinir ağıları, birden fazla katman ve her katmanda birden fazla nöronlar içermektedir. Bu nöronlar arasında birçok bağlantı vardır ve bu bağlantılar aracılığı ile veri işlenir. Gradient Boosting (Gradyan Artırma): Birden fazla karar ağacı kullanılarak bir performans modeli oluşturma yöntemidir. Her karar ağacı, önceki ağaçların hata oranlarını düzeltmeye çalışır. Bu yöntem, performansı arttırmak için karar ağacı kombinasyonunu kullanır. Adaboost, Gradyan Artırma yöntemiyle benzerdir. Adaboost, her bir karar ağacının performansını önceki karar ağaçlarının hata oranlarına göre adapte eder. Bu yöntemde performansı arttırmak için karar ağaçlarının kombinasyonunu kullanır.

İş akış diyagramında diğer bir bölümde test etme ve puanlamadır. Bu kısım öğrenme algoritmalarını veriler üzerinde test ederek, veri görselleştirme, makine öğrenimi ve önceden

tasarlanan iş akışlarını kullanarak karşılaştırır. Modelin performansını ölçmek için MAE ve R-Squared metrikleri kullanılmıştır.

MAE, modelin tahmin ettiği değerler ile gerçek değerler arasındaki ortalama mutlak hata değerini gösterir. Bu metrik, tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden ne kadar uzak olduğunu gösterir. MAE, sıfır ile sınırlıdır ve sıfıra yakın değerler daha iyi model performansını gösterir.

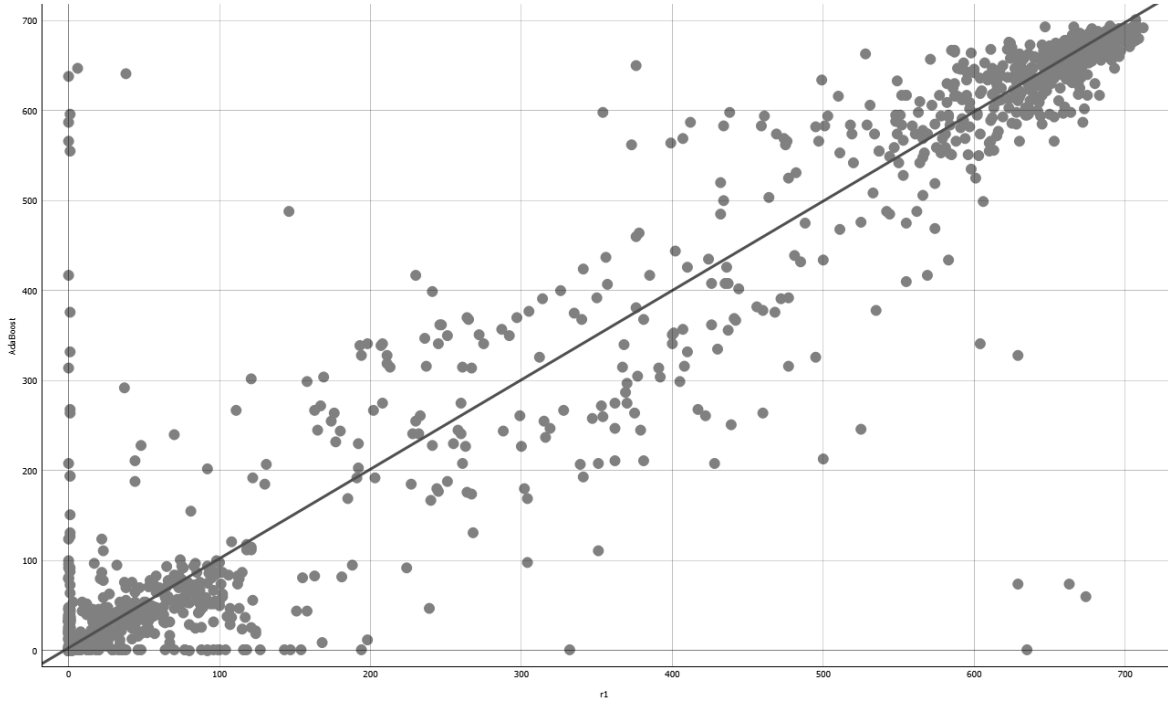
R-Squared ise, modelin gerçek değerleri nasıl açıkladığını ölçer. R-Squared değeri, 0 ile 1 arasında bir değer alır. Bu değer 1'e yaklaştıkça, model gerçek değerleri daha iyi açıklar anlamına gelir. R-Squared değeri negatif olamaz, ancak sıfır ile 1 arasında olabilir.

Bu karşılaştırmada Gradient Boosting, AdaBoost, Neural Network algoritmaları kullanılarak her bir yumuşak optik fiber sensör için referans sensörü ile üç farklı karşılaştırma sonucu elde edilmiştir. Altı farklı kuvvet algılama direnç sensörü ile üç farklı yumuşak optik fiber sensörden gelen verilerin ortalama mutlak hatası (MAE) ve bunun korelasyonu (R-Squared) üç farklı algoritma için hesaplanması Tablo 3.5'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1:** Üç farklı algoritmaya göre yapılan tahmin sonuçları.

Sensör	Algoritma	MAE	R <sup>2</sup>
R1	Gradient Boosting	34.809	0.938
	AdaBoost	35.227	0.929
	Neural Network	38.219	0.951
R2	Gradient Boosting	39.344	0.865
	AdaBoost	29.024	0.868
	Neural Network	42.670	0.885
R3	Gradient Boosting	39.033	0.919
	AdaBoost	36.051	0.915
	Neural Network	37.766	0.931
R4	Gradient Boosting	44.136	0.898
	AdaBoost	35.498	0.910
	Neural Network	43.210	0.912
R5	Gradient Boosting	43.074	0.882
	AdaBoost	35.795	0.897
	Neural Network	46.403	0.879
R6	Gradient Boosting	38.423	0.885
	AdaBoost	33.414	0.896
	Neural Network	48.927	0.876

Verilerimizi test etmemiz sonucunda Tablo 3.1’de de görüldüğü üzere en yüksek verimliliğe sahip olan R1 sensörü Adaboost algoritması verilerini, akıllı veri görselleştirme geliştirmeleri ile dağılım grafiği görselleştirmesi Şekil 3.36’da verilmiştir. Dağılım grafiği parçacığı, 2 boyutlu dağılım grafiği görselleştirmesi sağlar. Veriler, her biri yatay ekseninde konumu belirleyen x eksenini özneliğinin değerine ve dikey ekseninde konumu belirleyen y eksenini özneliğinin değerine sahip olan bir noktalar koleksiyonu olarak görüntülenir.



Şekil 3.15: Adaboost – r1 sensörü etkileşimli dağılım grafiği görselleştirilmesi.

Regresyon çizgisi, iki değişken arasındaki ilişkiyi göstermek için kullanılan bir grafikdir. Bu çizgi, veriler arasındaki ortalama ilişkiyi temsil eder ve verilerin dağılımının ne kadar sıkı olduğunu gösterir. Regresyon çizgisi, verilerin yayılımının ne kadar yaygın olduğuna göre değişebilir. Eğer veriler arasında çok az yayılım varsa, regresyon çizgisi verilerin çok yakınında olacaktır. Eğer veriler arasında çok fazla yayılım varsa, regresyon çizgisi verilerin çok uzağında olacaktır. Regresyon çizgisi, veriler arasındaki ilişkiyi göstermek için kullanılan bir araçtır ve veriler arasındaki ilişkiyi anlamak için kullanılmaktadır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında ayakkabı tabanlığı üzerine yerleştirilmiş sensörler ile yürüyen, egzersiz yapan veya koşan kişinin ayağının yere nasıl ve ne sıklıkla temas ettiğinin doğru bir şekilde izlenilmesine imkân sağlar. Ölçüm sisteminde tabanlık üzerinde kuvvet algılama direnç sensörü ve yumuşak optik sensör olmak üzere iki farklı sensör tipi bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında kuvvet algılama direnç sensörü referans alınarak yumuşak optik sensörün ölçme değerlendirme için verimli bir şekilde kullanılabilceği ortaya konulmuştur. Bu sayede ölçüm sisteminin dayanıklılığının ve ekonomik verimliliğinin daha fazla arttırılabildiği ortaya konulmuştur. Aynı zamanda tasarlanan ayakkabı tabanlığı üzerine Aruco işaretleyiciler yerleştirilerek görsel olarak da adımların izlenebilirliği ortaya konulmuştur.

Bu tez çalışmasında kullanılan bu sensörler 3D yazıcı ile üretmiş olduğumuz ayakkabı tabanı üzerine monte edilmiştir. Tabanlık tasarımında gerçekleştirilen Ar-Ge çalışmalarıyla altı adet kuvvet algılama direnç sensörü ve üç adet yumuşak optik sensör aynı tabanda kullanılarak ölçme değerlendirme sisteminde karşılaştırma ve doğrulama imkânı sağlanmıştır. Böylece yumuşak optik sensörlerin bu tür ölçüm çalışmalarda müstakil olarak kullanılabilceği de ortaya konulmuştur.

Üç farklı fiber hattı ayak tabanına yerleştirilmiş ve lazer kaynağından bir adaptör aracılığıyla lazer ışınları gönderilmiştir. Fiber hatlarından geçen lazer ışıkları LDR sensörleri tarafından algılanmıştır. Üç fiber kanalı ve üç LDR sensörün bir arada kullanıldığı bu sistem, kullanıcının yürüyüş esnasında hangi noktalara basıyor olduğunu anlamaya olanak tanır. Bu sayede, kullanıcının yürüyüş şeklini ve basınç dağılımını incelememiz yanında analiz etmemize de imkân sağlamaktadır.

Bu çalışma da kuvvet algılama direnç sensörleri kullanılarak elde edilen referans verileri ile tabanlığın en dış kısmında bulunan yumuşak optik fiber (o3) verilerini tahminleme yapıldığında, Neural Network algoritmasına göre  $R^2 = 0.951$  oranında uyumlu olduğu görülmüştür. Bu sonuçlarda bize yumuşak optik sensörlerin de yürüyüş analizlerinde kuvvet algılama direnç sensörü yerine kullanılabilceğini göstermiştir.

Tez çalışmasında tasarladığımız ayakkabı tabanlığı ile taban içine yerleştirilmiş olan kuvvet algılayıcı farklı sensör tipleri ve Aruco işaretleyiciler ayağın konumunu tespit edebilmemize

yardımcı olacaktır. Geliştirilen tabanlığı kullanan kişilerin yürüyüşlerinde herhangi bir bozukluk olması durumunda bu bozuklukların tespit edilmesi ve ölçeklenmesiyle kişilere yürüyüş tekniklerini değiştirme ve düzeltme konusunda bilgi sağlayabilecektir. Bu sayede kişilerin tedavi süreçlerine katkı sağlanabilecektir. Aynı zamanda bu çalışma egzersiz yapan, yürüyen veya koşan kişinin ayağının yere nasıl ve nerede temas ettiğinin ve ayağın yere ne sıklıkta temas ettiğinin doğru bir şekilde izlenilmesine de imkân sağlayabilmektedir. Bu tez çalışmasıyla geliştirilen ayakkabı tabanlığını kullanan kişilerin sorunlarını daha yakından gözleme imkânına sahip olunmuştur. Kişinin uzun yürüme bilgisinin, yürüme adımları sayısı ve aralıkları ile bu esnada ayak tabanına uygulanan kuvvetler üzerinden elde edilen veriler değerlendirilerek, kişinin sağlık yönünden rahatsızlıkların tespiti de yapılabilir. Bu tez çalışmasında yürüme bilgilerinin okunması ve kayıt altına alınmasını sağlayan taban tasarımları gerçekleştirilmiş olup fizik tedavi veya tıbbi açıdan tedaviye yönelik herhangi bir çalışma yürütölmemiştir. Fakat elde edilecek verilerin “Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon” çalışmalarına kullanılabilceği öngörölmüştür

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında yumuşak optik fiber sensörü ile yapılan çalışmaların bilimsel olarak istenilen verileri elde etmeye imkân sağladığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bundan sonraki bu alandaki çalışmalara yol göstermek için, daha ileri çalışma olarak mikrodenetleyici ve kablosuz sensör ağı teknolojisinin kullanılması yanında sisteme bir atalet ölçüm biriminin de yerleştirilmesiyle işlenebilecek verilerin miktarında artış ve atalet özelinde veri çeşitliliği arttırılarak teşhis üzerinde daha iyi değerlendirmelerin yapılmasına imkân sağlanabilecektir.

## 5. KAYNAKLAR

Abdulaal, Alaa Hussein. *Covid 19 hastaları için güvenli haberleşme sistemi ile izleme yapabilen elektronik cihaz kontrollü IoT tasarımı ve uygulanması*. MS thesis. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2021.

Aktaş, Faruk, Celal Çeken, and Yunus Emre Erdemli. "Nesnelerin interneti teknolojisinin biyomedikal alanındaki uygulamaları." *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 4.1 (2016): 37-54.

Aşuroğlu, Tunç. "Giyilebilir sensörlerle sağlık izleme." (2020).

Boyacıoğlu, K. "Global Ekonominin Yeni Trendi: Giyilebilir Teknoloji." (2015).

Casale, Pierluigi, Oriol Pujol, and Petia Radeva. "Human activity recognition from accelerometer data using a wearable device." *Iberian conference on pattern recognition and image analysis*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.

Çalışkan, Muhammet. *Giyilebilir Sensörler İle Kinetik Yürüme Analiz Sisteminin Geliştirilmesi*. Diss. Necmettin Erbakan University (Turkey), 2018.

Değerli, Nursen Geyik. "Moda endüstrisinin giyilebilir teknoloji tasarımları." *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi (IBAD)* 4.1 (2019): 50-65.

Guo, Rui, et al. "A Shoe-Integrated Sensor System for Long-Term Center of Pressure Evaluation." *IEEE Sensors Journal* 21.23 (2021): 27037-27044.

Khazetdinov, Artur, et al. "Embedded ArUco: a novel approach for high precision UAV landing." *2021 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*. IEEE, 2021.

Kılıç, Hicran Özgüner. "Giyilebilir teknoloji ürünleri pazarı ve kullanım alanları." *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 9.4 (2017): 99-112.

Leal-Junior, Arnaldo G., et al. "Polymer optical fiber for in shoe monitoring of ground reaction forces during the gait." *IEEE Sensors Journal* 18.6 (2018): 2362-2368.

Lee, Dae-Seok, et al. "An ECG analysis on sensor node for reducing traffic overload in u-healthcare with wireless sensor network." *SENSORS, 2007 IEEE*. IEEE, 2007.

Park, Yong-Lae, Bor-Rong Chen, and Robert J. Wood. "Design and fabrication of soft artificial skin using embedded microchannels and liquid conductors." *IEEE Sensors journal* 12.8 (2012): 2711-2718.

Ravi, Nishkam, et al. "Activity recognition from accelerometer data." *Aaai*. Vol. 5. No. 2005. 2005.

Rhodin, Helge, et al. "Neural scene decomposition for multi-person motion capture." *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2019.

Robertson, D. Gordon E., et al. *Research methods in biomechanics*. Human kinetics, 2013.

Sun, Xiao, et al. "Integral human pose regression." *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)*. 2018.

Tekin, Bugra, et al. "Direct prediction of 3d body poses from motion compensated sequences." *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2016.

Yavuzer, Güneş. "Yürüme analizi ve temel kavramlar." *Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği Dergisi, İstanbul* 13 (2014): 304-308.

Zakiev, AUFAR, et al. "Virtual experiments on aruco and apriltag systems comparison for fiducial marker rotation resistance under noisy sensory data." *2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. IEEE, 2020.

Zhou, Xiaowei, et al. "Sparseness meets deepness: 3d human pose estimation from monocular video." *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2016.