



**BİLECİK  
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**OMUZ EKLEMİ, KAS VE TENDON HASARLI HASTALAR  
İÇİN AKILLI FİZİK TEDAVİ MENTOR UYGULAMASI  
(FİZMENU)**

**Burakhan ÇUBUKÇU  
Doktora Tezi**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Uğur YÜZGEÇ**

**BİLECİK, 2020  
Ref. No:10342638**



BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ

**BİLECİK  
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**OMUZ EKLEMİ, KAS VE TENDON HASARLI  
HASTALAR İÇİN AKILLI FİZİK TEDAVİ MENTOR  
UYGULAMASI (FİZMENU)**

**Burakhan ÇUBUKÇU  
Doktora Tezi**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Uğur YÜZGEÇ**

**BİLECİK, 2020**



**BİLECİK  
SEYH EDEBALI UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences  
Department of Electronics and Computer Engineering**

**INTELLIGENT PHYSICAL THERAPY MENTOR  
APPLICATION FOR PATIENTS WITH SHOULDER  
JOINT, MUSCLE AND TENDON DAMAGE (PHYMEN)**

**Burakhan ÇUBUKÇU  
Doctoral Thesis**

**Thesis Advisor  
Assoc. Prof. Uğur YÜZGEÇ**

**BİLECİK, 2020**

## TEŞEKKÜR

Başta bu tezi Türkçe yazabilme sebebim Türkiye Cumhuriyeti Devleti kurucusu Mustafa Kemal ATATÜRK'e, benim için her zaman danışmandan çok daha fazlası olan Doç. Dr. Uğur YÜZGEÇ'e, tezin ilerlemesinde büyük emekleri olan tez jüri üyelerim; Prof. Dr. Cihan KARAKUZU ve Doç. Dr. Suhap ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Tez konusunun ortaya çıkmasında katkıları olan Doç. Dr. Aydın ÇETİN'e, tez çalışmamızda ve hastane uygulamalarında çok emeği geçen başta fizyoterapist Ahu ZİLELİ olmak üzere tüm Bilecik Devlet Hastanesi çalışanlarına, istatistik çalışmalarımızda yardımcı olan Doç. Dr. Raif ZİLELİ'ye, gömülü sistem bilgilerini esirgemeyen Öğr. Gör. Murat ÖZALP'e, çalışma süresince manevi desteklerini esirgemeyen başta Öğr. Gör. Musa TURKAN, Murat FİDAN ve Öğr. Gör. Yusuf MUŞTU olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Her durum ve şartta yanımda olan, her zaman manevi desteklerini hissettiren ailem; babam Nebi ÇUBUKÇU, annem Leyla ŞAHİNBAZ ve manevi kardeşim Serdar CANGAZ'a minnetlerimi ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## **BEYANNAME**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

...../...../ 2020

**Burakhan ÇUBUKÇU**

## OMUZ EKLEMİ, KAS VE TENDON HASARLI HASTALAR İÇİN AKILLI FİZİK TEDAVİ MENTOR UYGULAMASI (FizMenU)

### ÖZET

Dünya üzerinde bir milyardan fazla insan herhangi bir çeşit fiziksel engel ile hayatını sürdürmektedir. Herhangi bir fiziksel engeli olan veya fiziksel yaralanma geçirmiş insanların iyileşmeleri için fizik tedavi görmesi gerekmektedir. Günümüzde, birçok alanda olduğu gibi fizik tedavi alanında da teknoloji kullanılmaktadır. Bu tezin amacı fiziksel engelli insanların hastaneye ulaşım, egzersizleri doğru yapamama ve tedavi süreçlerinin kontrol edilememesi gibi sorunlarına çözümler üreterek, hasta tedavilerinin daha doğru ve etkin yapılabilmesini sağlamaktır.

Bu tez kapsamında; omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastaların, fizik tedavi merkezleri ve evde yaptıkları fizik tedavi egzersizlerinin doğruluk oranını arttıran, hastaların yaptıkları çalışmaları fizik tedavi uzmanına raporlayan ve hastaların iyileşme durumlarını gösteren kol omuz ve el sorunları anketi (DASH) sonuçlarını yapay zeka teknikleri ile tahmin eden bir fizik tedavi mentor uygulaması (FizMenU) önerilmektedir. Önerilen sistem, hastaların fizik tedavi egzersizlerini doğru yapmalarını sağlayan Kinect v2 tabanlı Geliştirilmiş Omuz Fizik tedavi Uygulaması (GOFU), fizik tedavi uzmanlarının hastanın tedavi sürecini gözlemleyebildiği ve müdahale edebildiği bir web platformu, DASH sonuçlarını tahmin edebilen yapay zeka destekli bir modülden oluşmaktadır. Önerilen FizMenU sisteminin yapılan testlerle omuz fleksiyon, abduksiyon, iç rotasyon ve dış rotasyon pozlarının ölçümlerini klinik standartta geçerli ve güvenilir bir şekilde yapabildiği gösterilmiştir. Bilecik Devlet Hastanesi'nde gönüllülerin tedavi sürecinde kullanılan FizMenU'nun hastaların tüm egzersizlerdeki limitasyonlarını istatistiksel olarak anlamlı şekilde azalttığı gözlemlenmiştir. Geleneksel tedavi yöntemleri ile kıyaslanan FizMenU'nun hastaların limitasyonlarını azaltma oranlarında abduksiyon egzersizinde %16.55, fleksiyon egzersizinde %15.09, dış rotasyon egzersizinde %1.84, iç rotasyon egzersizinde %8.58, daha başarılı olduğu gösterilmiştir.

### Anahtar Kelimeler

Telerehabilitasyon; Yapay zeka; Kinect; Geçerlilik güvenilirlik; Omuz egzersizleri

# **INTELLIGENT PHYSICAL THERAPY MENTOR APPLICATION FOR PATIENTS WITH SHOULDER JOINT, MUSCLE AND TENDON DAMAGE (PhyMen)**

## **ABSTRACT**

More than a billion people around the world live with some kind of physical disability. People with any physical disability or physical injury need physical therapy to recover. Today, technology is used in the field of physical therapy as in many fields. The aim of this thesis is to provide solutions to the problems of people with physical disabilities such as transportation to the hospital, doing the exercises correctly and controlling the treatment processes, and to make the patient treatments more accurate and effective.

In this thesis a physiotherapy mentor application (PhyMen) is proposed which is increasing the accuracy of physical therapy exercises of patients with the shoulder joint, muscle and tendon damage, reporting the studies of patients to the physiotherapist, and predicting the results of the DASH questionnaire that shows the patients' recovery status, by artificial intelligence techniques. The proposed system consists of the Kinect v2-based system (GOFU) that enables patients to perform physiotherapy exercises correctly, a web platform where a physiotherapist can observe and intervene in the patient's treatment process, and an artificial intelligence-supported module that can predict DASH results. With the tests of the PhyMen; shoulder flexion, abduction, internal rotation and external rotation poses have been shown to be valid and reliable in clinical standard. It was observed that PhyMen, which is used in the treatment process of volunteers in Bilecik State Hospital, significantly reduces the limitations of patients in all exercises. Compared with traditional treatment methods, PhyMen has been shown to be 16.55% in abduction exercise, 15.09% in flexion exercise, 1.84% in external rotation exercise, 8.58% in internal rotation exercise, and more successful in reducing the limitations of patients.

## **Key Words**

Telerehabilitation; Artificial intelligence; Kinect; Reliability and validity; Shoulder exercises

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                            | Sayfa No     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>TEŞEKKÜR .....</b>                                                                      | <b>.....</b> |
| <b>BEYANNAME .....</b>                                                                     | <b>.....</b> |
| <b>ÖZET.....</b>                                                                           | <b>i</b>     |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                      | <b>ii</b>    |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                                                   | <b>ii</b>    |
| <b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>                                                              | <b>v</b>     |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>                                                               | <b>vi</b>    |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>                                                        | <b>vi</b>    |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                                                       | <b>1</b>     |
| <b>2. FİZİK TEDAVİ MENTÖR UYGULAMASI (FizMenU) .....</b>                                   | <b>12</b>    |
| 2.1 FizMenU Egzersizleri .....                                                             | 13           |
| 2.2 FizMenU Web Uygulaması .....                                                           | 14           |
| 2.3 Geliştirilmiş Omuz Fizyoterapi Uygulaması (GOFU).....                                  | 19           |
| 2.3.1 GOFU grafik arayüzü.....                                                             | 20           |
| 2.3.2 GOFU işleyiş ve hesaplama adımları.....                                              | 24           |
| 2.3.3 GOFU başlangıç pozisyonları, egzersizlerin kısıtlamaları ve<br>yönlendirmeleri ..... | 28           |
| <b>3. GEÇERLİLİK GÜVENİRLİLİK ANALİZLERİ.....</b>                                          | <b>36</b>    |
| 3.1 Katılımcılar .....                                                                     | 37           |
| 3.2 Yöntemler .....                                                                        | 38           |
| 3.3 Kinect v2 Tabanlı Omuz Hareketi İzleme Sistemi .....                                   | 40           |
| 3.4 İstatiksel Analiz .....                                                                | 41           |
| 3.4.1 Omuz pozları verileri .....                                                          | 42           |
| 3.4.2 Güvenirlilik sonuçları.....                                                          | 48           |
| 3.4.3 Geçerlilik sonuçları .....                                                           | 50           |
| <b>4. FizMenU HASTANE TESTLERİ.....</b>                                                    | <b>53</b>    |
| 4.1 Katılımcılar .....                                                                     | 53           |
| 4.2 Prosedür .....                                                                         | 55           |
| 4.3 İstatiksel Analiz .....                                                                | 56           |
| 4.4 Sonuçlar .....                                                                         | 56           |

|                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4.1. Gruplar içi ilk-test ve son-test karşılaştırmaları .....       | 58         |
| 4.4.2 Gruplar arası ilk-test ve son-test karşılaştırmaları .....      | 59         |
| 4.4.3. Tedavi metotları arasında iyileşme oranı karşılaştırması.....  | 61         |
| 4.4.4 GOFU kullanıcı anketi .....                                     | 62         |
| 4.4.5. Değerlendirme .....                                            | 66         |
| <b>5. YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE DASH SONUCU TAHMİNİ.....</b>          | <b>68</b>  |
| 5.1 Kullanılan Yapay Zeka Teknikleri .....                            | 68         |
| 5.1.1 Çok katmanlı algılayıcı .....                                   | 69         |
| 5.1.2 Adaptif ağ temelli bulanık mantık çıkarım sistemi .....         | 70         |
| 5.2 Kol, Omuz ve El Yaralanması Anketi (DASH).....                    | 72         |
| 5.3 Hastane Verileri .....                                            | 74         |
| 5.4 MLP Tabanlı DASH Sonuçları Değişimi Tahminleri .....              | 85         |
| 5.5. ANFIS Tabanlı DASH Sonuçları Değişimi Tahminleri .....           | 89         |
| 5.6 MLP tabanlı DASH Değişimi Tahmininin FizMenU'ya Entegrasyonu..... | 95         |
| <b>6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....</b>                                   | <b>96</b>  |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                | <b>102</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                                     | <b>113</b> |
| <b>ÖZ GEÇMİŞ.....</b>                                                 | <b>122</b> |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                  | Sayfa No |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Çizelge 1.1. Kinect v1 ve Kinect v2 teknik özellikleri .....                                                                                     | 5        |
| Çizelge 1.2. Kinect v2 iskelet üzerinde izlediği noktalar .....                                                                                  | 6        |
| Çizelge 2.1. GOFU koşullarının uygulandığı pozlar ve yönlendirmeleri .....                                                                       | 35       |
| Çizelge 3.1. Geçerlilik ve güvenilirlik analizi için alınan ölçümleri .....                                                                      | 45       |
| Çizelge 3.2. Kinect v2 tabanlı ölçüm sisteminin güvenilirlik sonuçları. ....                                                                     | 49       |
| Çizelge 3.3. Klinik gonyometre, dijital gonyometre ve Kinect v2 kullanılarak elde edilen omuz eklemi verilerinin Bland-Altman analiz sonucu..... | 50       |
| Çizelge 4.1. Gönüllülerin yaş, boy, ağırlık ortalama ve standart sapmaları .....                                                                 | 53       |
| Çizelge 4.2. Katılımcıların tedaviden önceki açılı ölçümleri.....                                                                                | 56       |
| Çizelge 4.3. Test grubu, grup içi Wilcoxon test sonuçları .....                                                                                  | 58       |
| Çizelge 4.4. Kontrol grubu, grup içi Wilcoxon testi sonuçları .....                                                                              | 59       |
| Çizelge 4.5. Mann-Whitney U testinin gruplar arası ön test sonuçları.....                                                                        | 60       |
| Çizelge 4.6. Mann-Whitney U testinin gruplar arası son test sonuçları .....                                                                      | 60       |
| Çizelge 4.7. Grupların kendi içinde iyileşme oranları .....                                                                                      | 61       |
| Çizelge 4.8. GOFU kullanıcı anketi soruları ve katılımcı cevapları.....                                                                          | 63       |
| Çizelge 5.1. DASH cevap seçenekleri .....                                                                                                        | 72       |
| Çizelge 5.2. Gönüllü verilerinin en düşük, en yüksek, ortalama ve standart sapma değerleri.....                                                  | 79       |
| Çizelge 5.3. Artırılmış verilerin en düşük, en yüksek, ortalama ve standart sapma değerleri.....                                                 | 83       |
| Çizelge 5.4. MLP tabanlı DASH değişim tahmini sonuçları (1000 tekrar).....                                                                       | 89       |
| Çizelge 5.5. ANFIS tabanlı DASH sonuçları değişimi tahminin 1000 tekrar sonuçları                                                                | 93       |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                        | Sayfa No |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Şekil 1.1. Kinect for Xbox 360 .....                                                   | 4        |
| Şekil 1.2. Kinect for Xbox One .....                                                   | 5        |
| Şekil 1.3. Kinect v2 iskelet üzerinde izlediği noktalar .....                          | 6        |
| Şekil 2.1. Fizik tedavi mentör uygulaması (FizMenU) .....                              | 12       |
| Şekil 2.2. Omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastalar için egzersizler .....          | 13       |
| Şekil 2.3. FizMenU web projesi veri akış şeması .....                                  | 14       |
| Şekil 2.4. Oturma açma ekranı .....                                                    | 15       |
| Şekil 2.5. Kullanıcı kayıt ekranı .....                                                | 15       |
| Şekil 2.6. Hasta bilgilendirme sayfası.....                                            | 16       |
| Şekil 2.7. Fizik tedavi uzmanı ana sayfası.....                                        | 16       |
| Şekil 2.8. Hasta bilgileri listesi sayfası .....                                       | 17       |
| Şekil 2.9. Egzersiz atama sayfası.....                                                 | 17       |
| Şekil 2.10. Egzersiz bilgileri sayfası.....                                            | 18       |
| Şekil 2.11. Egzersiz bilgileri sekmeleri .....                                         | 19       |
| Şekil 2.12. Giriş ekranı .....                                                         | 20       |
| Şekil 2.13. Bitiş ekranı.....                                                          | 20       |
| Şekil 2.14. GOFU egzersiz grafik arayüzü .....                                         | 21       |
| Şekil 2.15. GOFU fleksiyon egzersizi grafik arayüzü .....                              | 22       |
| Şekil 2.16. GOFU iç rotasyon egzersizi grafik arayüzü .....                            | 22       |
| Şekil 2.17. GOFU dış rotasyon egzersizi grafik arayüzü.....                            | 23       |
| Şekil 2.18. GOFU ekstansiyon egzersizi grafik arayüzü .....                            | 23       |
| Şekil 2.19. GOFU akış şeması .....                                                     | 25       |
| Şekil 2.20. İzdüşüm noktası oluşturma işlemi .....                                     | 26       |
| Şekil 2.21. Egzersizlerde kullanılan iskelet noktaları, üçgenler ve açılar .....       | 27       |
| Şekil 2.22. Gövde dik kontrolünde kullanılan vücut noktaları .....                     | 29       |
| Şekil 2.23. Ayakta olunması kontrolünde kullanılan vücut noktaları.....                | 30       |
| Şekil 2.24. İki el arası uzaklık kontrolünde kullanılan vücut noktaları .....          | 31       |
| Şekil 2.25. Ellerin vücudun yanında olması kontrolünde kullanılan vücut noktaları..... | 32       |
| Şekil 2.26. Ellerin vücuda dik olması kontrolünde kullanılan vücut noktaları.....      | 33       |

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.27.</b> Vücudun sağa/sola dönmesi ve omuzun paralel olması kontrollerinde kullanılan vücut noktaları.....          | 34 |
| <b>Şekil 3.1.</b> Klinik gonyometre ile hareket açıklığı ölçümü .....                                                         | 38 |
| <b>Şekil 3.2.</b> Dijital gonyometre ile hareket açıklığı ölçümü .....                                                        | 39 |
| <b>Şekil 3.3.</b> Kinect v2 tabanlı ölçüm sistemi ile hareket açıklığı ölçümü.....                                            | 39 |
| <b>Şekil 3.4.</b> Kinect v2 tabanlı GOFU sisteminin geçerlilik ve güvenilirlik analizi için geliştirilen grafik arayüzü ..... | 41 |
| <b>Şekil 3.5.</b> Geçerlilik ve güvenilirlik için alınan omuz poz verilerinin istatistiksel dağılımı .....                    | 43 |
| <b>Şekil 3.6.</b> Geçerlilik ve güvenilirlik için alınan omuz poz verilerinin katılımcılara göre dağılımı .....               | 44 |
| <b>Şekil 3.7.</b> Anderson-Darling normallik testi kullanılarak Kinect verilerinin normallik analizi sonuçları. ....          | 47 |
| <b>Şekil 3.8.</b> Kinect v2 tabanlı ölçüm sistemi ile elde edilen tekrarlı omuz açısı değerleri                               | 48 |
| <b>Şekil 3.9.</b> Güvenirlilik sonucu: omuz pozlarının üç tekrarı için matris çizimi .....                                    | 49 |
| <b>Şekil 3.10.</b> Bland-Altman analiz sonuçları .....                                                                        | 52 |
| <b>Şekil 4.1.</b> Gönüllülerin yaş, boy, ağırlık grafikleri .....                                                             | 54 |
| <b>Şekil 4.2.</b> Bir gönüllünün FizMenU ile tedavi görüntüsü.....                                                            | 55 |
| <b>Şekil 4.3.</b> Tüm egzersizler için tedavi öncesi ve sonrası aç değeri .....                                               | 57 |
| <b>Şekil 4.4.</b> GOFU kullanıcı anketi katılımcı cevapları.....                                                              | 65 |
| <b>Şekil 4.5.</b> Katılımcıların eğitimlerine göre GOFU'ya alışma durumları .....                                             | 66 |
| <b>Şekil 5.1.</b> Çok katmanlı algılayıcı yapısı (bir gizli katmanlı) .....                                                   | 69 |
| <b>Şekil 5.2.</b> Çok katmanlı algılayıcı yapısı (iki gizli katmanlı) .....                                                   | 70 |
| <b>Şekil 5.3.</b> ANFIS yapısı .....                                                                                          | 72 |
| <b>Şekil 5.4.</b> Gönüllülerin boy uzunlukları, vücut ağırlıkları ve yaşları.....                                             | 75 |
| <b>Şekil 5.5.</b> Gönüllülerin boy uzunluğu, vücut ağırlığı ve yaşlarının dağılımı.....                                       | 76 |
| <b>Şekil 5.6.</b> Gönüllülerin egzersiz açılarındaki ve DASH sonuçlarındaki değişim .....                                     | 77 |
| <b>Şekil 5.7.</b> Gönüllülerin egzersiz açılarındaki ve DASH sonuçlarındaki değişimlerin dağılımı .....                       | 78 |
| <b>Şekil 5.8.</b> Rotator kuf hastalık tipi için üretilen veriler .....                                                       | 80 |
| <b>Şekil 5.9.</b> Adeziv kapsülit hastalık tipi için üretilen veriler.....                                                    | 81 |
| <b>Şekil 5.10.</b> Humerus üst uç kırığı hastalık tipi için üretilen veriler .....                                            | 82 |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.11.</b> Artırılmış verilerin dağılımları .....                            | 84 |
| <b>Şekil 5.12.</b> MLP eğitim sonucu.....                                            | 85 |
| <b>Şekil 5.13.</b> MLP eğitim sonucu elde edilen hata grafiği.....                   | 86 |
| <b>Şekil 5.14.</b> MLP eğitim verileri için hata dağılımları .....                   | 86 |
| <b>Şekil 5.15.</b> MLP test sonucu .....                                             | 87 |
| <b>Şekil 5.16.</b> MLP test sonucu elde edilen hata grafiği .....                    | 87 |
| <b>Şekil 5.17.</b> MLP test sonucu elde edilen hata dağılımları .....                | 88 |
| <b>Şekil 5.18.</b> MLP eğitim ve test performansı karşılaştırması.....               | 88 |
| <b>Şekil 5.19.</b> ANFIS eğitim verileri sonuç hedef karşılaştırması .....           | 90 |
| <b>Şekil 5.20.</b> ANFIS eğitim sonucu elde edilen hata grafiği .....                | 90 |
| <b>Şekil 5.21.</b> ANFIS eğitim sonucu elde edilen hata dağılımları.....             | 91 |
| <b>Şekil 5.22.</b> ANFIS test verileri sonuç hedef karşılaştırması .....             | 91 |
| <b>Şekil 5.23.</b> ANFIS test sonucu elde edilen hata grafiği .....                  | 92 |
| <b>Şekil 5.24.</b> ANFIS test sonucu elde edilen hata dağılımları .....              | 92 |
| <b>Şekil 5.25.</b> ANFIS eğitim ve test performansı karşılaştırması .....            | 93 |
| <b>Şekil 5.26.</b> ANFIS modeli başlangıç üyelik fonksiyonları .....                 | 94 |
| <b>Şekil 5.27.</b> ANFIS modeli eğitim sonunda üyelik fonksiyonları değişimleri..... | 94 |
| <b>Şekil 5.28.</b> FizMenU DASH Sonucu Tahmini .....                                 | 95 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

° : Derece

### Kısaltmalar

|         |                                                 |
|---------|-------------------------------------------------|
| FizMenU | : Fizik Tedavi Mentör Uygulaması                |
| GOFU    | : Geliştirilmiş Omuz Fizik Tedavi Uygulaması    |
| SEM     | : Standart Ölçüm Hatası                         |
| Std     | : Standart Sapma                                |
| MDC     | : Minimum Saptanabilir Değişiklik               |
| LOA     | : Kabul Sınırları                               |
| CMOS    | : Tamamlayıcı Metal Oksit Yarı İletken          |
| TOF     | : Uçuş Süresi                                   |
| DASH    | : Kol, Omuz Ve El Sorunları Anketi              |
| RGB     | : Kırmızı Yeşil Mavi                            |
| MSE     | : Ortalama Karesel Hata                         |
| RMSE    | : Ortalama Karesel Hatanın Karekökü             |
| MLP     | : Çok Katmanlı Algılayıcı                       |
| ANFIS   | : Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi |
| CNN     | : Evrimsel Sinir Ağları                         |

## 1. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü'nün raporuna göre; Dünya üzerinde bir milyardan fazla insan herhangi bir çeşit fiziksel engel ile hayatını sürdürmektedir. 1970'lerde dünyada fiziksel engeli bulunan insan oranının %10 olacağı tahmin edilmiş olmasına rağmen bu oran günümüzde %15 olarak gerçekleşmiştir ("<https://www.who.int/>"). İstatistiklere göre dünya nüfusu giderek yaşlanmakta ve bu da fizik tedaviye olan ihtiyacı her geçen gün arttırmaktadır (Bragaglia vd., 2014). Fiziksel engel durumunun giderek arttığı dünyamızda, engelli insanlar ömür boyu sürdürmesi gereken bir fizik tedavi sürecine ihtiyaç duymaktadır.

Günümüzde insanlar fizik tedavi alanında sağlık hizmeti alabilmek için hastanelere gitmektedir. Yaşlıların ve engellilerin bir bölümü hastaneye gidememektedir, bir kısmı da hastaneye girmekte zorluk yaşamaktadır. Hastaneye ulaşabilen hastalarda, hastanede bir takım sorunlar ile karşılaşmaktadır. Birçok hastane de fizik tedavi bölümü bulunmamaktadır. Ayrıca çalışmalar göstermektedir ki sağlık çalışanlarının yeterli bilgi ve becerisi olmaması fizik tedavi sürecini kötü etkilemektedir (Roy vd., 2013). Bu veriler Dünya'nın bazı yerlerinde kaliteli fizik tedaviye ulaşamayan birçok hastanın olduğunu göstermektedir. Hastaneye ulaşım, kalifiye sağlık çalışanı bulmak dışında hastanelerde yaşanan bir başka sorun ise hastanelerde oluşan hasta yoğunluğudur. Dünya nüfusunun %15'inin fiziksel bir engele sahip olduğu dolayısı ile bu hastaların fizik tedaviye ihtiyacı olduğunu düşünüldüğünde, hastanelerin bu konuda yaşadıkları yoğunluk anlaşılmaktadır. Bu sorunlarla karşılaşan hastalar fizik tedaviye başlayamamakta veya iyileşme sürecini tamamlayamamaktadır. Örneğin, Avrupa'da kısmi felç hastalarının yarısında iyileşme süreci tam olarak bitmemektedir. Bu hastalar günlük hayatlarına devam edebilmek için bir yardımcıya ihtiyaç duymaktadırlar (Truelsen vd., 2006). Aynı şekilde başka birçok hastalık için fizik tedavisini tamamlayamayan hastalar bulunmaktadır.

Bir diğer önemli fizik tedavi problemi ise evde yapılması gereken egzersizler ile ilgilidir. Fizik tedavi sadece hastanede bitmeyen, hastanın evde de yapacağı egzersizlerle tamamlanan bir süreçtir. Fizik tedavi uygulamasının başarıya ulaşabilmesi için, fizik tedavi uzmanları tarafından verilen egzersizlerin, hastalar tarafından binlerce kez doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Parkinson hastalarının üzerinde yapılan

bir çalışmaya göre Tai Chi egzersizlerinin hastaların fizik tedavi süreçlerine katkıda bulunduğunu belirlenmiştir, ancak bu egzersizlerin tam anlamıyla başarılı olabilmesi için fizik tedavi uzmanı ile birlikte yapılması gerekmektedir. Bunun bir yolu hastaların fizik tedavi uzmanı ile evde günlük olarak egzersizlerini birlikte yapmasıdır. Ancak bunun maddi olarak mümkün olmadığı durumlar olmaktadır (Lin vd., 2013). Yapılan çalışmalara göre, fizik tedavi egzersizlerinin başarıya ulaşması için hastanın beyinde egzersizlerin modellenmesi gerekmektedir (Chang vd., 2011). Hastalar beyinde egzersizleri modelleyebilmesi için, fizik tedavi sırasında yapılan egzersizler yeterli olmamakta, hastanın evde egzersizlerini doğru bir şekilde yapabiliyor olması gerekmektedir. Bu egzersizleri her gün fizik tedavi uzmanı ile birlikte yapabilecek imkana sahip olmayan hastalar, egzersizleri doğru yapma konusunda büyük problemler yaşamaktadırlar. Hareket engeli olan kişilerin sadece %31'inin egzersizleri doğru yapabiliyor olması (Shaughnessy vd., 2006) ve bu egzersizlerin yanlış yapılmasının hastanın sağlığına zarar verebilecek (Tino ve Hillis, 2010) olması, bu konuyu fizik tedavinin en önemli sorunlarından biri haline getirmektedir.

Evde yapılması gereken egzersizlerle ilgili başka bir sorun daha vardır. Fizik tedavi süresi boyunca, tedavinin etkinliğinin artması için fizik tedavi uzmanının hastanın egzersizlerini yapma oranını ve yapılan egzersizlerin doğruluğunu izlemesi gerekmektedir. Bu gözlemler sonucunda hastaya egzersizlerini tekrar ettirebilmeli veya yeni egzersizler verebilmelidir. Tedavi sürecini izleyen fizik tedavi uzmanına sahip olan hastaların bile tedavi sırasındaki gelişiminin ve durumunun gözlemlenmesinde sorunlar vardır. Aynı şekilde fizik tedavi uzmanlarına da hastanın durumu hakkında geri bildirim sunan olanaklar kısıtlıdır. Egzersizlerini uzman gözetimi dışında yapan hastaların %65'i kendi kendilerine yaptıkları egzersizlerin doğruluğunu tam olarak anlayamamakta ve hata yapmaktadır. Bu da hastaların gerilemesindeki en önemli faktörlerden biridir (Duarte vd., 2014).

Günümüzde ilerleyen teknoloji birçok alanda olduğu gibi fizik tedavi alanında da kullanılmaktadır. Telerehabilitasyon, hizmet sunum aracı olarak telekomünikasyon teknolojilerini kullanarak uzaktan rehabilitasyon hizmetlerinin sağlanmasını tanımlamak için kullanılan bir terimdir (Russell, 2007). Günümüzde, geleneksel yöntemler ile yapılan rehabilitasyon egzersizlerinin görsel teknolojiler kullanılarak ev ortamına taşınması çalışmaları artmaktadır. Uzaktan gözetim teknolojisi hastanelerdeki

yoğunluğu azaltamaya yönelik önerilen çözümlerden biridir. Aynı zamanda bu teknoloji ile uzman kişilerin gözetiminde yapıyormuş gibi evde egzersizler yapılabilmektedir (Bidargaddi ve Sarela, 2008). Çalışmalar göstermektedir ki, görsel teknoloji ile yapılan fizik tedavi çalışmaları da klasik yöntemle bir fizik tedavi uzmanı gözetiminde çalışmak kadar etkilidir (Rizzo ve Kim, 2005; Weiss vd., 2004). Başka bir çalışmada gösterildiği üzere, telerehabilitasyon uygulamaları fizik tedavi sürecinin yüksek maliyetini azaltabilmektedir (Antón vd., 2015).

Günümüzde, telerehabilitasyon çalışmalarında farklı donanım ve yazılımlar kullanılmaktadır. Bunlardan birisi olan 3D hareket yakalama sistemleri mükemmel doğruluk ve güvenilirlik sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu sistemler çok pahalıdır ve kullanımı için geniş alanlar gerektirmektedir. Microsoft tarafından üretilen bir hareket algılama cihazı olan Kinect bu sistemlere alternatif olarak kullanılmaktadır. Kinect ile geliştirilen sistemler, 3D hareket yakalama sistemlerinden daha ucuzdur ve bu sistemler kolayca taşınabilmektedir. Kinect ile geliştirilen sistemler için gerekli çalışma alanı 3D hareket yakalama sistemlerinden daha küçüktür (Çubukçu ve Çetin, 2016; Müller vd., 2017; Rizzo ve Kim, 2005; Weiss vd., 2004). Kinect'in fizik tedavi alanında kullanımı geleneksel tedavi yöntemlerine göre avantajlar sunmaktadır (Huber vd., 2015). Kinect'in insan vücudu iskeletini izleyebilme özelliğinin klinik problemlerde kullanımı dengeli ve başarılı sonuçlar doğurmaktadır (Fikar vd., 2013; Rego vd., 2010).

Microsoft tarafından üretilen Kinect'in 2 farklı sürümü bulunmaktadır. İlk olarak Kinect for Xbox 360 (Kinect v1) 2010 yılında Kuzey Amerika'da satışa sunulmuştur (Mousavi Hondori ve Khademi, 2014). Kinect v1 (Şekil 1.1), Microsoft tarafından geliştirilen derinlik ve hareket algılama özelliklerine sahip bir kamera sistemidir. İçerisinde kızılötesi projektör, RGB (kırmızı, yeşil, mavi) kamera, derinlik algılayıcı kamera ve mikrofonlar bulunmaktadır. Xbox 360 oyun konsolları için üretilen sürümü "Kinect for Xbox 360" şeklinde, ticari amaçlı kullanım için üretilen sürümü Kinect for Windows olarak isimlendirilmiş ve piyasaya sürülmüştür (Şen, 2016).



**Şekil 1.1.** Kinect for Xbox 360

Kinect kameraları, derinlik bilgisi, renk verileri ve iskelet takip verilerini sunabilmektedir. Veriler sayesinde hareket algılama, ses algılama, yüz tanıma ve iskelet takibi gibi pek çok uygulamalar geliştirilmesine imkan sunan Kinect algılayıcısının içerisinde çalışan dört adet donanım bileşeni mevcuttur: renkli VGA video kamera, derinlik algılayıcı, mikrofonlar ve motorlu eğme özelliği.

Renkli VGA video kamera; kırmızı, yeşil ve mavi olmak üzere üç renk bileşenini algılayarak yüz tanıma ve diğer algılama özelliklerine destek vermektedir. RGB görüntü algılayıcısı olarak adlandırılan bu algılayıcı, istenilen çözünürlükte bir fotoğraf makinesi gibi çalışarak uygulamalarda renkli görüntü kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Kinect v1'in derinlik algılayıcısı; aydınlatma koşullarından bağımsız olarak üç boyutlu alanı görmek için bir kızılötesi yansıtıcısı ve tek renkli tamamlayıcı metal oksit yarı iletken (CMOS: Complementary metal oxide semiconductor) ile birlikte çalışmaktadır. Kinect v1 "yapılandırılmış ışık" prensibi görüntülerin derinlik bilgilerini elde eder. Yani Kinect v1 kızıl ötesi ışınları gönderir ve bu ışınların nesneye çarpması ile oluşan bozulmalardan derinlik ölçümlerini yapar. Kinect v1'in ses algılama sistemi ise odadaki gürültüden, kullanıcı seslerini izole edebilen dört mikrofon dizisinden oluşmaktadır. Motorlu eğme özelliği de algılayıcının otomatik olarak aşağı-yukarı yönde hareketini sağlamaktadır (Özbay, 2013).

2014 yılında Kinect'in ikinci modeli, Xbox One oyun konsolu ile kullanılabilen Kinect for Xbox One (Kinect v2) ve ticari amaçlı kullanım için geliştirilen "Kinect for Windows v2" olarak piyasaya sürülmüştür (Şekil 1.2). Daha sonra "Kinect for Windows v2" nin üretimi durdurulmuş, Xbox One için üretilen Kinect'i (USB üzerinden)

bilgisayara bağlayan adaptör üretilerek, ticari amaçlı kullanımına izin verilmiştir (Şen, 2016).



**Şekil 1.2.** Kinect for Xbox One

Kinect v2'nin üzerinde derinlik kamerası, kızılötesi kamera, kızılötesi projektör ve mikrofon dizisi bulunmaktadır. Kinect v2 derinlik algılamasını Kinect v1'den farklı olarak uçuş süresi (TOF: Time Of Flight) yöntemiyle yapmaktadır (Amon ve Fuhrmann, 2014). Yani Kinect v2 gönderdiği kızıl ötesi ışınların nesneye çarpıp geri dönme süresinden derinlik algılamasını yapmaktadır. Kinect v1 ve Kinect v2'nin teknik özellikleri Çizelge 1.1'de verilmiştir (Corti vd., 2016; Fankhauser vd., 2015; Lachat vd., 2015; Samir vd., 2015; Wasenm ve Meyer, 2016).

**Çizelge 1.1.** Kinect v1 ve Kinect v2 teknik özellikleri

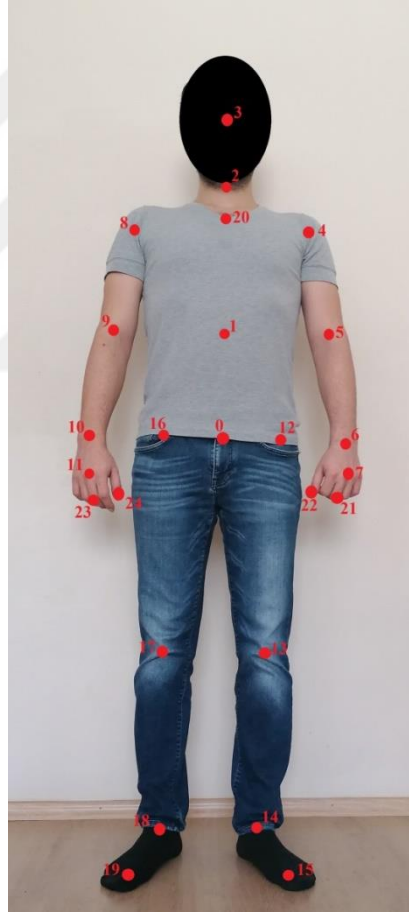
| Özellik                          | Kinect v1         | Kinect v2           |
|----------------------------------|-------------------|---------------------|
| RGB kamerası                     | 640 x 480px 30fps | 1920 x 1080px 30fps |
| Derinlik kamerası                | 320 x 240px       | 512 x 424px         |
| En az – en çok derinlik uzaklığı | 40cm – 450cm      | 50cm – 450cm        |
| Yatay - dikey görüş açısı        | 57° – 43°         | 70° – 60°           |
| USB                              | 2.0               | 3.0                 |
| Tanımlanabilen iskelet noktası   | 20 nokta          | 25 nokta            |
| Aynı anda tanınan iskelet        | 2                 | 6                   |

Bu kıyaslamadan Kinect v2'nin Kinect v1'den daha iyi çözünürlüğe sahip bir RGB ve derinlik kamerası olduğu gözlemlenebilmektedir. Aynı zamanda bu tez kapsamında kullanılan Kinect'in iskelet izleme özelliğinde Kinect v1 insan vücudunu 20 noktada izleyebilmekteyken, Kinect v2 toplam 25 noktada izleme yapabilmektedir.

Aynı anda izlenebilen iskelet sayısı ise Kinect v1’de 2 iken, Kinect v2’de 6’dır. Kinect v2’nin insan vücudunda izlediği noktalar Çizelge 1.2’de ve Şekil 1.3’de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.2.** Kinect v2 iskelet üzerinde izlediği noktalar

|                  |                     |                     |
|------------------|---------------------|---------------------|
| 0. Omurga tabanı | 9. Sağ dirsek       | 17. Sağ diz         |
| 1. Omurga ortası | 10. Sağ bilek       | 18. Sağ ayak bileği |
| 2. Boyun         | 11. Sağ el          | 19. Sağ ayak        |
| 3. Kafa          | 12. Sol kalça       | 20. Omurga omuz     |
| 4. Sol omuz      | 13. Sol diz         | 21. Sol el ucu      |
| 5. Sol dirsek    | 14. Sol ayak bileği | 22. Sol başparmak   |
| 6. Sol bilek     | 15. Sol ayak        | 23. Sağ el ucu      |
| 7. Sol el        | 16. Sağ kalça       | 24. Sağ başparmak   |
| 8. Sağ omuz      |                     |                     |



**Şekil 1.3.** Kinect v2 iskelet üzerinde izlediği noktalar

Literatürde Kinect tabanlı birçok fizik tedavi çalışması bulunmaktadır. Omuz hasarları (Çubukçu vd., 2018; Çubukçu ve Yüzgeç, 2017), ön çapraz bağ kopması (Dinvar vd., 2017), Parkinson hastalığı, inme, çocuk felci gibi hastalıkların fizik tedavi

sürecine yönelik çalışmalar olduğu gibi insanların günlük egzersizlerine yönelik çalışmalar da bulunmaktadır (Garip vd., 2019).

Kısmi felç hastaları için yapılan bir çalışmada temel amaç hastaların kollarını kaldırabilmesidir. Çalışmada hastadan gelen veriler ile doğru verileri aynı grafik ara yüzde gösterilerek geri bildirimler yapılmaktadır. Çalışma beş kullanıcı üzerinde test edilmiş ve yazarlar önerdikleri sistemin başarı oranını arttırdığı sonucuna varmışlardır (Cary vd., 2014).

Yaşlı insanların hastaneye ulaşmalarındaki zorluklara dikkat çekilen bir çalışmada; yaşlı insanların yapmaları gereken günlük egzersizlerden bir kaçını Kinect sensör kullanarak evde yapmalarına olanak sağlayan bir uygulama geliştirilmiştir. Fizik tedavi uzmanları, bir grafik arayüzü aracılığıyla egzersizleri kaydetmekte ve kullanıcılar bu egzersizlere erişebilmektedir (Bragaglia vd., 2014). Kinect tabanlı bir başka telerehabilitasyon çalışmasında benzer sorunlara vurgu yapılmıştır. Çalışmada MS Kinect ile alınan anlık görüntü veritabanındaki görüntü ile karşılaştırılıp hastaya yönlendirme yapılmaktadır. (Anton vd., 2013).

Literatürde 3 boyutlu modelleme kullanılarak yapılan çalışmalar da mevcuttur. Bir çalışmada yapılan egzersiz çalışmalarını modelleyebilmek için sanal gerçeklik teknikleri kullanmaya olanak verdiği için Unity 3D oyun motoru kullanılmıştır. Çalışmada, fizik tedavi uzmanı doğru egzersizleri sisteme kaydetmektedir ve hastalar egzersizleri izleyerek, kendi başlarına yapabilmektedirler. Ayrıca hastalar egzersizlerini yaparken doğru egzersiz ile kendi modellerini aynı ara yüzde görebilmektedir (Zhao vd., 2014).

Oyun tabanlı yapılan çalışmaların başka bir örneğinde; kullanıcı hareketleri MS Kinect tarafından izlenip yaptığı hareketler 3D modellemeye aktarılmaktadır. Kurulan oyun ortamları, hastaların yapması gereken egzersizlere göre tasarlanmıştır. Örneğin, elma toplama oyununda hastanın kaç derece kolunu kaldırması isteniyorsa, elmalar o yüksekliğe koyulmuştur. Hasta elmaları topladıkça kendisine puan verilmekte ve toplam puanı hastanın başarısı olarak gösterilmektedir (Postolache vd., 2016). Yazarların, Kinect tabanlı rehabilitasyon oyunlarını geliştirerek yeni bir oyun ortamında inceleme yaptıkları 2018 yılına ait bir çalışması da bulunmaktadır (Ferreira vd., 2018).

Bir başka oyun tabanlı çalışma ise omuz hastaları için gerçekleştirilmiş, omuz fleksiyon ve abduksiyon egzersizleri bu oyun içinde yaptırılarak kullanıcılara puanlama

sistemi sunulmuştur (Sinpithakkul vd., 2019). Benzer bir oyun tabanlı çalışma da kardiyovasküler rehabilitasyon alanında gerçekleştirilmiştir (Vieira vd., 2017).

Google Earth üzerinde tasarlanan bir oyun geliştirme çalışmasında, kullanıcılar kondisyon bisikletinin üzerinde, MS Kinect ve önerilen vücut hareketi algılama algoritması yardımıyla Google Earth'te uçağın yörüngesini kontrol etmeye çalışmaktadırlar. Bu sayede boyun ve omuz egzersizi yapmaları sağlanmaktadır. Sonuçlara göre, kullanıcıların %95'i önerilen sistemi çok eğlendirici bulmaktadır. Çalışma, kullanıcıların %85'inden fazlası için, uygulanan boyun ve omuz egzersizlerinin kasları etkin bir şekilde genişletmeye yardımcı olduğunu belirtmektedir. Önerilen vücut hareketi algoritmasının algılama oranının ise %90'ın üzerinde başarılı olduğu sonucuna varılmıştır (Huang vd., 2017).

Denge eğitime yardımcı olan ve bir insansı robotun kontrolü için insan hareketi izleme isimli tez çalışmasında asıl olarak insan vücudunun ağırlık merkezi konu alınmıştır. Tez kapsamında iki uygulama geliştirilmiş; bunlardan ilki, NAO'ya (57cm boyunda insan tipinde bir robot) MS Kinect ile görüntüsü alınan kullanıcının hareketleri yaptırılmıştır. Tezin ikinci uygulamasında ise robot yardımcı denge antrenmanı uygulaması geliştirilmiştir. Burada Kinect değerlendirme ve geri bildirim aracı olarak kullanılmıştır (Manasrah, 2012).

Kinect'in fizik tedavide kullanılmasını inceleyen bir çalışmada Kinect v1 ve Kinect v2 karşılaştırılmıştır. Düz yürüyüş, geri geri yürüme gibi hareketlerde incelenen sensörlerden Kinect v2 birçok parametrede daha iyi sonuçlar vermiştir (Mishra vd., 2015).

Felç geçirmiş hastalar için oturma kalkma egzersizi yaptıran başka bir tez çalışmasında Kinect v1 kullanılmıştır. Çalışmada, OpenNI ve Microsoft Sdkları kıyaslanmıştır. Her iki kütüphanenin avantajları ve dezavantajları ortaya koyulmuştur (Labelle, 2011).

Brown ve arkadaşları çocuk felci geçiren hastalar için Kinect ve Unity 3D tabanlı bir oyun geliştirilmiştir. Kullanıcılar oyununda bir kuşu vücut hareketleriyle kontrol ederek, yapmaları gereken egzersizleri gerçekleştirmiş olmaktadır (Brown, 2013).

Kinect ile fiziksel egzersiz sırasında yapılan hataları azaltmayı hedefleyen bir tez çalışmasında 3 adet egzersiz seçilmiştir. Egzersizlerin yapımı farklı şartlarda deneyip kullandıkları metodun hata oranlarını düşürdüğü sonucuna varmışlardır (Staab, 2014).

Metakromatik lökodistrofi (MLD) hastaları için Kinect kullanılarak Xbox oyunları ile tedavi sürecine katkı vermeyi amaçlayan çalışmada, 8 haftalık tedavi süresi sonunda hastaların yürüme hızında artış olduğu tespit edilmiştir (Ulaşlı vd., 2014).

İnmeli hastalar için yapılan bir çalışmada Kinect v2 ile insan görüntüsü alınarak Unity 3D ortamına aktarılmıştır. Monte-Carlo ağaç arama algoritması ile oyun ortamında meyveler gösterilmiş ve kullanıcıdan bunların toplanması istenmiştir. Toplanan bu meyveler sonucunda puanlama yapılarak kullanıcının başarımı ölçülmüştür. Geliştirilen uygulamanın her yaş grubuna uygun, inme ve beyin hasarı yaşayan hastalarda kullanabileceği belirtilmiştir (Esfahlani ve Wilson, 2018).

Başka bir çalışmada yine Kinect v2 kullanılarak kullanıcılara kameraya yan dönük olacak şekilde Squat egzersizi yaptırılmış ve bu sırada sadece alt vücut değil, tüm vücut üzerinde doğru pozisyon kontrolleri yapılmıştır. Geliştirilen sistem 10 kullanıcı üzerinde denenerek, kullanıcılara memnuniyet anketleri yaptırılmıştır. Bunun sonucunda sistem genel olarak başarılı bulunmuştur (Da Cunha Neto vd., 2018).

Kinect'in ilk piyasaya sürüldüğünden beri yaklaşık 10 yıl geçmesine rağmen literatür incelendiğinde, Kinect tabanlı fizik tedavi uygulama çalışmalarının yoğun bir şekilde devam ettiği, bu alanda fiziksel engeli olan insanlar için fırsatlar olduğu gözlemlenmektedir. Fizik tedavide oyun tabanlı uygulamaların da hastaların gelişimine katkı sağladığı gözlemlenmektedir (Araujo vd., 2019). 6 – 12 yaş arası çocukların rehabilitasyonu için geliştirilen Jcave oyunu ile kullanıcıların dirsek fleksiyon, ekstansiyon ve omuz fleksiyon egzersizlerini evde yapabilmeleri sağlanmıştır. Önerilen sistemin fizik tedavi süresini kısalttığı, kullanıcıların motivasyonunu arttırdığı ve ev egzersizlerini daha eğlenceli hale getirdiği gözlemlenmiştir (Elrefaei vd., 2019). Kinect tabanlı fizik tedavi uygulamalarının meme kanseri hastaların egzersizlerine faydaları araştırılmıştır (Feyzioğlu vd., 2020). 41 kısmi felç hastası üzerinde yapılan bir çalışmaya göre Kinect tabanlı fizik tedavi sisteminin faydalı olduğu sonucuna varılmıştır (Lee vd., 2020). Felçli hastaların fizik tedavi süreçlerini daha efektif hale getirmek için yapılan başka bir çalışmada Kinect'in potansiyeline vurgu yapılmıştır (Dash vd., 2019). Parkinson hastalarının fizik tedavi süreçlerinde de Kinect tabanlı

fizik tedavi uygulamalarının başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir (Cerqueira vd., 2020; Grunert vd., 2019; Ren vd., 2020).

Günümüzde yapay zeka bir çok alanda olduğu gibi sağlık alanında da sıklıkla kullanılmaktadır. Kalp krizi riski, kanser olma olasılığı gibi durumların tahminlerinde de sıklıkla yapay zeka teknikleri kullanılmaktadır. Çok katmanlı algılayıcılar (MLP : Multilayer Perceptron), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS: Adaptive Neuro Fuzzy Inference System), evrimsel sinir ağları (CNN: Convolutional Neural Networks) derin öğrenme yöntemleri medikal alanda tahminler için popüler olarak kullanılan yöntemlerdendir (Cheng vd., 2016; Choi vd., 2016; Kalaiselvi ve Nasira, 2014; Ziasabounchi ve Askerzade, 2014). Bunların yanı sıra yapay zekânın sağlık alanında kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde insan kemiğinden hastalık teşhisi, coğrafi durumlar temel alınarak sıtma hastalığı teşhisi, radyoloji alanında kullanılarak kemik kırıkları, anormal kemik büyümesi tespitleri, vücut dengesinin değerlendirilmesi, meme kanseri teşhisleri, EMG sinyallerinin sınıflandırılması gibi çalışmalara rastlanmıştır. Rehabilitasyon alanında yapay zeka daha çok alınan görüntülerden kişinin eklem noktalarını, yaptığı egzersizin ne olduğunu tahmin etmekte kullanılmıştır. Hastaların hastanede ne kadar yatacakları veya hastaneye tekrar dönüp yatar şekilde tedavi görüp görmeyeceği üzerine tahmin üreten çalışmalarda bulunmaktadır (Aliferis vd., 2003; Anton vd., 2018; Jimenes vd., 2019; Ogiela vd., 2008; Oliver vd., 2018; Su ve Cheng, 2016; Zhu vd., 2019).

Yapılan literatür araştırmalarının sonucunda omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastalar için bütünleşik; fizik tedavi uzmanının hastalık sürecini gözlemleyebildiği ve yönetebildiği, hastaların egzersizlerini doğru ve etkin bir şekilde yapmasını sağlayan bir telerehabilitasyon sisteminin ihtiyaçlar arasında olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda hastaların ne düzeyde iyileştiğini göstermekte kullanılan bir ölçüm yöntemi olan kol, omuz ve el sorunları anketi (DASH: Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) sonuçlarını tahmin edebilen bir sisteme de rastlanmamıştır.

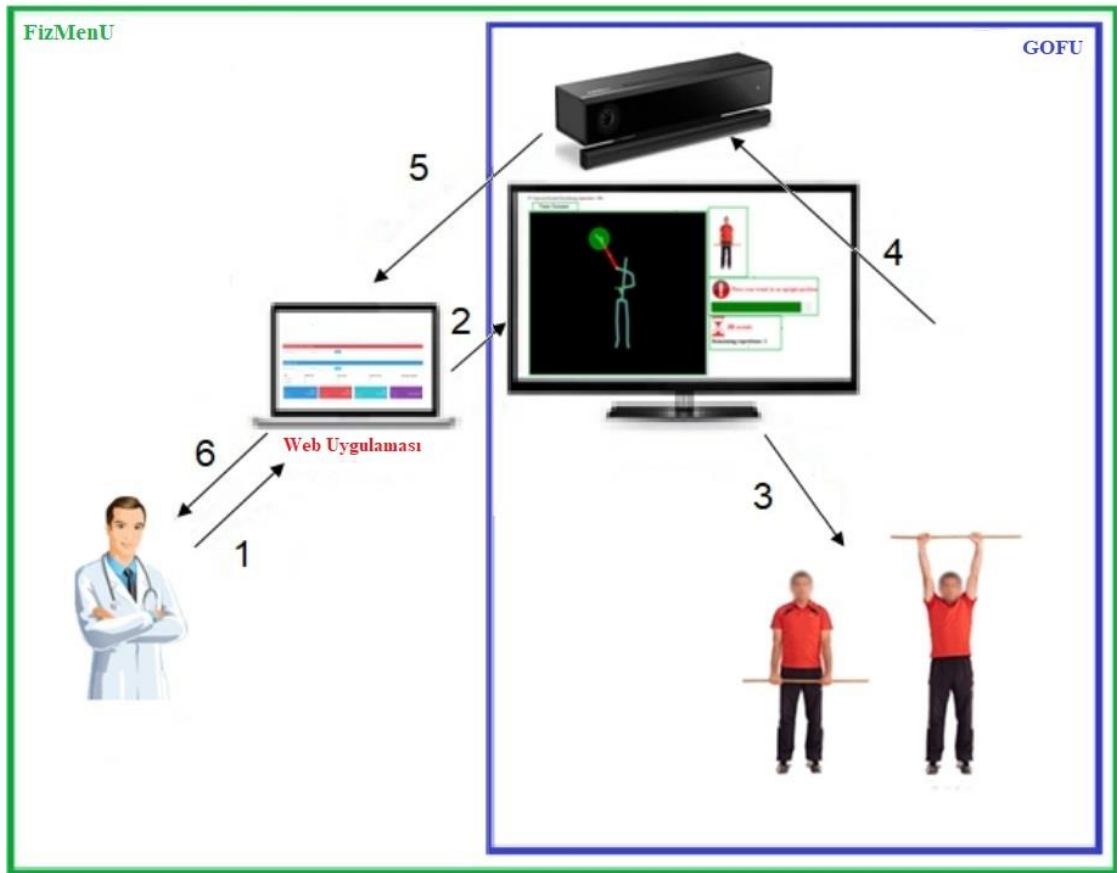
Bu tez kapsamında; omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastaların, fizik tedavi merkezi ve evde yaptıkları fizik tedavi egzersizlerinin doğruluk oranını arttıran ve hastaların yaptıkları çalışmaları fizik tedavi uzmanına raporlayan bir fizik tedavi mentor uygulaması (FizMenU) önerilmektedir. Önerilen sistemin web platformu aracılığı ile hastanın yaptığı fizik tedavi egzersizlerinin performans sonuçlarının uzman veya doktor

tarafından görülmesi, fizik tedavi uzmanı tarafından hastaya başka fiziksel egzersizlerin tanımlanması, var olan egzersizlerin güncellenebilmesi, tekrar sayılarının değiştirilebilmesi gibi imkânlar sunulmaktadır. Önerilen sistemle fizik tedavi gören hastalara egzersizlerin yapımı sırasında vücut pozisyonları ve egzersizlerin doğru yapıları hakkında yapılan yönlendirmeler sayesinde hastalar egzersizlerini daha doğru ve etkin bir şekilde yapmaktadırlar. Ayrıca önerilen sistem çok katmanlı algılayıcılar (MLP) kullanılarak hastaların tedavi süresince DASH sonuçlarını tahmin etmektedir.

Tezin bölümlerinde, önerilen FizMenU sisteminin tanıtılmasına, önerilen sistemin geçerlilik güvenilirlik testlerine, Bilecik Devlet Hastanesi'nde uygulanmasına ve geleneksel tedavi yöntemleri ile kıyaslanmasına yer verilmektedir. Diğer bölümlerinde ise yapay zeka teknikleri ile hasta verilerinden DASH sonucu tahminlerine, sonuçlar ve tartışma bölümüne yer verilmektedir.

## 2. FİZİK TEDAVİ MENTÖR UYGULAMASI (FizMenU)

FizMenU; omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastaların fizik tedavi egzersizlerinin doğru ve etkili bir şekilde yapılmasını, tedavi sürecinde oluşan verilerin kaydedilmesini, fizik tedavi uzmanlarına hastaların tedavi süreçleri hakkında anlık bilgi verilmesini ve fizik tedavi uzmanlarının tedavi sürecini güncelleyebilmesine olanak sağlaması amacıyla geliştirilmiştir. Bu uygulama ile Şekil 2.1’de gösterildiği üzere, fizik tedavi uzmanlarını ve hastaları da kapsayan, tedavi sürecinin egzersiz yapılmasıyla başlayan ilk anından, fizik tedavi uzmanının tedavinin tamamlandığına karar vermesine kadar tüm süreci kapsayan bütünlük bir sistem geliştirilmesi hedeflenmiştir. FizMenU, web uygulaması ve Geliştirilmiş Omuz Fizik tedavi Uygulaması (GOFU) olmak üzere iki ana bileşenden oluşur.

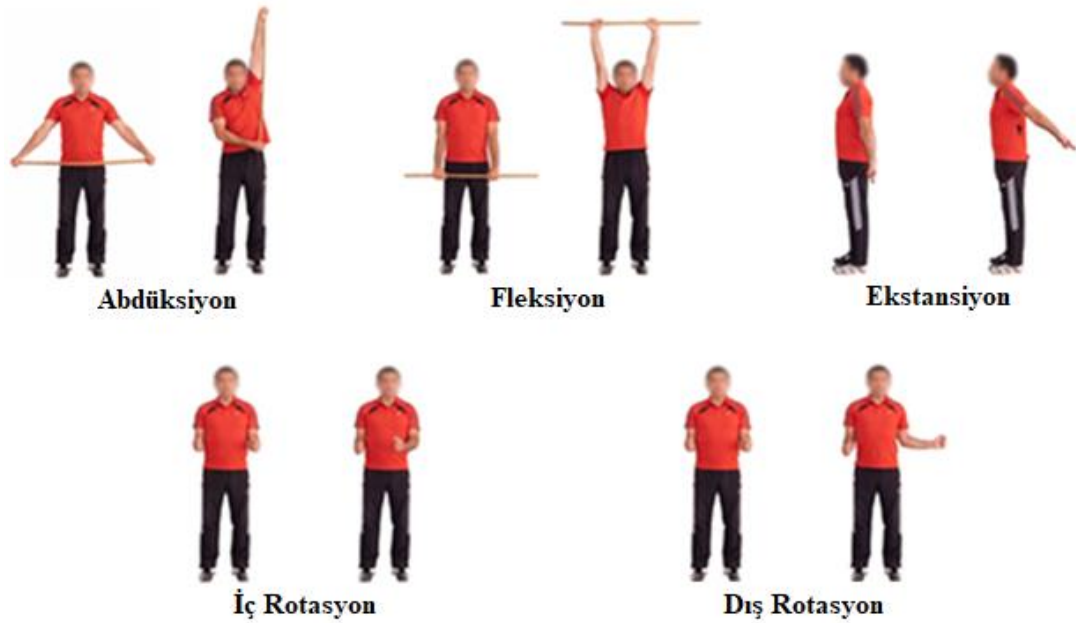


Şekil 2.1. Fizik tedavi mentör uygulaması (FizMenU)

Şekil 2.1’de gösterilen 1 ve 6 numaralı oklar, fizik tedavi uzmanı ve web uygulaması arasındaki iki yönlü iletişimi göstermektedir. Benzer şekilde, 2 ve 5 numaralı oklar uygulamanın GOFU ile iletişimini, 3 ve 4 nolu oklar ise hastanın GOFU ile etkileşimini göstermektedir. FizMenU’nun web uygulaması bileşeniyle, fizik tedavi uzmanı tedavi sürecini gözlemleyebilmekte ve tedaviyi güncelleyebilmektedir. GOFU bileşeniyle hastaların egzersizlerini doğru ve etkin bir şekilde yapması sağlanmaktadır. Bu bölümde FizMenU sisteminde yaptırılan egzersizler, sistemin web uygulaması ve GOFU bileşeni anlatılmaktadır.

## 2.1 FizMenU Egzersizleri

FizMenU omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastaların fizik tedavi sürecinde yapması gereken egzersizleri içermektedir. Abdüksiyon, fleksiyon, iç rotasyon, dış rotasyon ve ekstansiyon egzersizleri fizik tedavi uzmanlarının görüşleri ile seçilmiştir. Egzersizlerdeki temel amaç hastaların yaşadıkları rahatsızlık sonrası omuzlarında oluşan limitasyonlarının giderilmesidir. Egzersizlerin başlangıç ve hedeflenen sonuç pozisyonları Şekil 2.2’de verilmiştir.



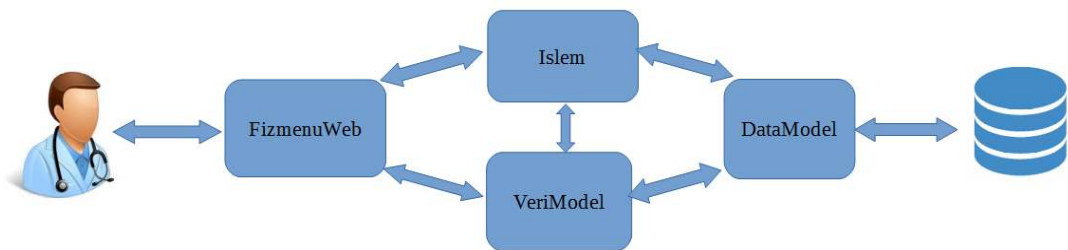
**Şekil 2.2.** Omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastalar için egzersizler

## 2.2 FizMenU Web Uygulaması

FizMenU web uygulamasının temel amacı hastanın tedavi sürecinin sürekli gözetim altında tutulabilmesidir. Geliştirilen web uygulaması sayesinde fizik tedavi uzmanı günlük olarak hastaların yaptıkları egzersiz türlerini, tekrar sayılarını, başarımlarını takip edebilmekte ve gerek görüldüğünde egzersizlerin tekrar sayısı, başarımları açısı değerlerinde değişiklikler yapabilmekte, hastanın yeni bir egzersiz yapmasını isteyebilmekte veya devam eden bir egzersizi sonlandırabilmektedir.

FizMenU web uygulaması fizik tedavi uzmanı ve doktorlarının tavsiyeleri ve geri dönüşleri göz önünde bulunarak geliştirilmiştir. Bu uzman görüşleri ışığında; web sayfasının tasarımı gerçekleştirilirken fizik tedavi uzmanları tarafından bir hasta hakkında tüm bilgilerin tek bir sayfada görüntülenebilmesi ve mümkün olan tüm hasta işlemlerinin aynı sayfa üzerinde yapılabilmesi sağlanmıştır. Hasta tarafından görülebilen sayfalardaki bilgiler ise en düşük düzeyde tutularak hastaların karmaşık yapıdan uzak tutulması sağlanmıştır. Bu şekilde hastaların sadece yapacağı egzersiz isimlerini ve tekrar sayılarını görmelerine olanak sağlanmıştır.

FizMenU web sayfası, Visual Studio ortamında, C# ve Javascript dilleri kullanılarak MVC (Model View Controller) mimarisi ile geliştirilmiştir. Sayfa yazılımı; veri tabanı bağlantısını sağlayacak olan DataModel, modellerin oluşturulduğu VeriModel, işlemlerin yapıldığı, metotların yazıldığı Islem, MVC ile kurgulanmış web tarafı FizmenuWeb olmak üzere 4 alt proje ile yapılmaktadır. Bu projeler arasındaki veri akış şeması Şekil 2.3’de verilmiştir.



**Şekil 2.3.** FizMenU web projesi veri akış şeması

FizMenU web projesinin 2 farklı tür kullanıcısı bulunmaktadır: Hasta ve fizik tedavi uzmanı. Her iki kullanıcıda Şekil 2.4’de gösterilen giriş ekranını kullanmaktadır.

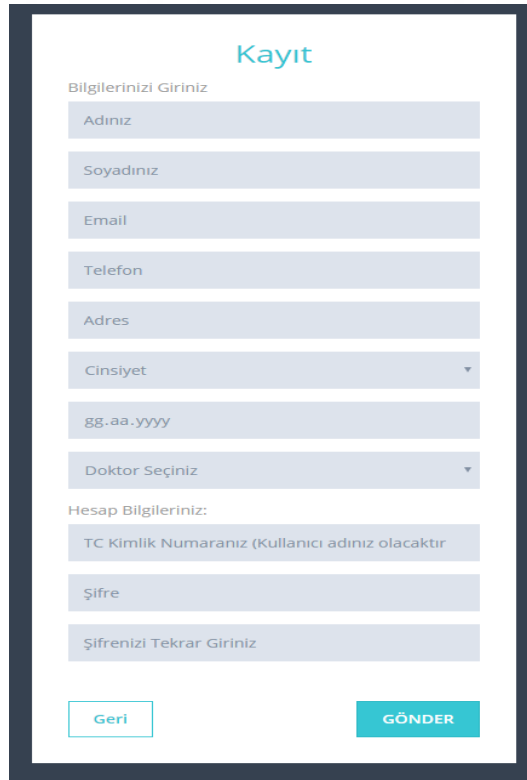
Giriş kontrolleri çerez ile sağlanmaktadır. Oturum açma ekranından gelen bilgiler doğrultusunda, kullanıcı türüne göre sayfa yönlendirmesi yapılmaktadır.



The image shows a login screen titled "Giriş". It features two input fields: "TC Kimlik No" and "Şifre". Below these fields is a blue button labeled "GİRİŞ". At the bottom of the screen, there is a dark blue button labeled "YENİ KULLANICI OLUŞTUR".

**Şekil 2.4.** Oturum açma ekranı

Şekil 2.5’de hastaların sisteme kayıt olmasını sağlayan ekran gösterilmektedir. Hastalar kayıt olduktan sonra sisteme giriş yapamamaktadır. Hastaların sisteme girebilmesi için, ilgili doktorun hastaya onay vermesi gerekmektedir. Bu onay işleminden sonra hastalar sisteme giriş yapabilmektedir.



The image shows a registration screen titled "Kayıt". It is divided into two main sections: "Bilgilerinizi Giriniz" and "Hesap Bilgileriniz:". The "Bilgilerinizi Giriniz" section includes input fields for "Adınız", "Soyadınız", "Email", "Telefon", "Adres", "Cinsiyet" (with a dropdown arrow), "gg.aa.yyyy", and "Doktor Seçiniz" (with a dropdown arrow). The "Hesap Bilgileriniz:" section includes input fields for "TC Kimlik Numaranız (Kullanıcı adınız olacaktır)", "Şifre", and "Şifrenizi Tekrar Giriniz". At the bottom left is a button labeled "Geri" and at the bottom right is a button labeled "GÖNDER".

**Şekil 2.5.** Kullanıcı kayıt ekranı

Hasta kullanıcı türüne sahip kullanıcılar giriş yaptıktan sonra Şekil 2.6'daki ekrana yönlendirilmektedir. Hastaların tek bir sayfası bulunmaktadır. Hasta sayfasında, hasta kullanıcı türüne, kendi doktorlarına ait isim ve e-posta bilgileri ile birlikte, hangi egzersizden günde kaç adet yapmaları gerektiği gösterilmektedir.

| Doktorunuzun Bilgileri |                                 |
|------------------------|---------------------------------|
| Ad :                   | DrBrkhn                         |
| Soyad :                | Cbck                            |
| Eposta :               | burakhan.cubukcu@bilecik.edu.tr |

| EGZERSİZLERİNİZ |                      |
|-----------------|----------------------|
| Egzersiz Adı    | Günlük Tekrar Sayısı |
| Ekstansiyon     | 5                    |
| İç Rotasyon     | 20                   |
| Dış Rotasyon    | 5                    |

Şekil 2.6. Hasta bilgilendirme sayfası

Diğer kullanıcı türü olan fizik tedavi uzmanı ana sayfası Şekil 2.7'de verilmiştir. Bu sayfada fizik tedavi uzmanları, toplam hasta sayılarını, onaylanmamış hasta sayılarını ve bilgilerini, son bir haftada en az bir egzersizini hiç yapmayan hasta bilgilerini gözlemleyebilmektedir.

| EGZERSİZ ATANMAMIŞ HASTALAR |           |        |          |
|-----------------------------|-----------|--------|----------|
| TC Kimlik                   | Ad        | Soyad  | Hastalık |
| 99999999999                 | Mehmetcan | Candan |          |

| 1 HAFTADIR EGZERSİZ YAPMAYAN HASTALAR |        |             |            |
|---------------------------------------|--------|-------------|------------|
| TC Kimlik                             | Ad     | Soyad       | Son Giriş  |
| 55544444444                           | Hsttkı | HsttkıSoyad | 22.02.2018 |
| 55555555555                           | HstBrk | HstSoyad    | 10.02.2018 |
| 33333333333                           | hst3   | hst3soy     |            |
| 44444444444                           | HST6   | SYD6        |            |
| 11111111111                           | Tam    | surum       |            |
| 11111111112                           | asd    | asd         |            |

Şekil 2.7. Fizik tedavi uzmanı ana sayfası

Fizik tedavi uzmanlarının 2. Sayfası hastalarının özet bilgilerini görebilecekleri hasta bilgileri sayfasıdır (Şekil 2.8). Sayfada hastanın TC kimlik numarası, adı, soyadı, hastalığı, doğum tarihi bilgileri sunulmaktadır. Fizik tedavi uzmanı daha önce egzersiz atamadıkları (onay vermedikleri) hastaları da ayrı olarak görmektedirler. Bu sayfadan istenilen hastaya egzersiz ata butonuna basarak egzersiz atama sayfasına gidilebilmektedir.

**HASTA LİSTESİ** PDF

10 kayıt

Ara:

| #            | Tc Kimlik   | Ad     | Soyad       | Hastalık    | Doğum Tarihi |
|--------------|-------------|--------|-------------|-------------|--------------|
| Egzersiz Ata | 11111111111 | Tam    | surum       | Donuk Omuz  | 8.03.2018    |
| Egzersiz Ata | 11111111112 | asd    | asd         |             | 15.03.2018   |
| Egzersiz Ata | 33333333333 | hst3   | hst3soy     | Omuz Kırığı | 6.01.1992    |
| Egzersiz Ata | 44444444444 | HST6   | SYD6        | Omuz Kırığı | 8.01.1993    |
| Egzersiz Ata | 55544444444 | Hstiki | hstikiSoyad | Donuk Omuz  | 5.01.1990    |
| Egzersiz Ata | 55555555555 | HstBrk | HstSoyad    | Omuz Kırığı | Belirsiz     |

6 kayıdn 1 den 6 a kadar gösteriliyor

Page 1 of 1

**HİÇ EGZERSİZ ATANMAMIŞ HASTALAR**

| #            | Tc Kimlik   | Ad        | Soyad  | Hastalık | Doğum Tarihi |
|--------------|-------------|-----------|--------|----------|--------------|
| Egzersiz Ata | 99999999999 | Mehmetcan | Candan |          | 30.12.1992   |

**Şekil 2.8.** Hasta bilgileri listesi sayfası

Şekil 2.9’da gösterilen egzersiz atama sayfasından, fizik tedavi uzmanları hastaların hastalık bilgilerini açılır kutu vasıtasıyla ve egzersizleri onay kutuları vasıtasıyla değiştirilebilmektedir.

**HASTA EGZERSİZ ATA**

Hasta Adı - Soyadı

Tam surum

Hastalığı

Donuk Omuz

Egzersizler

☒ SolAbduksiyon ☐ SolEkstansiyon ☐ SolDiş Rotasyon ☐ Solİç Rotasyon

**Şekil 2.9.** Egzersiz atama sayfası

Fizik tedavi uzmanları hastanın yaptığı egzersizleri gözlemleyebileceği, hasta egzersiz bilgileri sayfası Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Bu sayfa fizik tedavi uzmanlarının isteği doğrultusunda, hasta ile ilgili her şeyi gözlemleyebilecekleri ve işlem yapabilecekleri tek bir sayfa olarak tasarlanmıştır. Şekil 2.10'da görünen ilk bölümde hastanın ilgili kan grubu, cinsiyet, doğum tarihi, e-posta, telefon ve adres bilgileri gözlemlenebilmektedir. Bu bölümde hasta ile ilgili notların alınabileceği ve daha önce alınan notların gözlemlenebileceği bir sekme bulunmaktadır. Alt kısımda hastaya verilen egzersizler ayrı sekmeler içinde gösterilmektedir. Hastanın daha önce hiç yapmadığı egzersizler kırmızı sekmeler ile en az 1 kez yaptığı egzersizler ise mavi sekmeler ile belirtilmektedir.

The screenshot displays a web interface for patient exercise information. At the top, there is a blue header bar with the text 'Hstiki hstikiSoyad Bilgileri' and a dropdown arrow. Below this, a white box contains patient details in a table format:

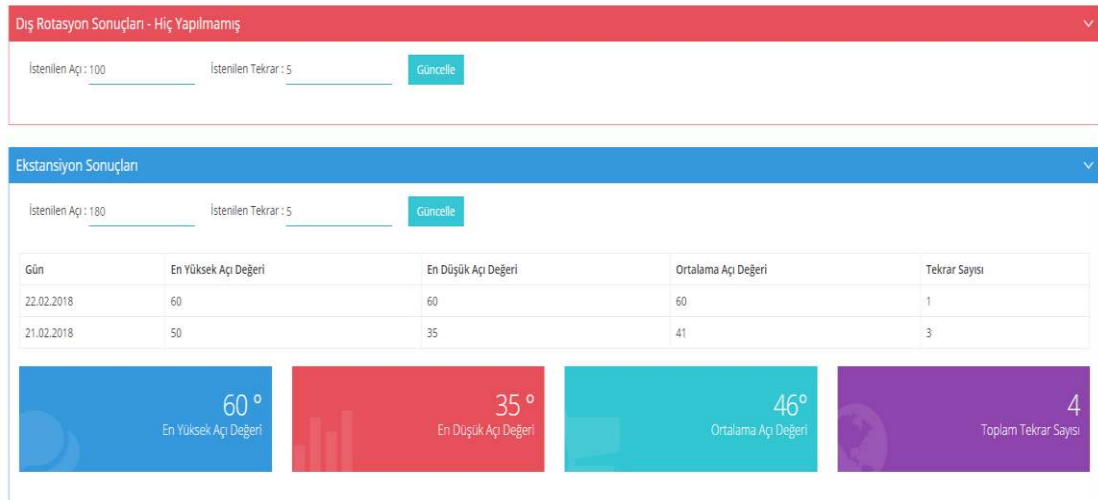
|               |               |
|---------------|---------------|
| Kan Grubu:    | B-            |
| Cinsiyet:     | Erkek         |
| Doğum Tarihi: | 5.01.1990     |
| Eposta:       | iki@hasta.com |
| Telefon:      | 4444444444    |
| Adres:        | iki@hasta.com |

Below the patient details, there is a teal bar labeled 'Notlar' with an upward arrow. Underneath, there are three horizontal bars representing different exercise categories:

- A red bar labeled 'Dış Rotasyon Sonuçları - Hiç Yapılmamış' with an upward arrow.
- A blue bar labeled 'Ekstansiyon Sonuçları' with an upward arrow.
- A blue bar labeled 'İç Rotasyon Sonuçları' with an upward arrow.

**Şekil 2.10.** Egzersiz bilgileri sayfası

Yine hasta egzersiz bilgileri sayfası içinde Şekil 2.11'de gösterildiği üzere hastanın yaptığı her egzersizin bilgileri kendi sekmesi içinde gösterilmektedir. Hastanın bir gün içinde yaptığı en yüksek, en düşük, ortalama açış değerleri ve o gün içinde yaptığı tekrar sayısı olarak liste görünümünde gösterilmektedir. Sekmenin alt kısmında da hastanın tedaviye başladığı günden beri yaptığı en düşük, en yüksek, ortalama açış değeri ve o güne kadar yaptığı toplam tekrar sayısı gösterilmektedir. Sekmelerin en üst kısmından hastaların yapması istenen açış değeri ve tekrar sayıları güncellenebilmektedir.



**Şekil 2.11.** Egzersiz bilgileri sekmeleri

### 2.3 Geliştirilmiş Omuz Fizyoterapi Uygulaması (GOFU)

GOFU Kinect v2 ve Kinect SDK 2.0 kullanılarak geliştirilmiştir. GOFU, Visual Studio ortamında oluşturulmuştur ve bir Windows sunum formu (WPF: Windows Presentation Form) olarak tasarlanmıştır. Yazılım C # programlama dili kullanılarak yazılmıştır.

GOFU'nun temel hedeflerinden biri omuz hasarlı hastaların vücut pozisyonlarının doğruluğunu kontrol etmek ve hastayı yönlendirerek egzersizlerini doğru vücut pozisyonunda yapmasını sağlamaktır. Aynı zamanda egzersizlerin yapılışını da izleyerek egzersizinde doğru bir şekilde gerçekleştirilmesini hedeflemektedir. GOFU'nun bir diğer temel amacı da hastaların yaptığı egzersizlerden oluşan verileri, uzmanlar tarafından gözlemlenebilecek, anlamlı bilgiler olarak kayıt altına almaktır. GOFU, hastaların abdüksiyon, fleksiyon, iç rotasyon, dış rotasyon ve ekstansiyon egzersizlerini doğru yapmalarını sağlar ve egzersizlerde kullanıcıların yaptığı açı değerlerini kaydeder. GOFU'yu sadece hastalar kullanmaktadır, fizik tedavi uzmanları bu uygulamayı kullanmamaktadır.

Tezin bu bölümünde GOFU'da kullanılan donanım olan Kinect v2'nin özellikleri, GOFU'nun arayüz görüntüleri, GOFU'nun işleyiş ve hesaplama adımları, GOFU'da yaptırılan egzersizler anlatılmıştır.

### 2.3.1 GOFU grafik arayüzü

GOFU, Giriş ekranı, bitiş ekranı ve kullanıcıların egzersizlerini yaptıran ana ekran olmak üzere 3 farklı ara yüzden oluşmaktadır. Şekil 2.12’de gösterilen giriş ekranından kullanıcılar, TC kimlik numaralarını kullanıcı adı olarak ve önceden belirlenmiş şifrelerini kullanarak sisteme girişlerini gerçekleştirmektedir. Doğrulama FizMenU sisteminin veritabanı üzerinden yapılmaktadır.

Kullanıcılar, fizik tedavi uzmanının belirlediği egzersizlerini tamamladıktan sonra Şekil 2.13’deki bitiş ekranına yönlendirilmektedir. Kullanıcı bu ekrandan ekranı kapatarak uygulamadan çıkabilmekte ya da başka bir kullanıcının kullanımı için başlangıç ekranına dönebilmektedir.



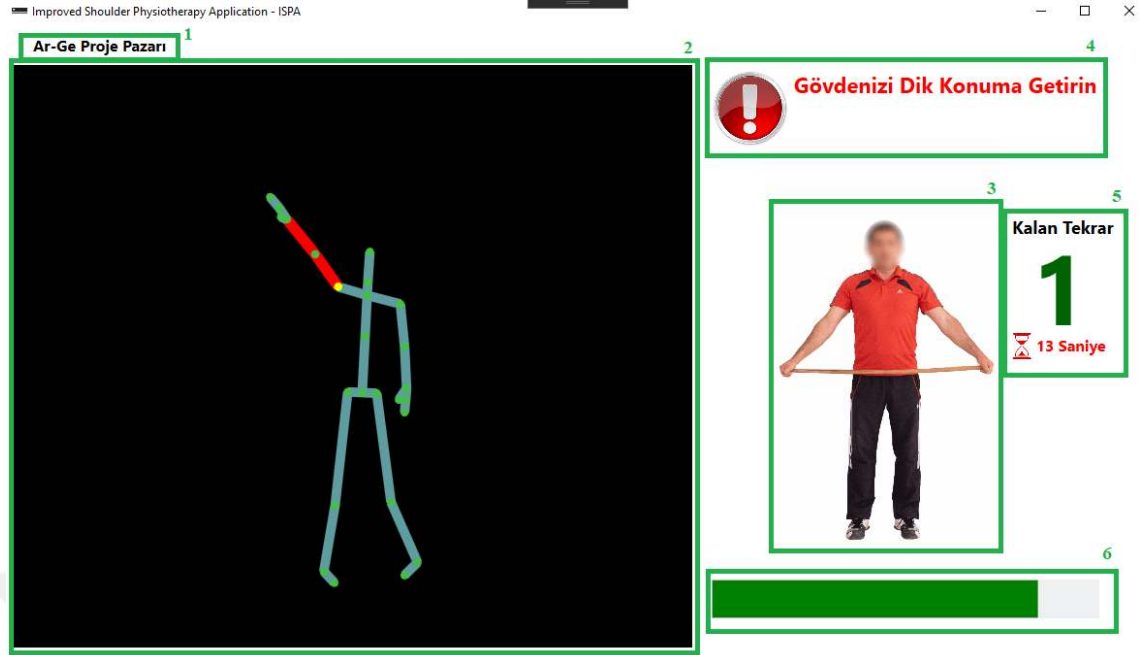
Şekil 2.12. Giriş ekranı



**Tebrikler bugünkü egzersizlerinizi tamamladınız.**

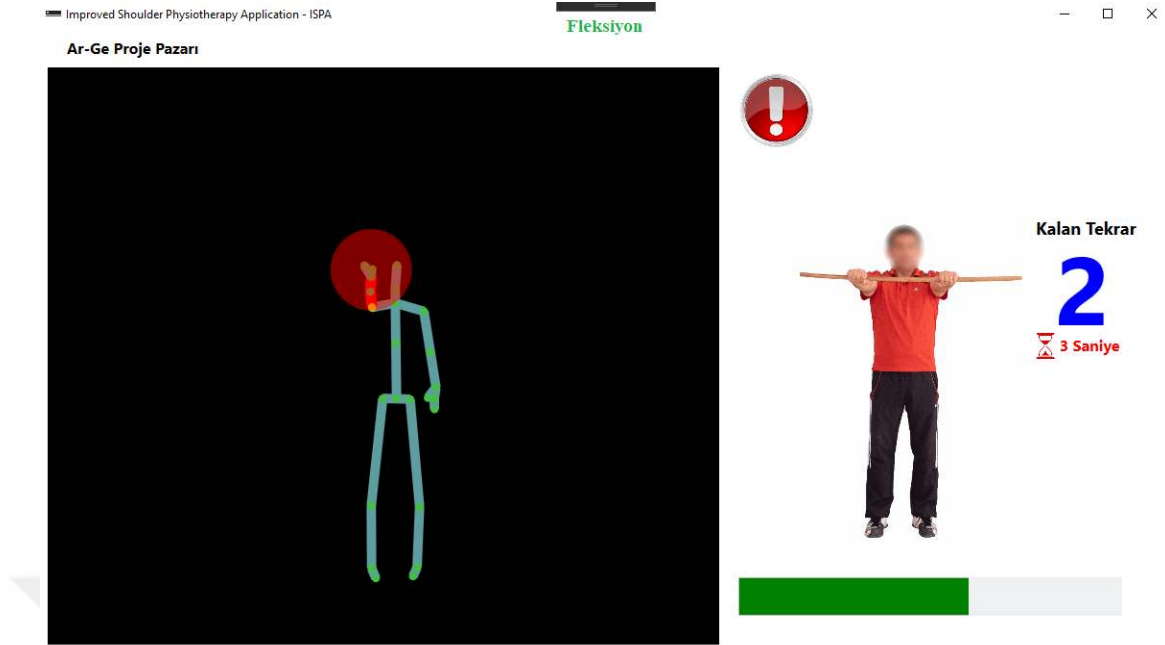
Tekrar giriş için tıklayın

Şekil 2.13. Bitiş ekranı

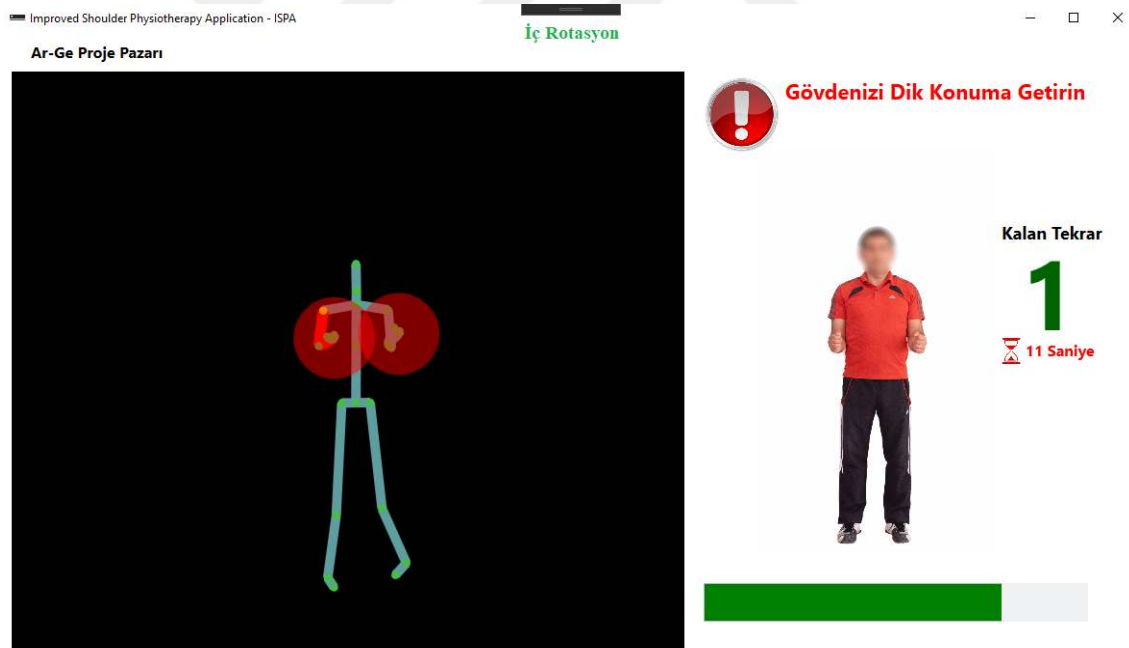


**Şekil 2.14.** GOFU egzersiz grafik arayüzü

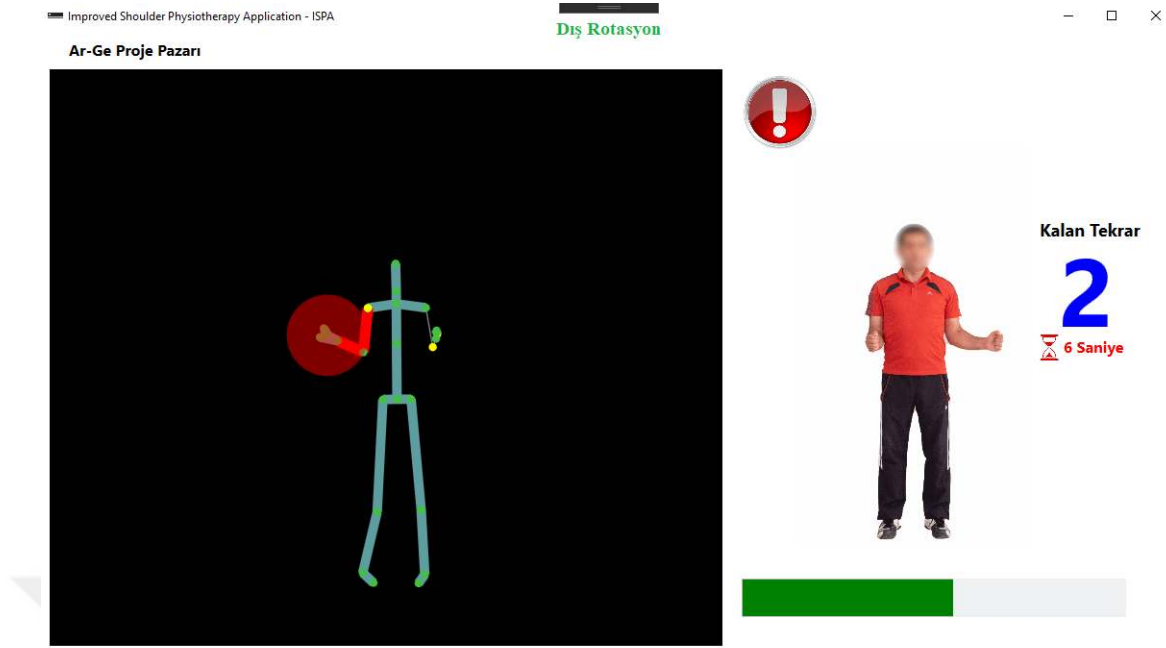
Ekran görüntüsü Şekil 2.14’de verilen GOFU egzersiz yapımı arayüzü 5 bölümden oluşmaktadır. Bu arayüz fizik tedavi uzmanlarının talepleri doğrultusunda, kullanıcının dikkatinin dağılmaması ve sadece kendi yaptığı egzersiz görüntüsüne odaklanabilmesi için, hastanın modellendiği görüntünün büyük, diğer kısımların ise sade ve daha az dikkat çekici olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 2.14’de yeşil kareler şeklinde işaretlenmiş olan görüntünün, 1 numaralı kısmında o an uygulamayı kullanan kullanıcının isim bilgisi verilmiştir. 2 numaralı kısmında kullanıcının Kinect v2 aracılığıyla alınan modellenmiş görüntüsü bulunmaktadır. Bu bölümde kullanıcının hangi kolu ile fizik tedavi yaptığı o kol görüntüsü üzerinde kırmızı ile gösterilmiştir. 3 numaralı bölümde yapılan egzersizin veya başlangıç pozisyonunun doğru yapılışını gösteren hareketli resmi görüntülenmektedir. 4 numaralı kısımda kullanıcının yerine getiremediği vücudunun duruş hataları ile ilgili bilgilendirme bölümü bulunmaktadır. 5 numaralı bölümde yapılan egzersiz için kaç tekrarı kaldığı ve ilgili tekrarı tamamlaması için ne kadar süresi kaldığına yönelik bilgiler gösterilmektedir. 6. Bölümde kullanıcının egzersizi tamamlaması için kolunu ne kadar daha açması gerektiği hakkında bilgi veren süreç barı bulunmaktadır. Şekil 2.14’de abduksiyon, Şekil 2.15’de fleksiyon, Şekil 2.16’da iç rotasyon, Şekil 2.17’de dış rotasyon, Şekil 2.18’de ekstansiyon egzersizleri yapılırken GOFU’nun grafik arayüzü görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2.15. GOFU fleksiyon egzersizi grafik arayüzü



Şekil 2.16. GOFU iç rotasyon egzersizi grafik arayüzü



Şekil 2.17. GOFU dış rotasyon egzersizi grafik arayüzü

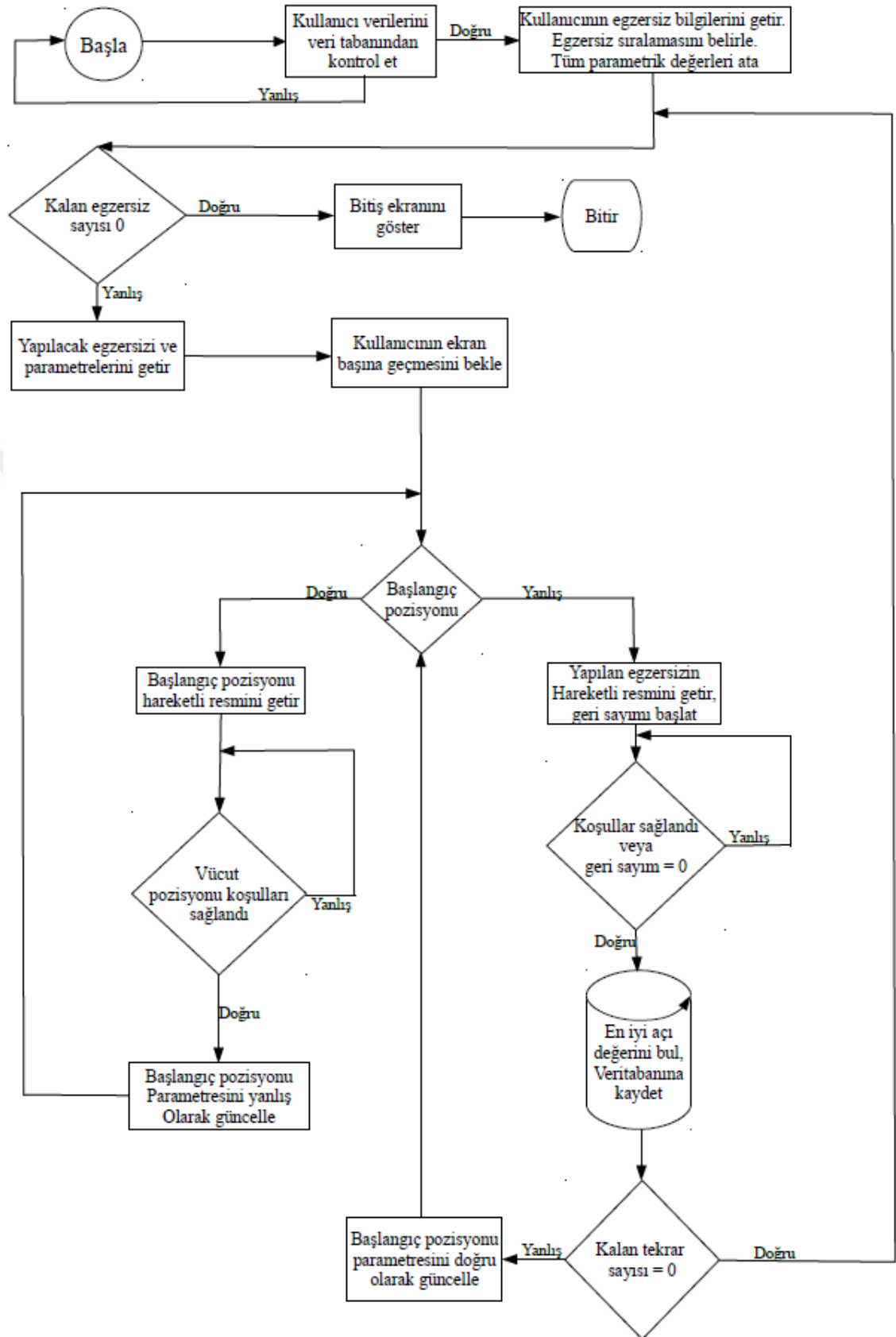


Şekil 2.18. GOFU ekstansiyon egzersizi grafik arayüzü

### 2.3.2 GOFU işleyiş ve hesaplama adımları

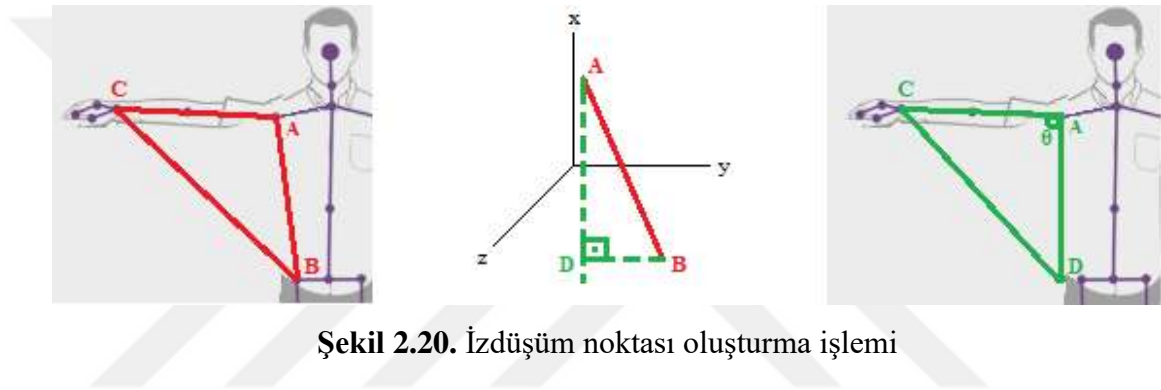
Akış şeması Şekil 2.19'da verilen GOFU ilk olarak kullanıcı bilgilerinin doğruluğunu kontrol eder. Eğer kullanıcı verileri doğruysa kullanıcı ana egzersiz ekranına yönlendirilir. Ana ekran açılırken GOFU kullanıcıların hangi egzersizleri yapacağı, kaç tekrar yapacağı, başarıma açılış ölçütlerini veri tabanından okur, bunların ilgili parametre atamasını yapar ve kullanılacak ilk medya öğelerini hazırlar. Açılış parametreleri hazırlandıktan sonra GOFU, kalan egzersiz sayısını kontrol eder ve bu sayı 0 ise kullanıcıyı bitiş ekranına yönlendirir. Kalan egzersiz sayısı sıfırdan büyük ise yapılacak egzersizleri sıralar ve kullanıcı Kinect v2'nin önüne geçene kadar bekler. Kullanıcının Kinect v2'nin önüne geçmesiyle egzersiz yapılma adımlarına başlar.

GOFU yazılımında 3'ü başlangıç pozisyonu 5'i egzersiz olmak üzere 8 vücut duruş pozisyonu için kategori vardır. GOFU sırada başlangıç pozisyonunun mu, egzersizin yapılmasının mı olduğunu ilgili parametreyi sorgulayarak karar verir. Başlangıç pozisyonu ise ilgili hareketli resmi oynatılmaya başlar ve kullanıcının ilgili pozisyonu için vücut pozisyonunun koşulları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Bu koşullar sağlanana kadar bekleyen GOFU, koşulların sağlanmasıyla birlikte başlangıç pozisyonu parametresini değiştirir ve döngüyü sıradaki adımın başlangıç pozisyonunun alınmasının mı egzersizin yapılmasının mı olduğunu sorgulayan bölüme yönlendirir. Sırada egzersizin yapılması varsa GOFU yapılacak egzersizin hareketli resmini oynatmaya başlar ve geri sayımı başlatır. Egzersiz yapılırken GOFU sürekli olarak vücut duruşunun uygun olup olmadığını kontrol eder ve kullanıcıya doğru duruşa geçmesi için gerekli yönlendirmeleri yapar. Kullanıcı doğru vücut pozisyonunda olmadığı sürece yapılan ölçümler kaydedilmez. Kullanıcı başarıma açılış derecesine ulaşana kadar veya verilen süre bitene kadar ölçüm değerleri kayıt altına alınır. Bu şartlardan biri yerine getirildikten sonra GOFU kullanıcının ölçümleri içinden en yüksek açılış değerini veritabanına kaydeder. Daha sonra kalan tekrar sayısını sorgulayan GOFU tekrar sayısının sıfır olması durumunda kalan egzersiz sayısının sorgulandığı bölüme yönlendirir ve döngü yukarıda anlatıldığı gibi varsa yeni egzersiz için tekrarlanır. Tekrar sayısının sıfırdan büyük olduğu durumlarda tekrar sayısı 1 azaltılır, başlangıç pozisyonu parametresi doğru olarak değiştirilir ve sıradaki adımın başlangıç pozisyonunun alınmasının mı egzersizin yapılmasının mı olduğunu sorgulayan bölüme yönlendirilir ve döngü tekrarlanmış olur.



Şekil 2.19. GOFU akış şeması

GOFU egzersizleri gerçekleştirirken vücut eklem noktalarını belirlemek için Kinect v2'nin iskelet izleme özelliğini kullanır. Bu sayede koordinat verileri alınan 25 nokta üzerinde hesaplama işlemleri yapılır. Ancak elde edilen bu 25 nokta bazı durumlarda doğru açıyı hesaplamak için yeterli olmamaktadır. Bundan dolayı Kinect v2'nin sağlamadığı noktalar GOFU tarafından oluşturulur. Örneğin, abdüksiyon ve fleksiyon egzersizindeki açı değerini hesaplamak için Kinect v2'den alınan iskelet noktaları yeterli değildir. Yeni nokta Şekil 2.20'de gösterildiği gibi dik izdüşüm kuralı kullanılarak oluşturulur. Kinect v2'den elde edilen noktalar  $A(x_1, y_1, z_1)$ ,  $B(x_2, y_2, z_2)$ ,  $C(x_3, y_3, z_3)$  olsun, yeni oluşturulacak nokta  $D(x_4, y_4, z_4) = (x_1, y_2, z_1)$  olarak elde edilir.



Şekil 2.20. İzdüşüm noktası oluşturma işlemi

Kinect v2'den elde edilen ve yeni oluşturulan noktalar abdüksiyon, fleksiyon, dış rotasyon, iç rotasyon ve ekstansiyon egzersizlerinin Şekil 2.21'de gösterilen açılarının hesaplamasında kullanılır. Kinect v2'nin sağladığı sol bel ve sağ bel noktası abdüksiyon ve fleksiyon egzersizlerinde kullanışlı değildir. Bu sebepten şekilde görüldüğü üzere Kinect v2'den elde edilen K noktası yerine oluşturulan B noktası kullanılmıştır. Şekil 2.21'de gösterilen üçgenlerin noktaları  $A = (x_1, y_1, z_1)$ ,  $B = (x_2, y_2, z_2)$ ,  $C = (x_3, y_3, z_3) \in R^3$  olmak üzere bütün kenar uzunlukları hesaplamalarında Eşitlik 2.1–2.3 kullanılmaktadır. Elde edilen kenar uzunluklarıyla Eşitlik 2.4'de gösterilen kosinüs teoremi kullanılarak açılar elde edilmektedir. GOFU'da yapılan bütün uzunluk ve açı hesaplamaları Eşitlik 2.1–2.4 yardımı ile yapılmaktadır.

$$|AB| = c = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (2.1)$$

$$|BC| = a = \sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2 + (z_2 - z_3)^2} \quad (2.2)$$

$$|AC| = b = \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2 + (z_1 - z_3)^2} \quad (2.3)$$

$$\theta = \hat{C} = \text{Arccos} \left[ \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \right] \quad (2.4)$$



İç Rotasyon



Dış Rotasyon



Abdüksiyon



Fleksiyon



Ekstansiyon

Şekil 2.21. Egzersizlerde kullanılan iskelet noktaları, üçgenler ve açılar

### 2.3.3 GOFU başlangıç pozisyonları, egzersizlerin kısıtlamaları ve yönlendirmeleri

Fizik tedavi egzersizlerinin başlangıç pozisyonları ayrı birer egzersiz olarak sayılmasa da başlangıç pozisyonları için de vücut kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Bu sebepten hem başlangıç pozisyonları hem egzersizler için GOFU'nun yazılımında geçiş koşulları oluşturulmuştur.

Kullanıcı fizik tedavi egzersizlerinde istenilen açı değerlerine ulaşmaya çalışırken vücut şeklinin belli kısıtlar içinde doğru bir şekil alması gerekmektedir. Fizyoterapistlerin belirlediği ve GOFU'da uygulanan koşullar; gövdenin dik olması, ayakta olunması, iki el arası uzaklık, ellerin vücudun yanında olması, ellerin vücuda dik olması, kameraya doğru sola/sağa dönülmesi, ellerin vücuda dik olması, iki omuzun birine paralel olmasıdır.

Gövdenin dik olması koşulu bütün egzersizler ve başlangıç pozisyonlarında uygulanmaktadır. Şekil 2.22'de gösterildiği gibi; omuzların ortası noktası  $O(O_x, O_y, O_z) \in R^3$ , boyun noktası  $B(B_x, B_y, B_z) \in R^3$  olmak üzere; Eşitlik 2.5 ile hesaplanmaktadır.

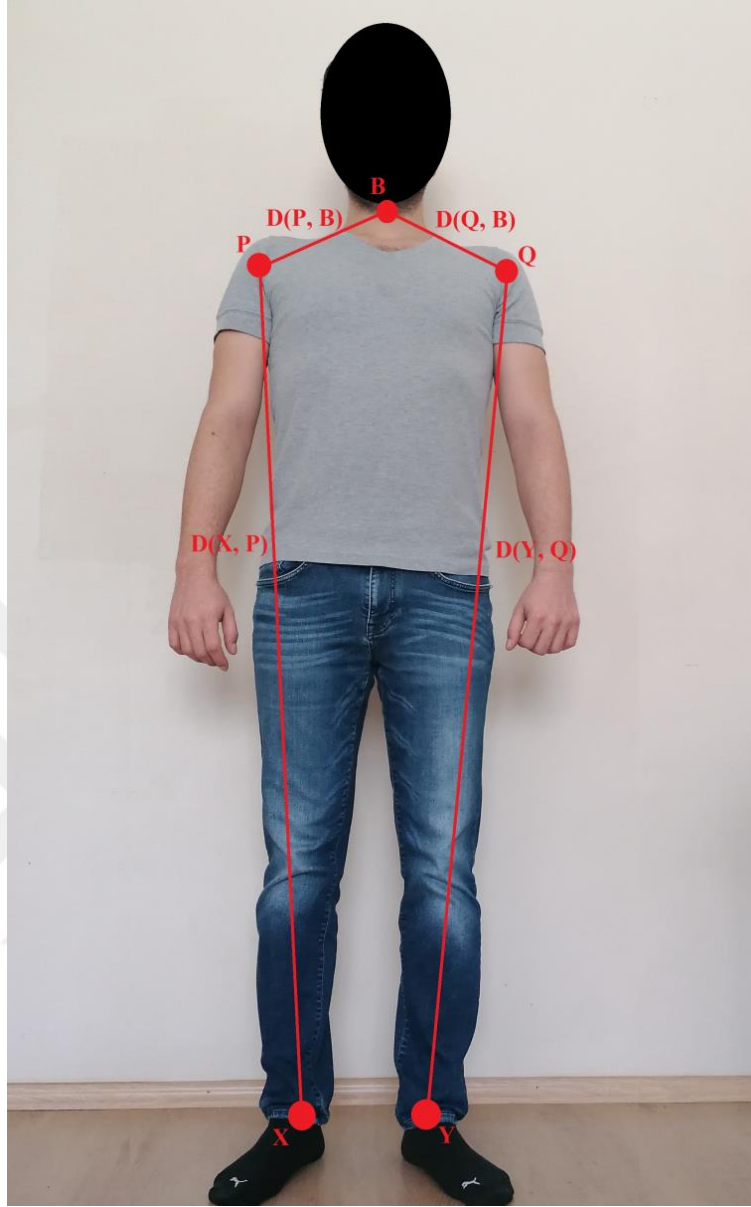
$$|O_x| > |B_x \times 0.7| \wedge |O_x| < |B_x \times 1.3| \wedge |O_z| > |B_z \times 0.95| \wedge |O_z| < |B_z \times 1.05| \quad (2.5)$$



**Şekil 2.22.** Gövde dik kontrolünde kullanılan vücut noktaları

Ayakta olunması kontrolü omuz ekstansiyonu egzersizi ve bu egzersizin başlangıç pozisyonunda kullanılmaktadır. Şekil 2.23’de gösterildiği gibi;  $D$ , Eşitlik 2.1-2.3’de verilen formül ile iki nokta arası uzaklığı bulsun. Sağ ayak bileği noktası  $X$ , sol ayak bileği noktası  $Y$ , omurga sağ noktası  $P$ , omurga sol noktası  $Q$ , Boyun noktası  $B$  olmak üzere karşılanması istenen koşul Eşitlik 2.6’da verilmiştir.

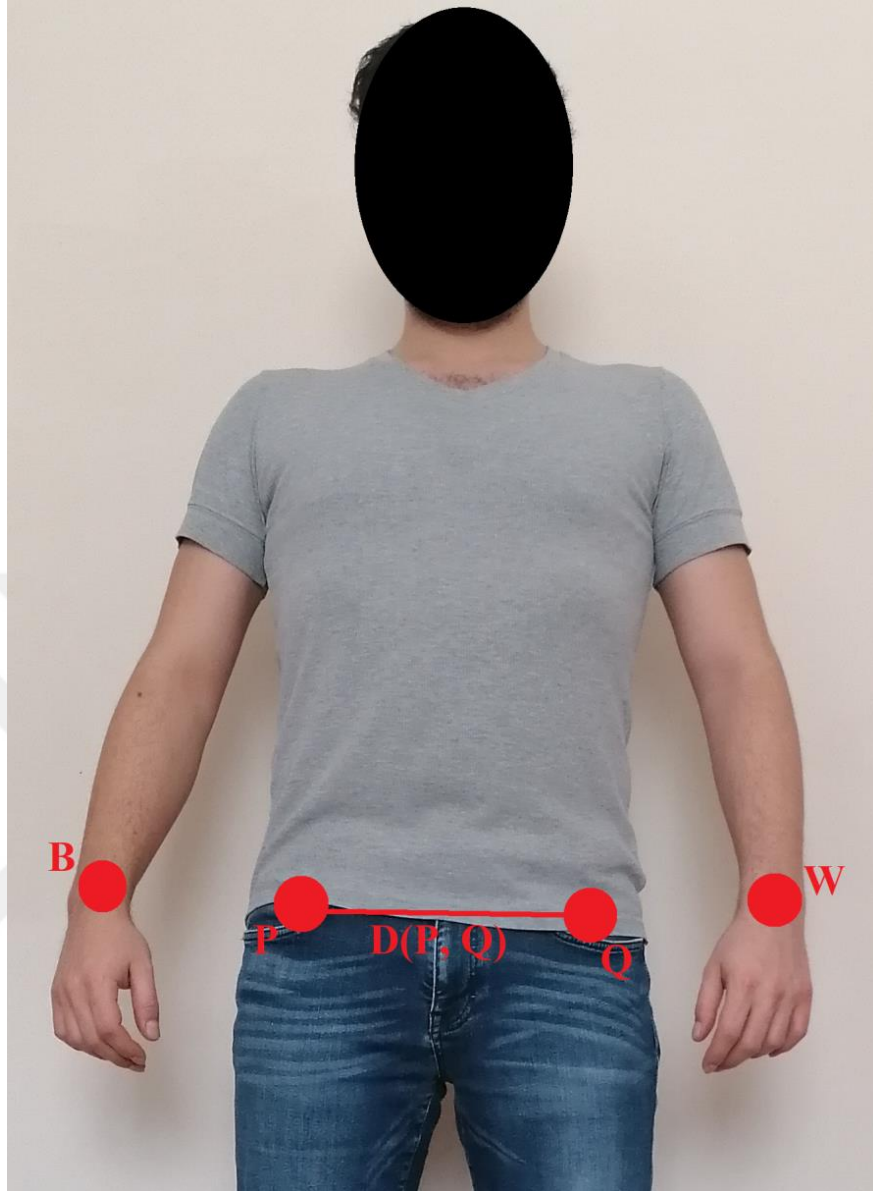
$$D(X, P) \times 0.85 > D(P, B) \wedge D(Y, Q) \times 0.85 > D(Q, B) \quad (2.6)$$



**Şekil 2.23.** Ayakta olunması kontrolünde kullanılan vücut noktaları

İki el arasındaki mesafenin istenilen düzeyde olmasını sağlayan iki el arası uzaklık kontrolü omuz abdüksiyon, fleksiyon, dış rotasyon, iç rotasyon ve bu egzersizlerin başlangıç pozisyonlarında kullanılmaktadır. Şekil 2.24’de gösterildiği gibi;  $D$ , iki nokta arasındaki uzaklık olsun. Sağ bilek noktası  $B(B_x, B_y, B_z) \in R^3$ , sol bilek noktası  $W(W_x, W_y, W_z) \in R^3$ , omurga sağ noktası  $P$ , omurga sol noktası  $Q$  olmak üzere; iki el arasındaki mesafenin istenen düzeyde olması Eşitlik 2.7 ile sağlanmaktadır.

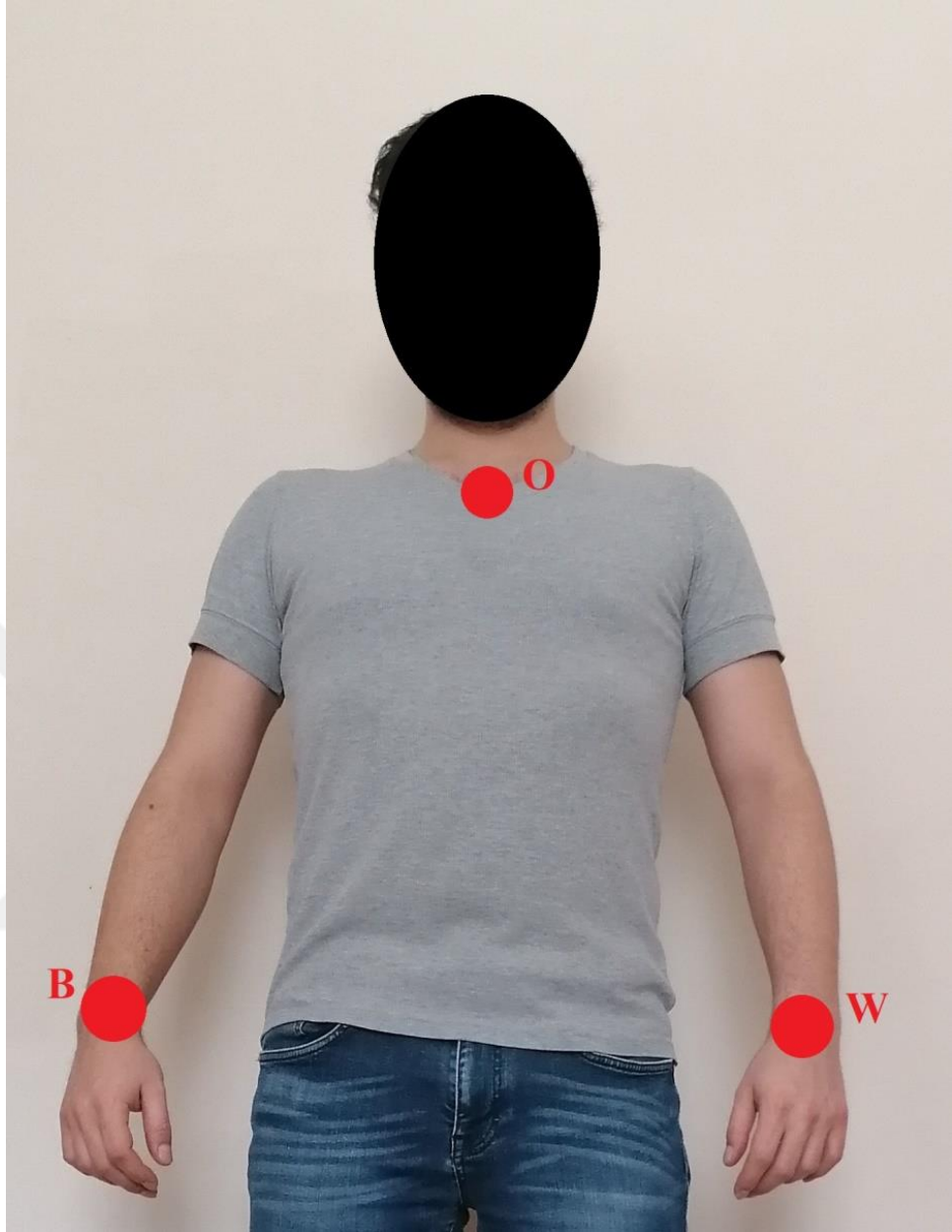
$$|B_x - W_x| > D(P, Q) \times 2.5 \quad (2.7)$$



**Şekil 2.24.** İki el arası uzaklık kontrolünde kullanılan vücut noktaları

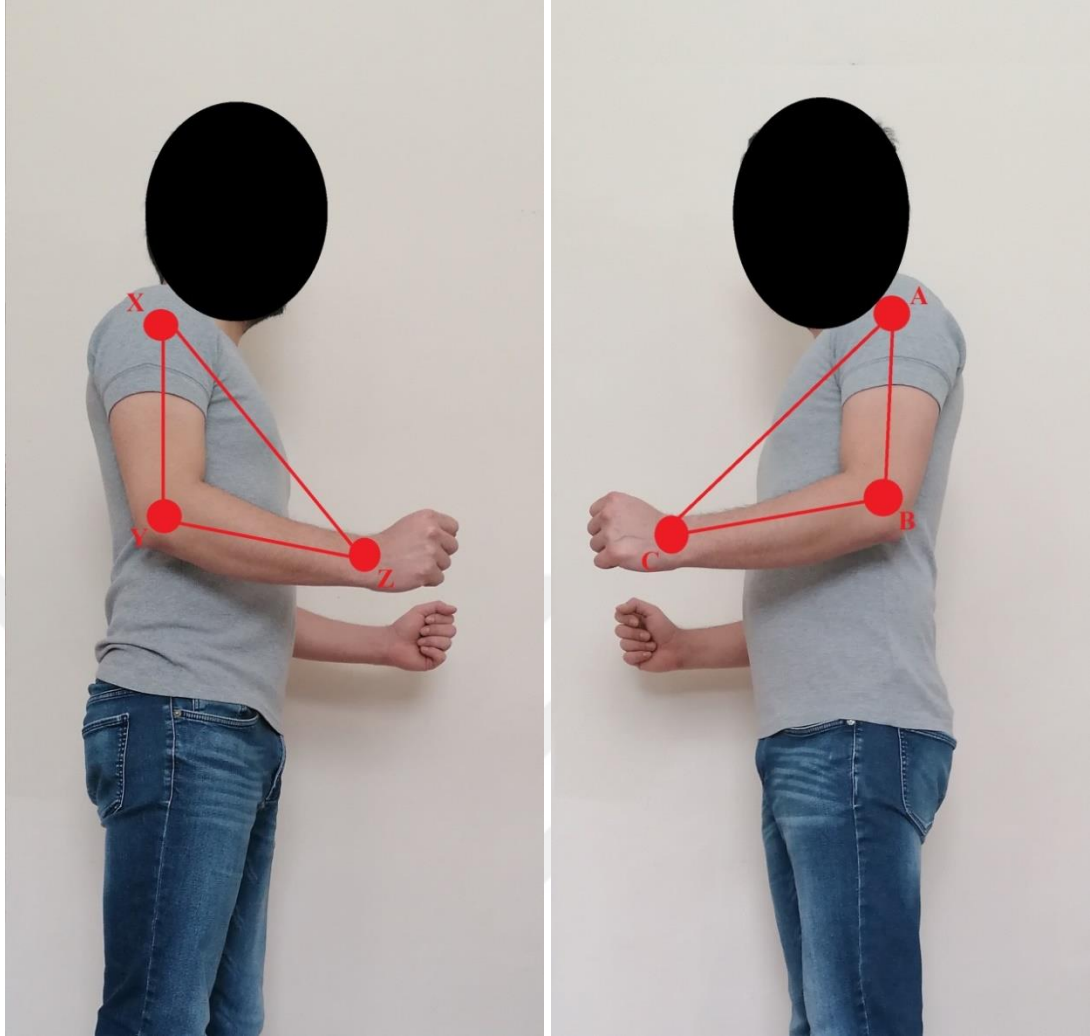
Ellerin vücudun yanında olması kontrolü omuz abdüksiyon, fleksiyon ve bu egzersizlerin başlangıç pozisyonlarında kullanılmaktadır. Şekil 2.25’de gösterildiği gibi Sağ bilek noktası  $B(B_x, B_y, B_z) \in R^3$ , sol bilek noktası  $W(W_x, W_y, W_z) \in R^3$ , Omuz ortası noktası  $O(O_x, O_y, O_z) \in R^3$  olmak üzere; koşulun kontrolü Eşitlik 2.8 ile yapılmaktadır.

$$|B_y| \times 0.33 < |O_y| \wedge |B_y| > |O_y| \times 3 \wedge |W_y| \times 0.33 < |O_y| \wedge |W_y| > |O_y| \times 3 \quad (2.8)$$



**Şekil 2.25.** Ellerin vücudun yanında olması kontrolünde kullanılan vücut noktaları

Ellerin vücuda dik olması kontrolü iç rotasyon, dış rotasyon ve bu egzersizlerin başlangıç pozisyonlarında kullanılmaktadır. Şekil 2.26'da gösterildiği gibi ABC, sol omuz, sol dirsek, sol bilekten oluşan üçgen, XYZ, sağ omuz, sağ dirsek, sağ bilekten oluşan üçgen olmak üzere; ellerin vücuda dik olduğunun kabul edilmesi için  $75^\circ < \widehat{ABC} < 110^\circ$  ve  $75^\circ < \widehat{XYZ} < 110^\circ$  şartlarının sağlanması gerekmektedir.



**Şekil 2.26.** Ellerin vücuda dik olması kontrolünde kullanılan vücut noktaları

Vücudun sağa/sola dönük olması kontrolü ekstansiyon egzersizi ve başlangıç pozisyonunda kullanılmaktadır. Şekil 2.27’de gösterildiği gibi sağ omuz noktası  $A(A_x, A_y, A_z) \in R^3$ , sol omuz noktası  $C(C_x, C_y, C_z) \in R^3$ , boyun noktası  $B(B_x, B_y, B_z) \in R^3$  olmak üzere; kullanıcının kameraya sağ kolunun dönük olması  $|A_x - B_x| < 0.1$  eşitliği ile kullanıcının sol kolunun kameraya dönük olması  $|C_x - B_x| < 0.1$  eşitliği aracılığıyla kontrol edilmektedir.

İki omuzun birbirine paralel olması kontrolü omuz abdüksiyon ve fleksiyon egzersizleri ve başlangıç pozisyonlarında kullanılmaktadır. Şekil 2.27’de gösterildiği gibi sağ omuz noktası  $A(A_x, A_y, A_z) \in R^3$ , sol omuz noktası  $C(C_x, C_y, C_z) \in R^3$  olmak üzere; omuzların paralellliği Eşitlik 2.9 ile sağlanmaktadır.

$$|C_z| \times 0.95 < |A_z| \wedge |C_z| > |A_z| \times 0.95 \quad (2.9)$$



**Şekil 2.27.** Vücudun sağa/sola dönmesi ve omuzun paralel olması kontrollerinde kullanılan vücut noktaları

GOFU’da kullanılan başlangıç pozisyonları ve egzersizlerin kısıtlamalarına ait hata yapıldığında önerilen sistemin verdiği yönlendirmeler ve bu yönlendirmelerin hangi egzersizlerde kullanıldığı Çizelge 2.1’de verilmektedir. Kullanıcı egzersizleri yaparken belirlenen koşullardan herhangi birini sağlamıyor ise, GOFU hesaplanan açı değerlerini yok saymaktadır. Böylece kullanıcının vücudu sadece doğru pozisyondayken yaptığı egzersiz anlam kazanmakta ve değerlendirilmektedir.

**Çizelge 2.1.** GOFU koşullarının uygulandığı pozlar ve yönlendirmeleri

| <b>İstenen Koşul</b>               | <b>Uygulandığı Egzersiz ve Başlangıç Pozisyonları</b>                                               | <b>Koşul yerine getirilmediğinde Yönlendirme</b> |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Gövdenin dik olması                | Tüm egzersizler ve başlangıç pozisyonları                                                           | Gövdenizi Dik Pozisyona Getiriniz                |
| Ayakta olunması                    | Omuz ekstansiyon egzersizi ve başlangıç pozisyonunda                                                | Ayağa kalkınız                                   |
| İki el arası uzaklık               | Omuz abduksiyon, fleksiyon, dış rotasyon, iç rotasyon ve bu egzersizlerin başlangıç pozisyonlarında | Ellerinizi birbirinden uzaklaştırınız            |
| Ellerin vücudun yanında olması     | Omuz abduksiyon, fleksiyon egzersizleri ve bu egzersizlerin başlangıç pozisyonlarında               | Ellerinizi vücudunuzun yanına getiriniz          |
| Ellerin vücuda dik olması          | İç ve dış rotasyon egzersizleri ve bu egzersizlerin başlangıç pozisyonlarında                       | Ellerinizi vücudunuza dik tutunuz                |
| Kameraya doğru sola/sağa dönülmesi | Omuz ekstansiyon egzersizi ve başlangıç pozisyonunda                                                | Sol tarafınızı kameraya dönünüz                  |
| İki omuzun birine paralel olması   | Omuz abduksiyon ve fleksiyon egzersizleri                                                           | Omuzlarınızı paralel konuma getiriniz            |

### 3. GEÇERLİLİK GÜVENİRLİLİK ANALİZLERİ

Geçerlilik, yapılan bir testin ölçmesi gereken şeyi ne düzeyde ölçtüğü olarak tanımlanmıştır. Ölçüm, dış faktörlerden etkilenmeden doğru sonuçlar veriyorsa geçerlidir. Bir ölçüm aleti veya prosedür, sabit ölçüm değerine sahip olan kişilere veya nesnelere sürekli olarak aynı sonuçları veriyorsa güvenilirirdir. Güvenirlilik kavramının iki boyutu vardır: tekrarlanabilirlik (veya zaman içindeki kararlılık) ve iç tutarlılık (veya ölçümün homojenliği) (Thanasegaran, 2003).

Telerehabilitasyon alanında sıklıkla kullanılan Kinect tabanlı sistemlerin, geçerlilik ve güvenirlilik çalışmaları önem taşımaktadır. Literatürde Kinect'in insan iskeleti izleme özelliğinin geçerlilik ve güvenirlilik testleri OptiTrack, Vicon gibi 3D hareket izleme sistemleri (altın standart) veya klinik gonyometre, dijital gonyometre (klinik standart) gibi geleneksel ölçüm cihazları karşılaştırılarak yapılmaktadır. Kinect'in geçerlilik, güvenirliliğini göstermek üzere yapılan çalışmaların çoğu postüral ve denge analizleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalara göre; geçerlilik, güvenirlilik testlerinin örneklemelerinin videolar veya gönüllü denekler olabileceği gözlemlenmiştir. Bu geçerlilik, güvenirlilik çalışmalarının sonucunda Kinect'in başarılı sonuçlara sahip olduğu ve düşük maliyet avantajı ile 3D hareket sistemleri yerine kullanılabileceği öngörülmektedir (Arango Paredes vd., 2015; Clark vd., 2015; Dubois ve Bresciani, 2018; Eltoukhy vd., 2018; Geerse vd., 2015; Latorre vd., 2018; Mentiplay vd., 2015; Otte vd., 2016; Yang vd., 2014). Literatürde postüral ve denge analizlerinin yanı sıra, rehabilitasyon egzersizleri üzerine de Kinect ile yapılmış geçerlilik ve güvenirlilik çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmaların sonuçlarında Kinect'in fizik tedavi egzersizlerinde kullanılabileceği açık bir şekilde gösterilmektedir (Beshara vd., 2016; Huber vd., 2015; Kösesoy vd., 2017; Mishra vd., 2015; Mobini vd., 2015).

Farklı çalışmalar ile Kinect'in geçerliliği ve güvenirliliği analiz edilmiştir. Ancak, çalışmaların sonuçları geliştirilen yazılıma, metodolojilere ve ölçümlere bağlı olarak değişmektedir. Bu sebepten, omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastaların rehabilitasyonları sırasında yaptıkları egzersizlerin, açısal ölçümlerinde Kinect v2'nin yeterliliğini gözlemleyebilmek için bu tez kapsamında geçerlilik ve güvenirlilik analizleri yapılmıştır.

Omuz eklemlerinde limitasyonun azaltılması için abdüksiyon, fleksiyon, ekstansiyon, iç ve dış rotasyon gibi temel egzersizler vardır (Kaltenborn, 2007). Bu tez kapsamında geliştirilen Geliştirilmiş Omuz Fizik Tedavi Uygulamasında (GOFU) kullanılan bu 5 egzersiz için Kinect tabanlı ölçüm sisteminin geçerlilik ve güvenilirlik analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin yapılabilmesi için GOFU'daki ölçüm yöntemlerini bire bir kullanan yeni bir Windows sunum form (WPF: Windows Presentation Form) uygulaması (Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi) geliştirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı bölgede 3D hareket izleme sistemleri olmadığından Kinect v2, klinik standarta sahip klinik ve dijital gonyometre ile karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde, geçerlilik, güvenilirlik testlerine gönüllü olan katılımcıların demografik özellikleri, kullanılan ölçüm yöntemleri, geçerlilik ve güvenilirlik analizleri için geliştirilen uygulamanın özellikleri, çalışmaların istatistiksel analizleri, ölçüm sonuçları, geçerlilik ve güvenilirlik sonuçları açıklanmaktadır.

### 3.1 Katılımcılar

Kinect v2 tabanlı ölçüm sisteminin geçerlilik güvenilirlik analizi çalışmasına 40 sağlıklı gönüllü katılmıştır. Gönüllülerin yaş ortalamaları ve standart sapması;  $22.08 \pm 3.11$  yıl, boy ortalamaları ve standart sapması;  $170.85 \pm 8.78$  cm, ağırlık ortalamaları ve standart sapması;  $68.75 \pm 15.85$  kg'dır. Katılımcıların 22 tanesi erkek olmak üzere, erkek gönüllülerin yaş ortalamaları ve standart sapması;  $21.73 \pm 2.16$  yıl, boy ortalamaları ve standart sapması;  $176.64 \pm 6.76$  cm, ağırlık ortalamaları ve standart sapması;  $75.18 \pm 14.82$  kg'dır. Katılımcılardan 18 kadın gönüllünün yaş ortalamaları ve standart sapması;  $22.50 \pm 4.00$  yıl, boy ortalamaları ve standart sapması;  $163.78 \pm 4.91$  cm, ağırlık ortalamaları ve standart sapması  $60.89 \pm 13.65$  kg'dır.

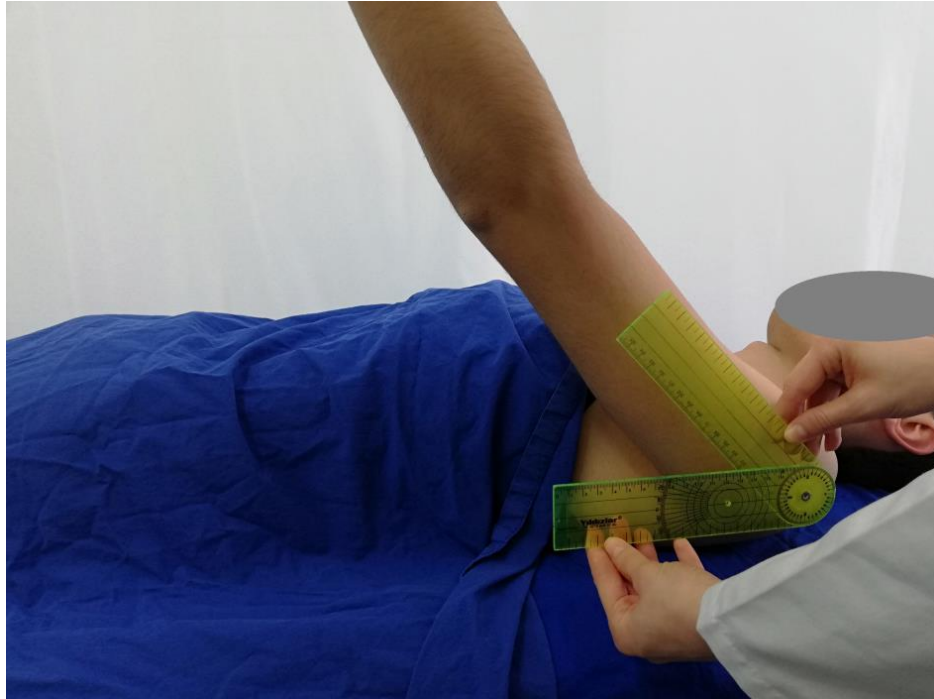
Testler 5 ayrı seansta olmak üzere toplam 3 günde tamamlanmıştır. Her katılımcı toplam 3 seansa farklı günlerde katılmıştır. Literatürde yapılan geçerlilik, güvenilirlik testlerinin birçoğunda bu testlerin 2 seansta yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında hem olası veri kayıplarının tolere edilebilmesi hem de sonuçların güvenilirliğini arttırmak için her katılımcının 2 yerine 3 farklı zamanda ölçümleri yapılmıştır.

### 3.2 Yöntemler

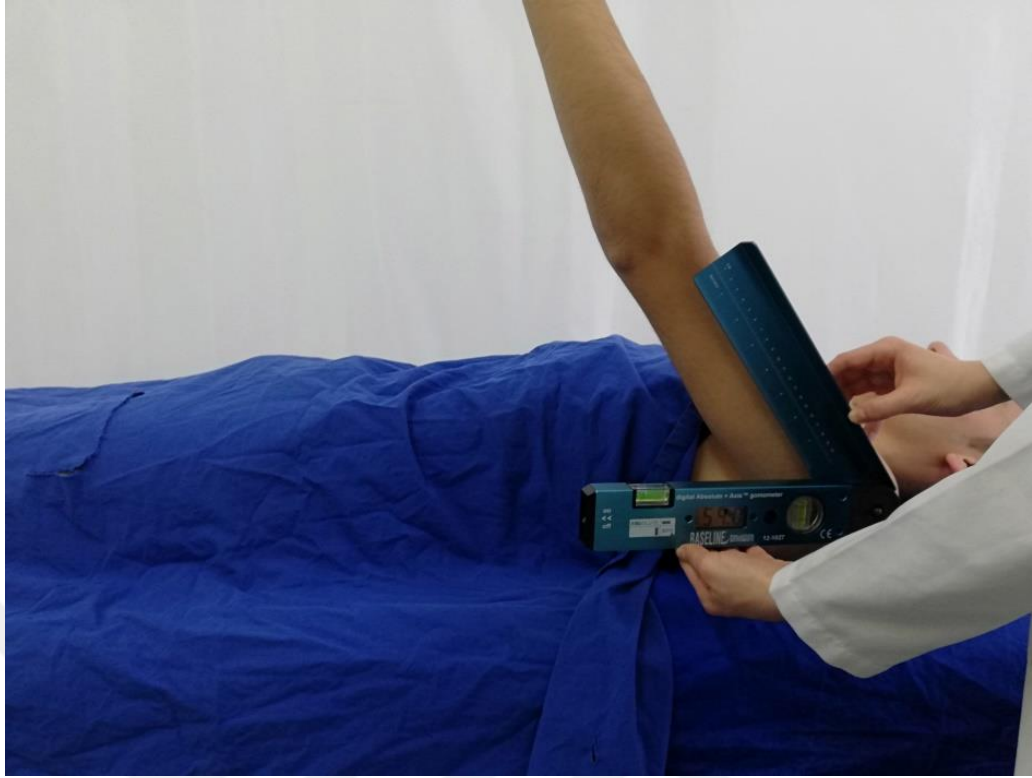
Bu çalışmada omuz hareketleri için üç ölçüm yöntemi kullanıldı. İlk ölçüm yönteminde iki ayarlanabilir üst üste binen kollu standart 12 inç, 360 ° gonyometre (Yıldızlar, Türkiye) klinik gonyometre olarak kullanıldı. İkinci ölçüm yöntemi olarak dijital gonyometre kullanılmıştır (Baseline, 12-1027). Kullanılan dijital gonyometre, dereceleri 0.1° hassasiyetle ölçebilmektedir. Katılımcıların ölçümünde, gonyometrenin sabit ölçüm kolu, gönüllülerin toraksının orta çizgisine paralel yerleştirilerek, hareketli kol ise humerus ve lateral epikondilin mili ile hizalanarak kullanıldı (Norkin ve White, 2016). Katılımcıların pozisyonu için tüm talimatlar klinik ve dijital gonyometre ölçümlerinde aynı olacak şekilde gerçekleştirildi.

Üçüncü ölçüm yöntemi olarak da Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi kullanıldı. 3. Yöntemde katılımcılar Kinect v2'ye yaklaşık 2.5 metre uzaklıkta konumlandırıldı. Her üç yöntemde de katılımcılar fizik tedavi uzmanı talimatları ile yönlendirildi.

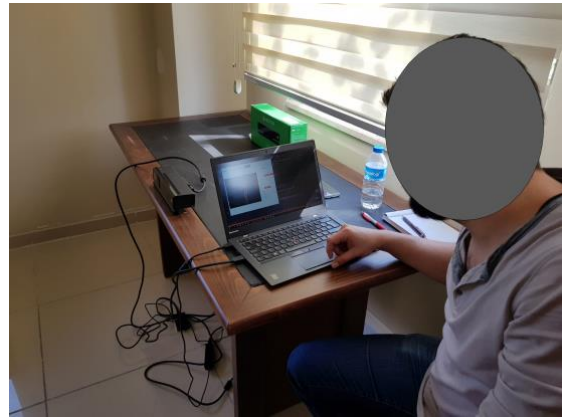
Şekil 3.1 klinik gonyometre, Şekil 3.2 dijital gonyometre ve Şekil 3.3 Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi ile yapılan hareket açıklığı ölçümleri sırasında çekilen fotoğraflardır.



**Şekil 3.1.** Klinik gonyometre ile hareket açıklığı ölçümü



**Şekil 3.2.** Dijital gonyometre ile hareket açıklığı ölçümü



**Şekil 3.3.** Kinect v2 tabanlı ölçüm sistemi ile hareket açıklığı ölçümü

Test edilen 3 yöntemin tümü için, çalışmaya katılan bütün katılımcılardan yapabilecekleri en yüksek açı değerlerine ulaşmaları istenmiştir. 1. Ve 2. Yöntemde (klinik gonyometre ve dijital gonyometre ölçümleri) gönüllülerin yapabildikleri en yüksek açılar not edilerek kayıt altına alınmıştır. 3. Yöntemde (Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi) ise ölçüm sonuçları geliştirilen yazılımla otomatik olarak

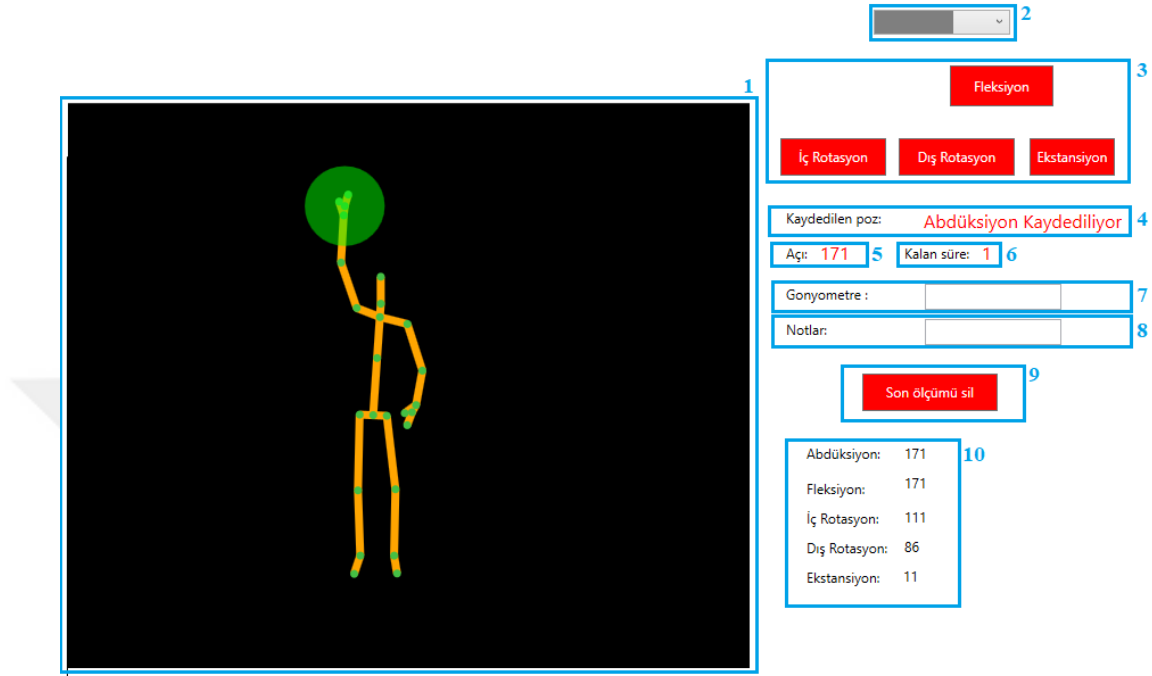
kaydedilmiştir. Bu işlem için fizik tedavi uzmanının onaylaması ile toplam 3 saniye içinde 90 ölçüm alınarak en yüksek açı kayıt altına alınmıştır.

### 3.3 Kinect v2 Tabanlı Omuz Hareketi İzleme Sistemi

Geçerlilik, güvenirlik testlerinde kullanılmak üzere gönüllülerin omuz pozisyonlarının açılarını ölçmek amacıyla bir yazılım geliştirilmiştir. Kinect v2'nin bilgisayarda çalışması için en düşük sistem gereksinimleri çift çekirdekli 3.2GHZ işlemci, 2 GB Ram sahip bir bilgisayar ile .Net Framework 4.0, Microsoft Visual Studio 2012 yazılımlarıdır. Geliştirilen yazılımda Kinect SDK 2.0 kullanılmıştır. Yazılım, Visual Studio 2015 ortamında Windows sunum form (WPF) olarak, C# yazılım diliyle geliştirilmiştir. Kinect 2.0 SDK Windows 8 ve üstü işletim sisteminde çalışabilmektedir. Geliştirilen yazılım Windows 10 işletim sisteminde çalıştırılmıştır.

Geliştirilen sistem, omuz hasarlı, kas ve tendon hastalarının tedavilerinde uygulanan abduksiyon, fleksiyon, iç rotasyon, dış rotasyon, ekstansiyon egzersizlerinin açısal ölçümlerinin hepsini aynı anda yapabilmektedir. Bu sistemde, kullanıcının Kinect v2'nin görüş açısına girmesiyle birlikte omuz tedavisinde kullanılan 5 egzersizin açısal ölçümlerini yapmaya başlamaktadır. Arayüzden ilk olarak ilgili gönüllü seçilir ve kullanıcı fizik tedavi uzmanının yönlendirmeleri ile istenilen egzersizi yapmaya başlar. Kullanıcı yapabileceği en yüksek açı değerine ulaştığında arayüzden ilgili egzersizin butonuna tıklanır. Sistem 3 saniye boyunca (toplam 90 defa) açısal ölçümleri yapar ve en yüksek değeri kaydeder. Herhangi bir sebepten kullanıcı Kinect'in görüş açısından çıkarsa sistem kayıt yapmayı durdurur. Tüm egzersizler için bu döngü tekrarlanır. Geliştirilen sistemin kullanıcı grafik arayüz görüntüsü Şekil 3.4'de verilmiştir. Şekil 3.4'de gösterilen 1 numaralı bölümde kullanıcının hareketleri Kinect v2 ile alınan görüntü sayesinde 25 eklem noktası temel alınarak modellenmektedir. 2 ile gösterilen bölümde kayıtlı kullanıcılar listelenmektedir. Bu bölümden egzersizi yapan kişi seçilerek o kullanıcı ile ilgili kayıt işlemlerinin yapılması sağlanmaktadır. 3. Bölümde ise egzersiz isimlerinin yazdığı butonlar bulunmaktadır. Bu butonlardan birine basıldığında o egzersizle ilgili kayıt işlemi başlamış olur ve 3 saniye boyunca kayıt işlemi devam eder. Bilgisayar başındaki operatörün hata yapmaması için kaydına başlanan egzersize ait buton arayüzden kaldırılmaktadır. Operatör yeni bir kullanıcı seçtikten sonra tüm butonlar tekrar arayüze getirilmektedir. 4 numara ile gösterilen bölümde o an için kaydedilen egzersiz belirtilmekte, 5 numaralı bölümde, kullanıcının

kayıt yapılan egzersizi için anlık açısal değeri gösterilmekte, 6 numaralı bölümde ise kayıt işleminin bitirilmesine kalan süre görüntülenmektedir.



**Şekil 3.4.** Kinect v2 tabanlı GOFU sisteminin geçerlilik ve güvenilirlik analizi için geliştirilen grafik arayüzü

7 numaralı bölüme egzersizi yapan kullanıcının gonyometre ölçüm sonuçları girilebilmekte, 8 numaralı bölüme operatörün eklemek istediği bir not var ise bu notlar girilebilmektedir. Oluşabilecek hatalar için 9 numaralı bölüme son kaydedilen değerlerin silinebileceği bir kısayol butonu eklenmiştir. 10 numaralı son bölümde kullanıcın 5 egzersizin tümü için belirlenmiş açısal ölçümlerin anlık olarak sonuçları görüntülenmektedir.

Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemindeki tüm açısal hesaplamalar GOFU ile aynı olacak şekilde yapılmıştır. Bu açısal ölçümlerin hesaplamaları detaylı olarak bir önceki bölümde anlatılmaktadır.

### 3.4 İstatiksel Analiz

Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sisteminden alınan verilerin istatistiksel analizlerinin yapılması için SPSS sürüm 21 ve Minitab 18 (30 günlük deneme sürümü) yazılımları kullanılmıştır. Elde edilen verilerin dağılımlarının normallik testleri için

Anderson-Darling ( $p < 0.005$ ) testi kullanılmıştır. Anderson-Darling testinin sonuçlarına göre veriler normal dağılım göstermemektedir. Bu sebeple geçerlilik ve güvenilirlik analizleri için parametrik olmayan istatistik testleri kullanılmıştır.

Bu testlerde Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sisteminin güvenilirliği, iki yönlü karşılaştırma yapabilmek ve ölçümler birden fazla olduğu için, sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC: Intraclass Correlation Coefficient) model (3,k) kullanılarak bulunmuştur. ICC değerleri 0.20'nin altında olduğunda 'zayıf', 0.21-0.40 aralığındaki değerler için kötü, 0.41 ve 0.60 aralığındaki değerler için 'orta', 0.61-0.80 aralığındaki değerler için 'iyi' ve 0.81 ve 1.00 arasındaki değerler için 'çok iyi' olarak değerlendirilir (Fleiss, 2011; Landis ve Koch, 1977; Li vd., 2015; Shrout ve Fleiss, 1979; Zaki vd., 2012). Mutlak güvenilirliği göstermek için standart ölçüm hatası (SEM: Standard Error of Measurement) ve minimum saptanabilir değişiklik (MDC: Minimal Detectable Change) kullanılmıştır. SEM ve MDC değerleri Eşitlik 3.1 ve 3.2'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır, standart sapma (Std) ile gösterilmiştir (Stratford, Binkley ve Riddle, 1996; Stratford, Binkley, Solomon, vd., 1996).

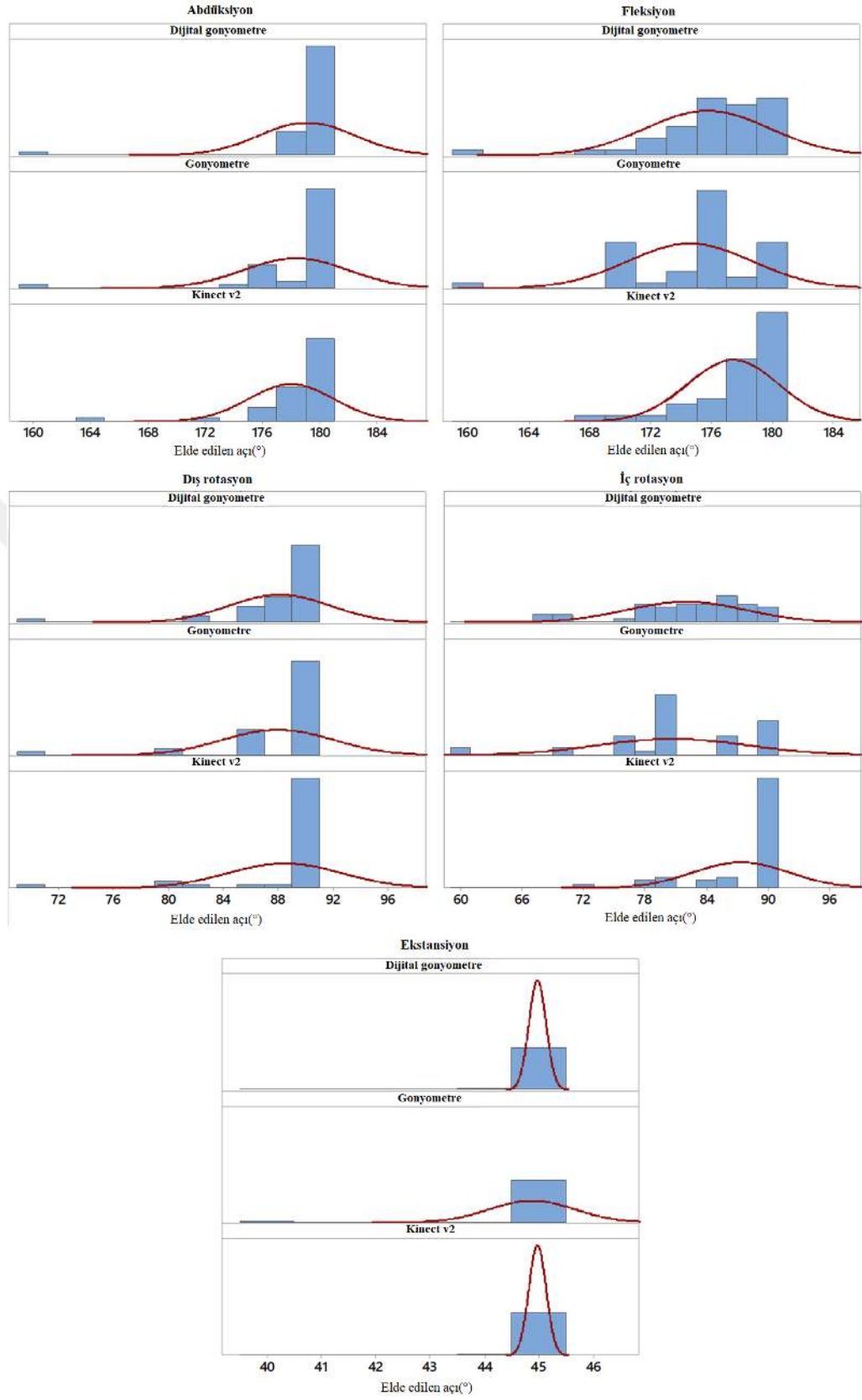
$$SEM = Std \times \sqrt{1 - ICC} \quad (3.1)$$

$$MDC = SEM \times \sqrt{2} \times 1.96 \quad (3.2)$$

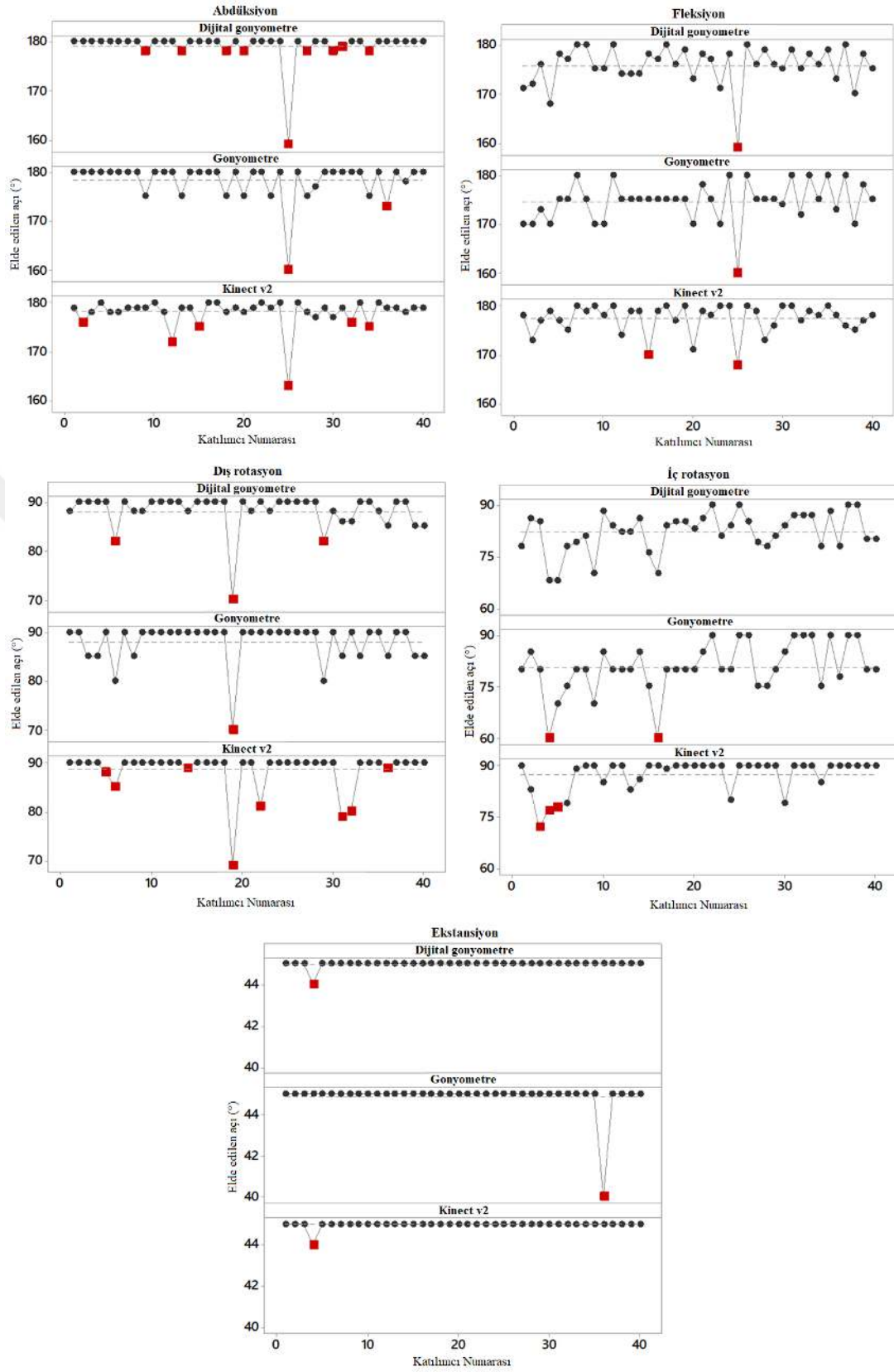
Sistemin geçerliliği için Bland-Altman analizi yapıldı. Sistemin beş omuz pozunu için yapmış olduğu ölçümlerin, klinik ve dijital gonyometreler üzerindeki mutlak doğruluğunu göstermek için kabul sınırları (LOA: Limits Of Agreement) ve ortalama hata metrikleri kullanılmıştır.

### 3.4.1 Omuz pozları verileri

Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi, klinik gonyometre ve dijital gonyometre kullanılarak tüm kullanıcıların omuz abduksiyon, fleksiyon, iç rotasyon, dış rotasyon, ekstansiyon pozlarının hareket açıklığı verileri elde edilmiştir. Şekil 3.5'de verilerin dağılımını göstermek için 5 egzersize ait çubuk grafikleri verilmiştir. Şekil 3.6'da ise katılımcıların her poz için tüm yöntemlerle elde ettiği hareket açıklığı verileri gösterilmektedir. Şekil 3.6'da kırmızı ile gösterilen değerler genel dağılıma aykırı olan değerleri ifade etmektedir. Şekil 3.5 ve 3.6'daki çizimler Minitab programının özet rapor özelliği kullanılarak elde edilmiştir.



**Şekil 3.5.** Geçerlilik ve güvenilirlik için alınan omuz poz verilerinin istatistiksel dağılımı



**Şekil 3.6.** Geçerlilik ve güvenirlik için alınan omuz poz verilerinin katılımcılara göre dağılımı

Çizelgel 3.1’de geçerlilik, güvenilirlik çalışmasında kullanılan ölçüm yöntemleri ile elde edilen verilerin istatistiksel özellikleri verilmiştir. Ortalama hata O. Hata, standart sapma Std, ölçümlerin ortalaması Ort. Olarak ifade edilmiştir. Q1 değerleri, veri kümesi düşük dereceden yüksek dereceye doğru sıralandıktan sonra, veri kümesinin ilk yarısında kalan değerlerin ortancasını, Q3 değeri ise veri kümesinin ikinci yarısında bölümün ortanca değerini göstermektedir. Yani, veriler küçükten büyüğe doğru sıralandıktan sonra, veri kümelerinde kırkar değer bulunduğu için, Q1 10. Değere, Q3 30. Değere karşılık gelmektedir.

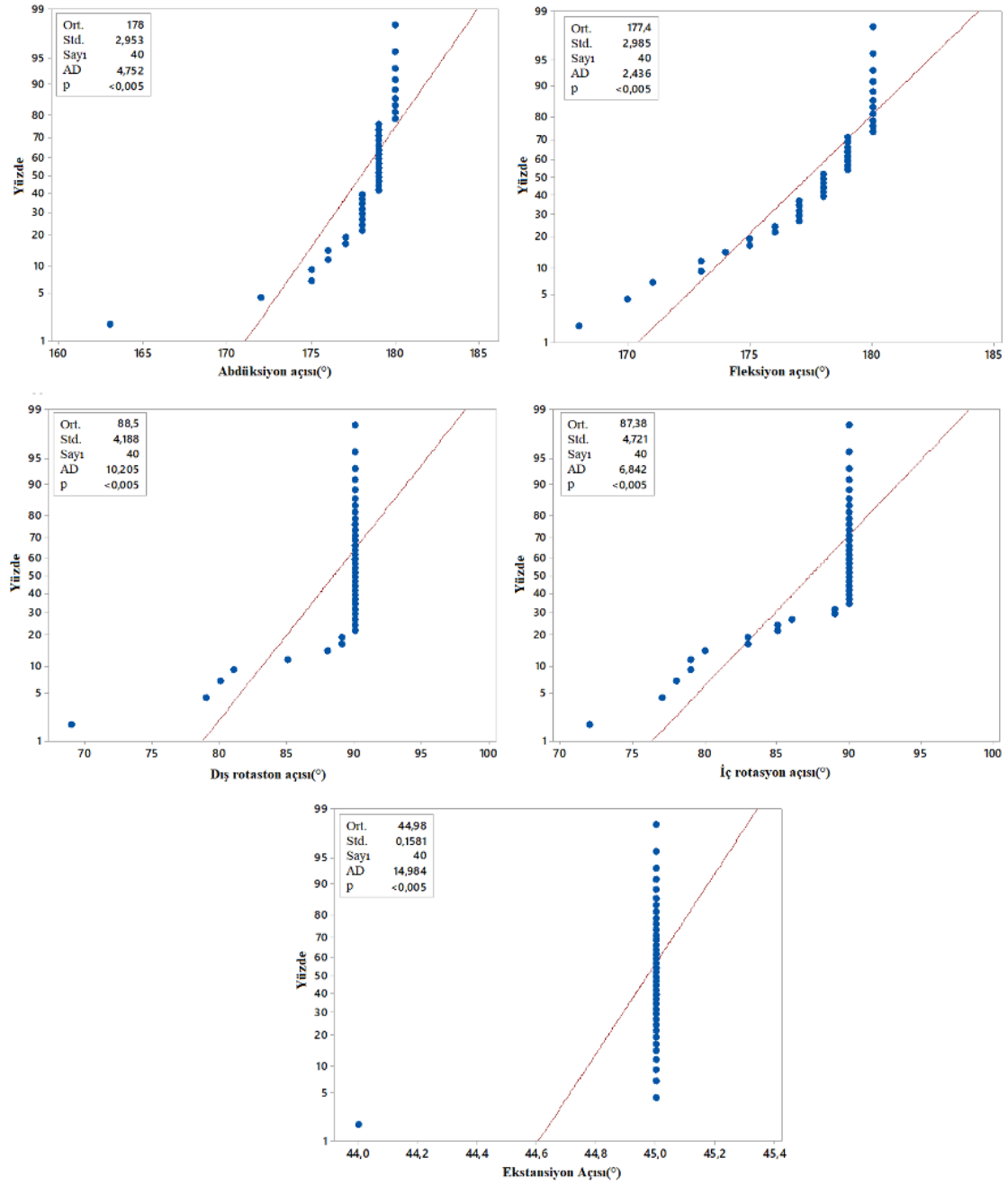
**Çizelge 3.1.** Geçerlilik ve güvenilirlik analizi için alınan ölçümleri

|              | Yöntem          | Ort.    | O. hata | Std   | En düşük | Q1      | Medyan  | Q3      | En yüksek |
|--------------|-----------------|---------|---------|-------|----------|---------|---------|---------|-----------|
| Abdüksiyon   | Dij. Gonyometre | 179.10° | 0.530°  | 3.35° | 159.00°  | 180.00° | 180.00° | 180.00° | 180.00°   |
|              | Gonyometre      | 178.32° | 0.580°  | 3.67° | 160.00°  | 177.25° | 180.00° | 180.00° | 180.00°   |
|              | Kinect v2       | 178.00° | 0.467°  | 2.95° | 163.00°  | 178.00° | 179.00° | 179.00° | 180.00°   |
| Fleksiyon    | Dij. Gonyometre | 175.72° | 0.643°  | 4.07° | 159.00°  | 174.00° | 176.00° | 178.75° | 180.00°   |
|              | Gonyometre      | 174.57° | 0.647°  | 4.09° | 160.00°  | 172.25° | 175.00° | 177.25° | 180.00°   |
|              | Kinect v2       | 177.40° | 0.472°  | 2.99° | 168.00°  | 176.25° | 178.00° | 180.00° | 180.00°   |
| Dış Rotasyon | Dij. Gonyometre | 88.13°  | 0.58°   | 3.67° | 70.00°   | 88.00°  | 90.00°  | 90.00°  | 90.00°    |
|              | Gonyometre      | 88.00°  | 0.64°   | 4.05° | 70.00°   | 85.00°  | 90.00°  | 90.00°  | 90.00°    |
|              | Kinect v2       | 88.50°  | 0.66°   | 4.19° | 69.00°   | 90.00°  | 90.00°  | 90.00°  | 90.00°    |
| İç Rotasyon  | Dij. Gonyometre | 82.03°  | 0.92°   | 5.84° | 68.00°   | 78.25°  | 83.50°  | 86.00°  | 90.00°    |
|              | Gonyometre      | 80.70°  | 1.17°   | 7.40° | 60.00°   | 78.50°  | 80.00°  | 85.00°  | 90.00°    |
|              | Kinect v2       | 87.38°  | 0.75°   | 4.72° | 72.00°   | 85.25°  | 90.00°  | 90.00°  | 90.00°    |
| Ekstansiyon  | Dij. Gonyometre | 44.98°  | 0.03°   | 0.16° | 44.00°   | 45.00°  | 45.00°  | 45.00°  | 45.00°    |
|              | Gonyometre      | 44.88°  | 0.13°   | 0.79° | 40.00°   | 45.00°  | 45.00°  | 45.00°  | 45.00°    |
|              | Kinect v2       | 44.98°  | 0.03°   | 0.16° | 44.00°   | 45.00°  | 45.00°  | 45.00°  | 45.00°    |

Çizelgel 3.1’de verilen sonuçlara göre; ortalama değerlerde Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi ölçüm sonuçlarının, abdüksiyon ve dış rotasyon pozu için diğer iki ölçüm yöntemine yakın, fleksiyon ve iç rotasyon pozu için dijital gonyometreye daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Ekstansiyon pozu ölçümlerinde çoğu kullanıcının ölçüm sonucu 45° olduğu için 3 yöntemin ortalama

sonuçları birbirine çok yakın çıkmıştır. Ortalama değer sonuçlarında abdüksiyon pozu hariç diğer 4 pozda da Kinect v2 ile alınan ölçümlerin, dijital gonyometre ve klinik gonyometreye göre daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. En düşük ölçüm sonuçlarına bakıldığında abdüksiyon pozu için Kinect v2 ile alınan ölçümün dijital gonyometreden 4, klinik gonyometreden 3 derece yüksek, fleksiyon pozu için Kinect v2 ile alınan ölçümün dijital gonyometreden 9, klinik gonyometreden 8 derece yüksek, dış rotasyon pozu için Kinect v2 ile alınan ölçümün dijital gonyometreden ve klinik gonyometreden 1 derece düşük, iç rotasyon pozu için Kinect v2 ile alınan ölçümün dijital gonyometreden 4, klinik gonyometreden 12 derece fazla, ekstansiyon pozu için Kinect v2 ile alınan ölçümün dijital gonyometre ile eşit, klinik gonyometreden 4 derece fazla olduğu görülmektedir. En yüksek ölçüm değerlerine bakıldığında 3 ölçüm yöntemi ile de her poz için en yüksek değerlerin ölçüldüğü görülmektedir.

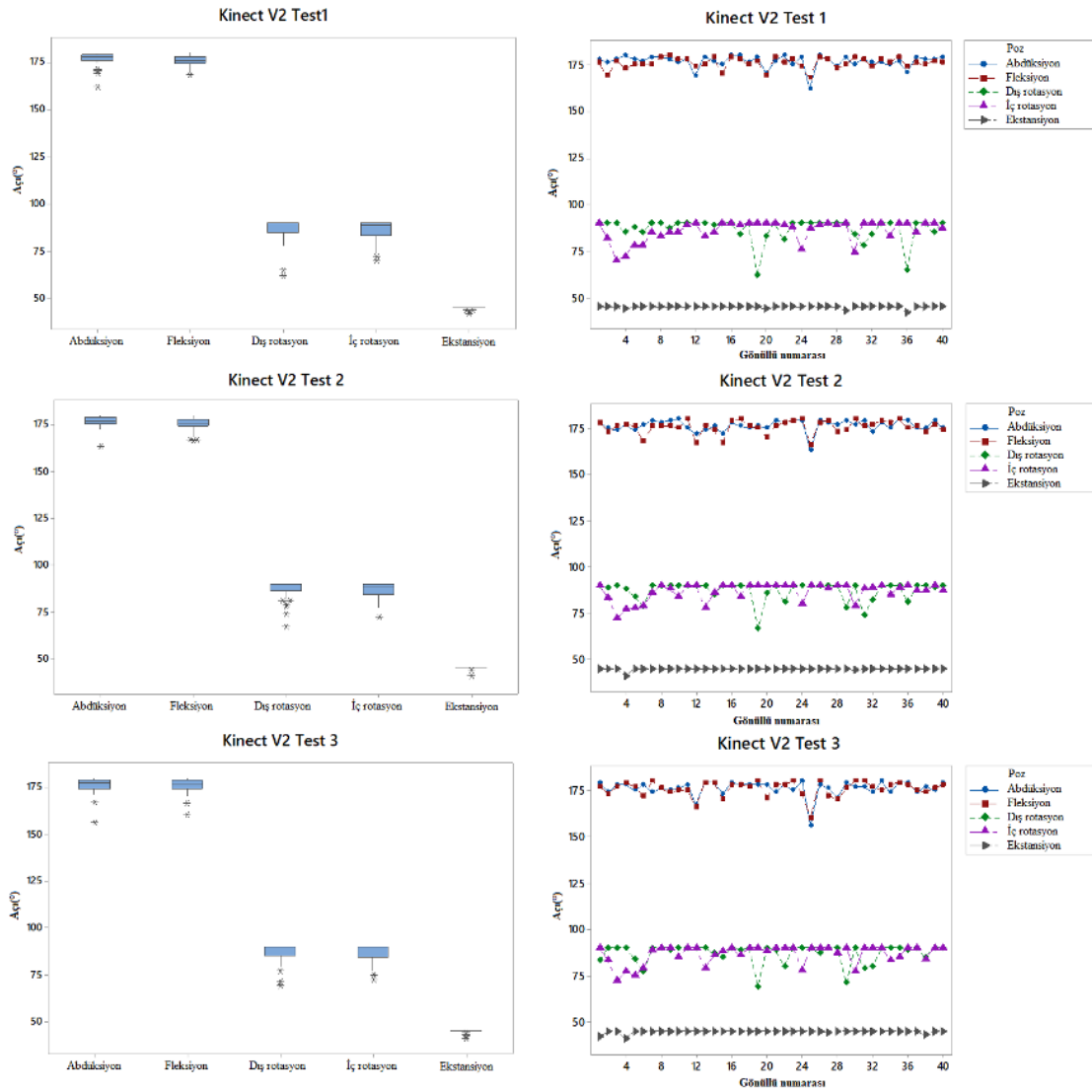
Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sisteminin güvenilirlik testlerinde kullanılacak istatistik yöntemlerinin belirlenmesi için öncelikle alınan verilerinin dağılımı incelenmiştir. Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sisteminin verileri Anderson-Darling normallik testine ( $p < 0.005$ ) göre değerlendirilmiştir. Test sonuçlarına göre verilerin normal olarak dağılım göstermediği sonucuna varılmıştır ve bu nedenle parametrik olmayan istatistik yöntemleri kullanılmıştır. Şekil 3.7, tüm omuz pozları için Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sisteminin verilerinin Anderson-Darling normallik testi sonuçlarını göstermektedir.



**Şekil 3.7.** Anderson-Darling normallik testi kullanılarak Kinect verilerinin normallik analizi sonuçları.

### 3.4.2 Güvenirlilik sonuçları

Güvenirlilik analizi için Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi ile tüm katılımcılardan üçer kez ölçüm alınmış ve bu değerler test edilmiştir. Şekil 3.8’de tüm omuz pozları için elde edilen açısal veriler kutu ve çizgi grafiği olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kinect v2 tabanlı ölçüm sistemi ile elde edilen tekrarlı omuz açısı değerleri

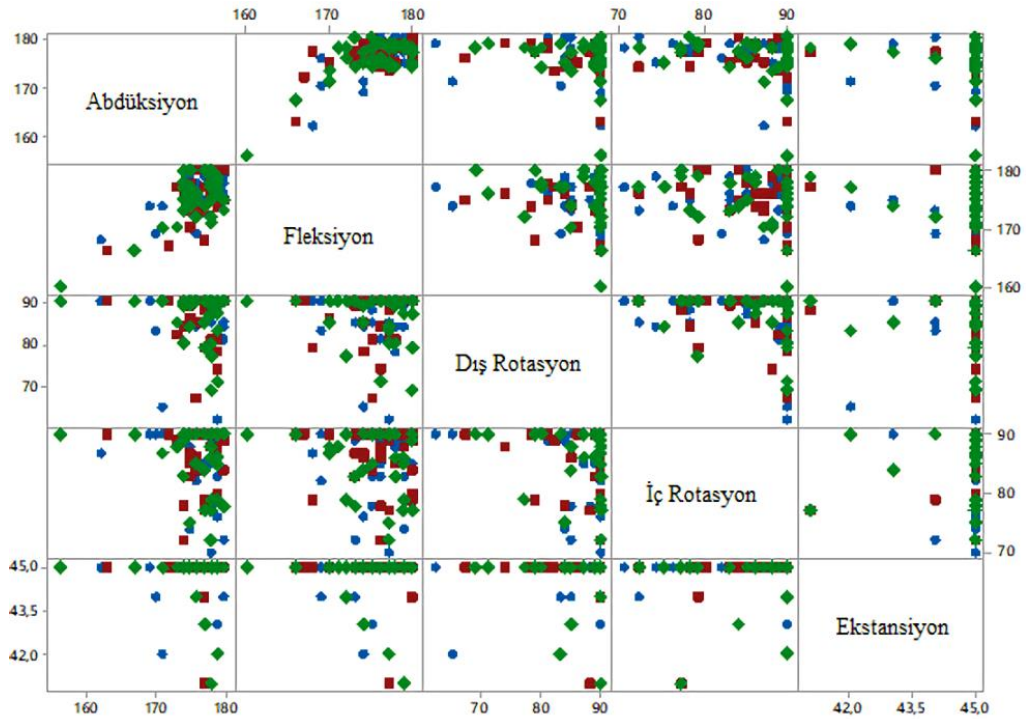
Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sisteminin güvenilirliğinin sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Bu çizelgede omuz açılarının ortalama, standart sapma (Std), sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC), standart ölçüm hatası (SEM) ve minimum saptanabilir değişiklik (MDC) değerleri gösterilmektedir. ICC sonuçlarına göre, Kinect

v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi abdüksiyon, fleksiyon, iç rotasyon ve dış rotasyon ‘çok iyi’ derecede güvenilirliğe sahip iken ekstansiyon pozu için ‘iyi’ derecede güvenilirliğe sahip olduğu görülmektedir. SEM ve MDC metrikleri açısından, elde edilen küçük değerler nedeniyle tüm pozlar için iyi güvenilirlik sonuçları elde edilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Kinect v2 tabanlı ölçüm sisteminin güvenilirlik sonuçları.

|              | ICC <sub>(3,k)</sub> | Ortalama | Std    | SEM   | MDC   |
|--------------|----------------------|----------|--------|-------|-------|
| Abdüksiyon   | 0.861                | 176.38°  | 3.620° | 1.35° | 3.74° |
| Fleksiyon    | 0.851                | 175.72°  | 3.620° | 1.40° | 3.87° |
| Dış Rotasyon | 0.874                | 87.133°  | 5.577° | 1.98° | 5.49° |
| İç Rotasyon  | 0.965                | 86.833°  | 5.109° | 0.96° | 2.65° |
| Ekstansiyon  | 0.620                | 44.817°  | 0.698° | 0.43° | 1.19° |

Şekil 3.9’da Kinect v2 tekrar ölçümleri arasındaki ilişkiyi göstermek için matris grafiği verilmiştir. Bu şekildeki mavi noktalar Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi ile alınan 1. Ölçümleri, kırmızı noktalar 2. Ölçümleri ve yeşil noktalar 3. Ölçümleri ifade etmektedir.



**Şekil 3.9.** Güvenirlilik sonucu: omuz pozlarının üç tekrarı için matris çizimi

Elde edilen sonuçlar, Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sisteminin abdüksiyon, fleksiyon, iç rotasyon, dış rotasyon pozları için çok iyi güvenilirliğe sahip olduğunu ve ekstansiyon pozu için iyi güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir. Ekstansiyon pozunun ICC(3,k) sonucu 0.620 olarak elde edilmiştir. Ekstansiyon pozunun güvenilirlik düzeyinin diğer pozlardan daha düşük çıkmasının nedeninin, testlerde sağlıklı gönüllülerin kullanılması ve bu gönüllülerin 39/40'mın ekstansiyon omuz pozu için en yüksek değere ( $45^\circ$ ) ulaşmaları olduğu gözlemlenmiştir.

### 3.4.3 Geçerlilik sonuçları

Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sisteminin geçerliliğini göstermek için, %95 LOA hesaplaması; Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi, klinik gonyometre ve dijital gonyometre ile beş omuz pozu için alınan ölçümler için yapılmıştır. Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi ile klinik gonyometre ve dijital gonyometre arasındaki geçerlilik sonuçları Çizelge 3.3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Klinik gonyometre, dijital gonyometre ve Kinect v2 kullanılarak elde edilen omuz eklemi verilerinin Bland-Altman analiz sonucu.

|              | Klinik Gonyometre – Kinect v2 |                             | Dijital Gonyometre – Kinect v2 |                             |
|--------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
|              | Ort. Sapma                    | 95% LOA                     | Ort. Sapma                     | 95% LOA                     |
| Abdüksiyon   | $0.33^\circ$                  | $-4.86^\circ - 5.51^\circ$  | $1.10^\circ$                   | $-2.63^\circ - 4.83^\circ$  |
| Fleksiyon    | $-2.83^\circ$                 | $-9.88^\circ - 4.23^\circ$  | $-1.63^\circ$                  | $-9.03^\circ - 5.68^\circ$  |
| Dış Rotasyon | $-0.50^\circ$                 | $-7.55^\circ - 6.55^\circ$  | $-0.38^\circ$                  | $-6.11^\circ - 5.36^\circ$  |
| İç Rotasyon  | $-6.67^\circ$                 | $-21.42^\circ - 8.07^\circ$ | $-5.35^\circ$                  | $-18.30^\circ - 7.60^\circ$ |
| Ekstansiyon  | $-0.10^\circ$                 | $-1.69^\circ - 1.49^\circ$  | $0.03^\circ$                   | $-0.28^\circ - 0.33^\circ$  |

Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi ve klinik gonyometre karşılaştırıldığında ortalama sapma değerleri; abdüksiyon pozu için  $0.33^\circ$ , fleksiyon pozu için  $-2.83^\circ$ , dış rotasyon pozu için  $-0.50^\circ$ , iç rotasyon pozu için  $-6.67^\circ$ , ekstansiyon pozu için  $-0.10^\circ$  olarak gözlemlenmiştir. Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi ve dijital gonyometre karşılaştırıldığında ortalama saplamalar; abdüksiyon pozu için  $1.10^\circ$ , fleksiyon pozu için  $-1.63^\circ$ , dış rotasyon pozu için  $-0.38^\circ$ , iç rotasyon pozu için  $-5.35^\circ$ , ekstansiyon pozu için  $-0.03^\circ$  olarak gözlemlenmiştir.

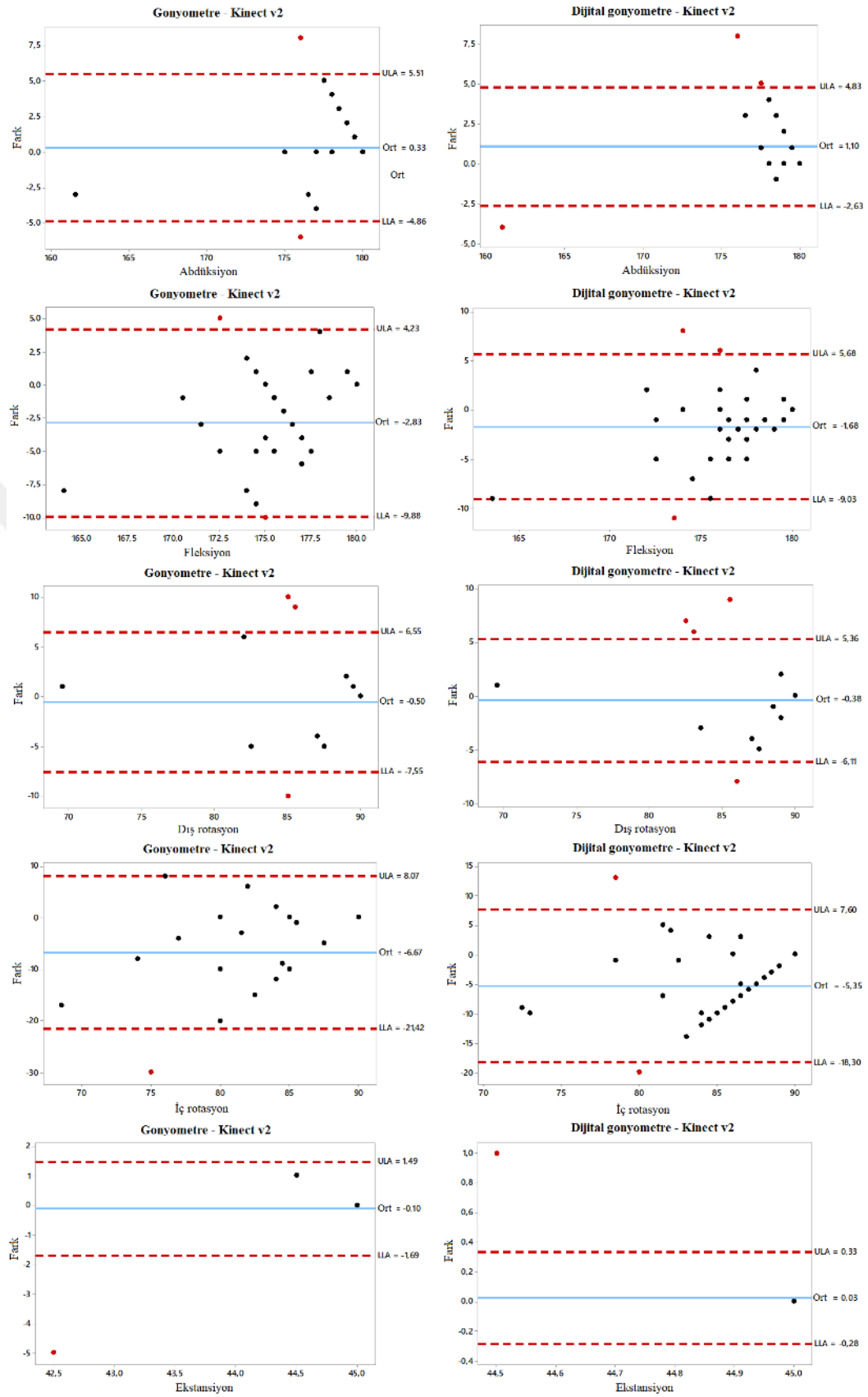
LOA sonuçlarına göre, Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sistemi ile her iki gonyometre arasında LOA farkı, abdüksiyon, fleksiyon, dış rotasyon ve iç rotasyon pozlarında  $\pm 5^\circ$ 'yi aşmış ve bu klinik olarak anlamlı kabul edilmiştir. (Altman ve Bland,

1983; J. M. Bland ve Altman, 1999; J. Martin Bland ve Altman, 1986; Carstensen, 2011; Krouwer, 2002).

Tüm omuz pozları için Bland-Altman analiz sonuçları Şekil 3.10'da gösterilmektedir. Kinect v2 ve klinik gonyometre arasındaki karşılaştırma Şekil 3.10'un sol sütununda ve Kinect v2 ile dijital gonyometre arasındaki karşılaştırma Şekil 3.10'un sağ sütunundadır. Şekil 3.10'da görülebileceği üzere, ölçüm sistemleri tarafından elde edilen abdüksiyon, fleksiyon, dış rotasyon ve iç rotasyon pozları açılarının farklılıkları sistematik bir şekilde değil, rastgele dağılmaktadır. Ancak ekstansiyon pozunu için ölçüm farklılıklarının üst üste bindiği gözlemlenmektedir. Bunun sebebi ekstansiyon ölçümlerinin büyük çoğunun tüm ölçüm sistemlerinde  $45^\circ$  olmasıdır.

Güvenirlilik sonuçlarına göre, tüm pozların % 95 LOA sonuçlarında, Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sisteminin dijital gonyometreye klinik gonyometreden daha yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bland-Altman analiz sonuçlarına göre, Kinect v2 tabanlı omuz hareketi izleme sisteminin her iki gonyometreye kıyasla alternatif ve etkili bir yöntem olduğu açıktır.

Elde edilen geçerlilik ve güvenirlik sonuçları, Kinect v2'nin geliştirilen fizik tedavi sisteminde kullanılmasının başarılı olacağını göstermiştir. Aynı zamanda hastane denemelerinde kullanılacak FizMenU sisteminde aynı hesaplama parametrelerinin kullanılmasının doğru bir seçim olacağı gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Bland-Altman analiz sonuçları

#### 4. FizMenU HASTANE TESTLERİ

Bu bölümde, tez kapsamında önerilen FizMenU sisteminin Bilecik Devlet Hastanesi'nde omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastaların tedavi süreçlerinde kullanılması anlatılmaktadır. Gönüllülerin tedavi süreçlerinde kullanılan FizMenU aynı zamanda geleneksel tedavi yöntemleri ile kıyaslanmıştır.

Bu bölümde; katılımcı bilgileri ve demografik özellikleri, FizMenU ile geleneksel yöntemlerin kıyaslamasında kullanılan prosedürler açıklanmış, alınan verilerin istatistiksel analizi, FizMenU'nun ve geleneksel yöntemle tedavi gören hastaların iyileşme süreçleri incelenmiştir.

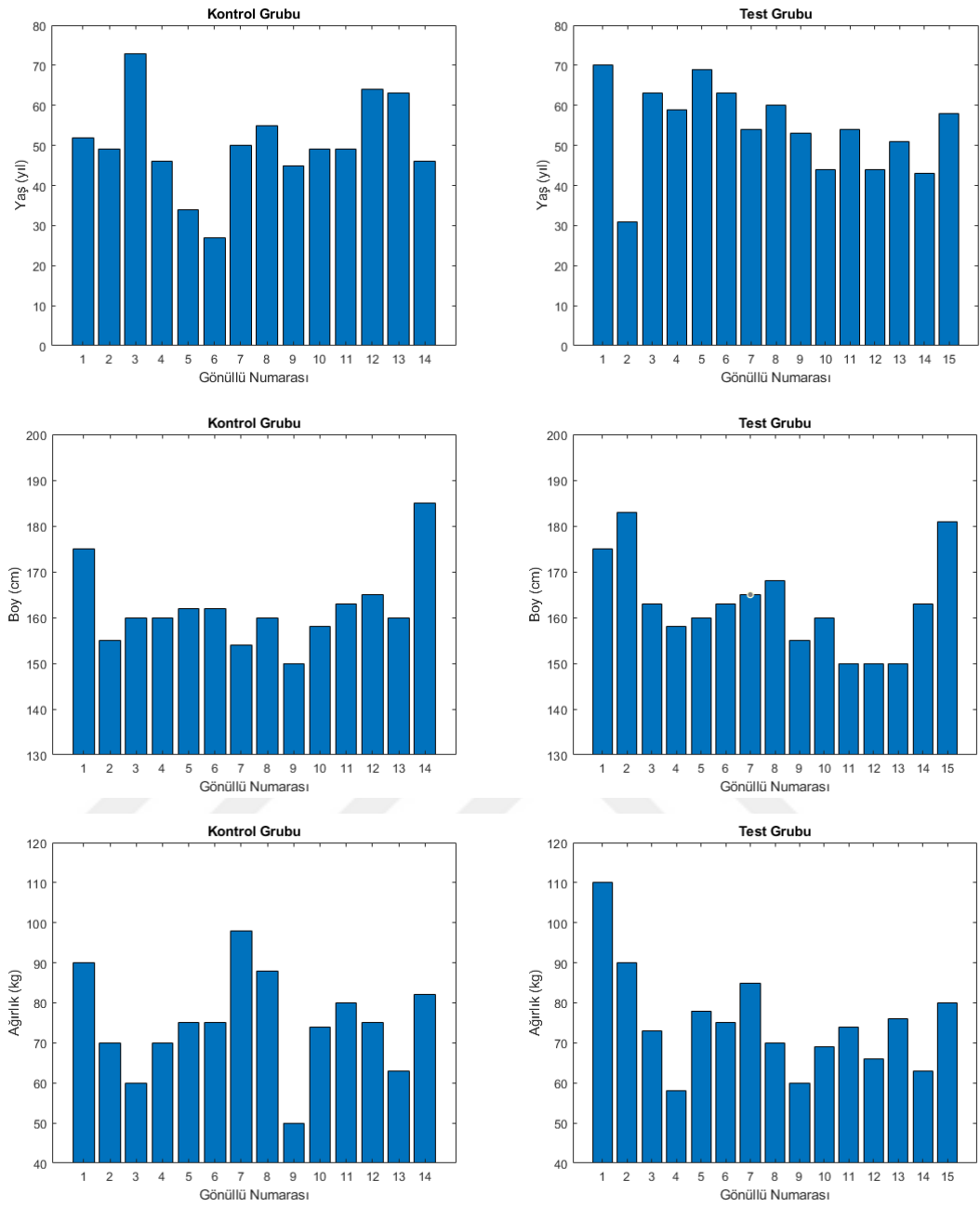
##### 4.1 Katılımcılar

FizMenU, Bilecik Devlet Hastanesi'ne kurularak gönüllülerin kullanımına açılmıştır. Çalışmaya toplam 39 gönüllü katılmıştır. Gönüllüler 15i test grubunu, 14ü kontrol grubunu oluşturacak şekilde ikiye ayrılmıştır. Kontrol grubundaki gönüllüler geleneksel yöntemler ile test grubundaki gönüllüler FizMenU ile tedavi sürecini tamamlamışlardır. Gönüllülerin yaş, boy, ağırlık grafikleri Şekil 4.1'de gösterilmekte olup, bu verilerin ortalama ve standart sapma değerleri ise Çizelge 4.1'de verilmektedir.

**Çizelge 4.1.** Gönüllülerin yaş, boy, ağırlık ortalama ve standart sapmaları

|              | Test Grubu                        |                                   | Kontrol Grubu                     |                                   |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|              | Erkek( $\bar{x} \pm \text{Std}$ ) | Kadın( $\bar{x} \pm \text{Std}$ ) | Erkek( $\bar{x} \pm \text{Std}$ ) | Kadın( $\bar{x} \pm \text{Std}$ ) |
| Yaş (yıl)    | 55.50±17.06                       | 54.00±8.35                        | 52.83±15.82                       | 48.50±8.05                        |
| Boy (cm)     | 175.50±9.00                       | 157.91±6.19                       | 171.17±11.05                      | 157.50±4.21                       |
| Ağırlık (kg) | 88.25±16.09                       | 71.27±9.26                        | 79.17±10.85                       | 72.62±13.78                       |

Bu çalışmaya katılan gönüllülerden test grubundaki erkeklerin yaş ortalaması (4 kişi)  $55.50 \pm 17.06$  yıl, boy ortalaması  $175.50 \pm 9.00$  cm, ağırlık ortalaması  $88.25 \pm 16.09$  kg ve kadınların yaş ortalaması (11 kişi)  $54.00 \pm 8.35$  yıl, uzunluk ortalaması  $157.91 \pm 6.19$  cm ve ağırlık ortalaması  $71.27 \pm 9.26$  kg'dır. Kontrol grubundaki erkeklerin yaş ortalaması (6 kişi)  $52.83 \pm 15.82$  yıl, boy ortalaması  $171.17 \pm 11.05$  cm, ağırlık ortalaması  $79.17 \pm 10.85$  kg ve kadınların yaş ortalaması (8 kişi)  $48.50 \pm 8.05$  yıl, boy ortalaması  $157.50 \pm 4.21$  cm, vücut ağırlığı ortalaması  $72.62 \pm 13.78$  kg'dır.

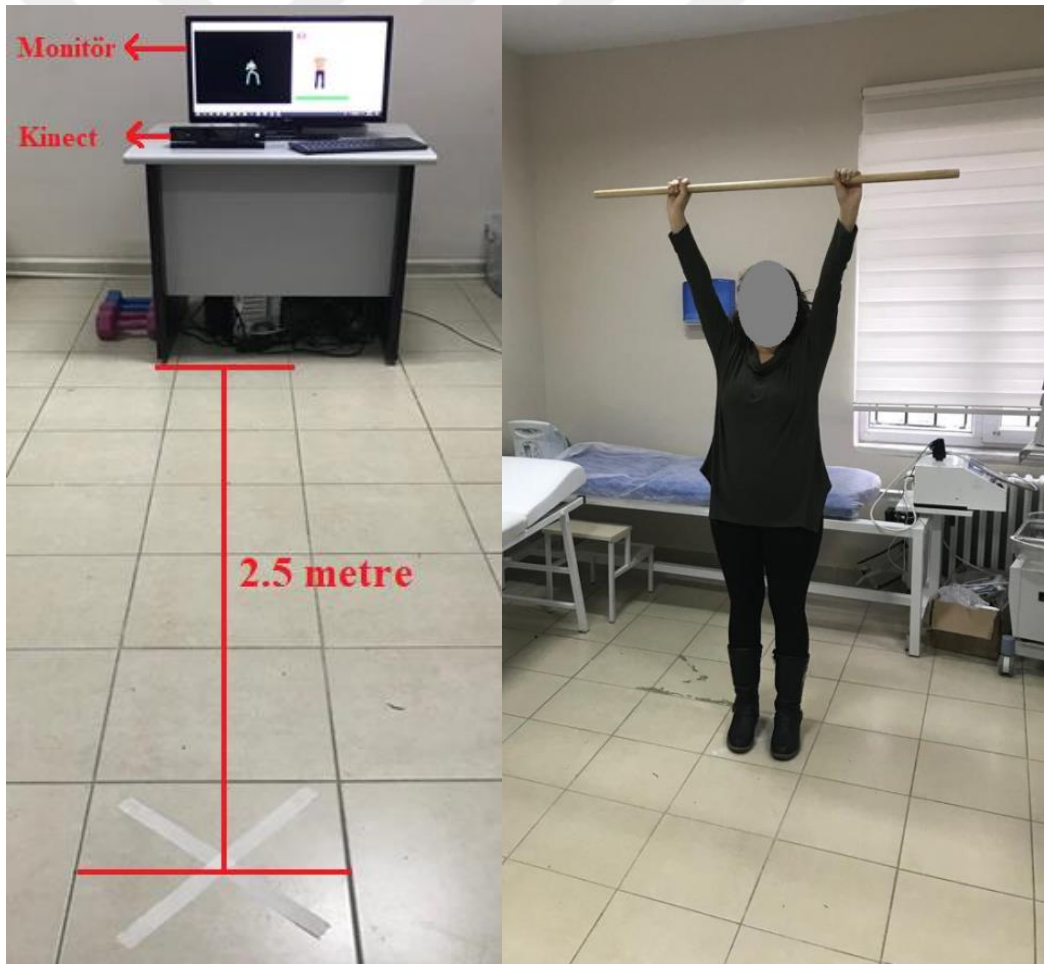


**Şekil 4.1.** Gönüllülerin yaş, boy, ağırlık grafikleri

Bu çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Etik Komitesi (2017/04) tarafından onaylanmış ve Dünya Tıp Birliği Helsinki Bildirgesi'ne uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın Bilecik Devlet Hastanesi'nde uygulanması için gerekli izinler alınmıştır.

#### 4.2 Prosedür

İki gönüllü grubunun ölçümleri aynı şartlar altında yapılmıştır. Tedaviden önce ve tedavi tamamlandıktan sonra, tüm egzersizler için katılımcıların açı değerleri, iki ayarlanabilir üst üste binen kollu standart 12 inç, 360° gonyometre olarak kullanılan klinik gonyometre (Yıldızlar, Türkiye) ile ölçülmüştür. Katılımcılar kontrol ve test grubu olarak iki gruba ayrılmıştır. Kontrol grubundaki katılımcılar egzersizlerini geleneksel yöntemlerle hastanede gerçekleştirmişlerdir. Test grubundaki katılımcılar ise egzersizlerini FizMenU ile gerçekleştirmiştir. Test grubundaki katılımcılar Şekil 4.2’de gösterildiği gibi Kinect v2’den yaklaşık 2.5 metre uzakta bulunmuşlardır. Tüm gönüllüler bu çalışmada haftada 5 gün olmak üzere toplam 12 seans fizik tedaviye katılmıştır.



**Şekil 4.2.** Bir gönüllünün FizMenU ile tedavi görüntüsü

### 4.3 İstatistiksel Analiz

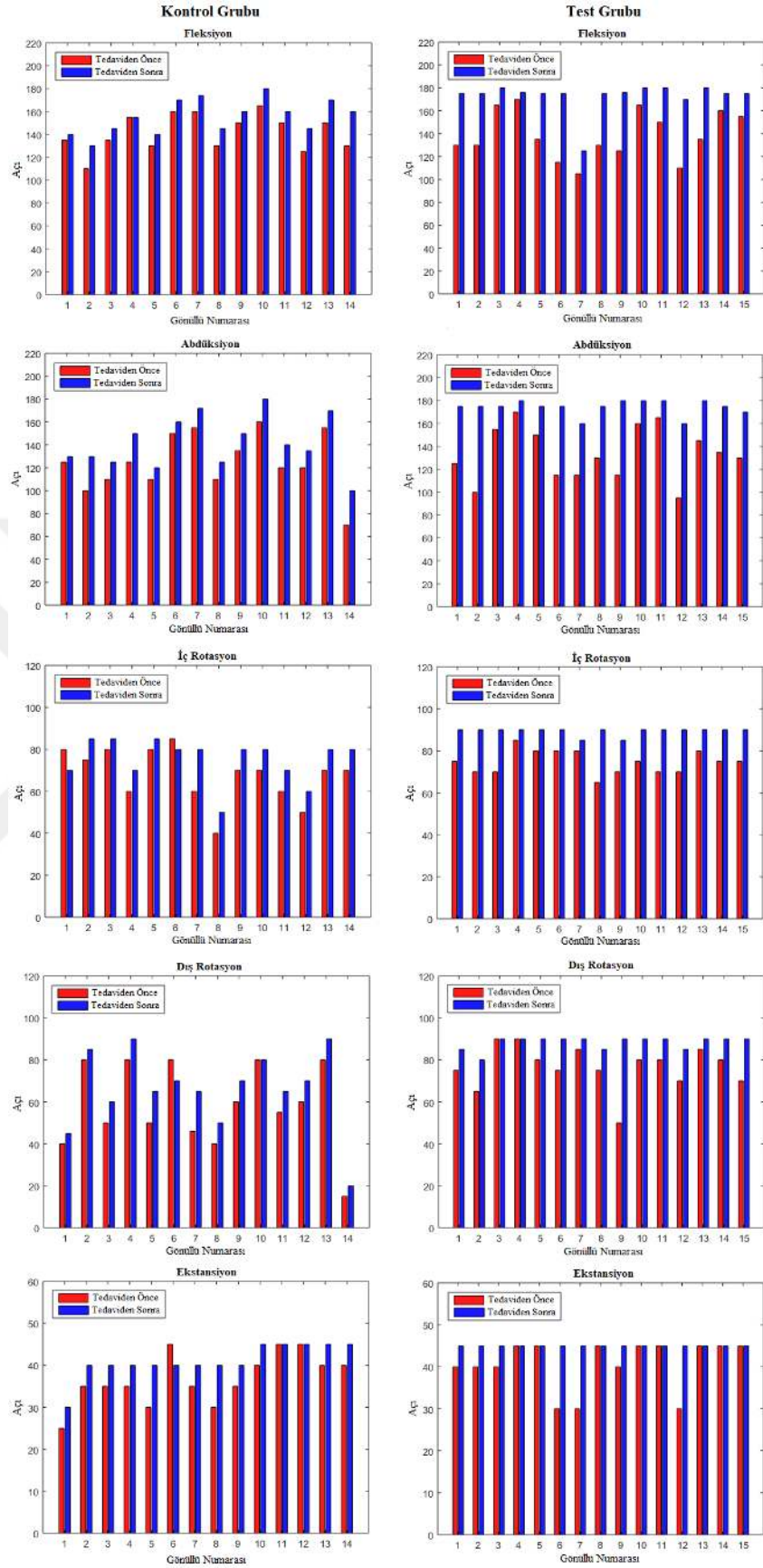
Bu çalışmada istatistiksel analizler SPSS 18.0 sürümü kullanılarak elde edilmiştir. Tüm değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri ortalama ve standart sapma ( $\bar{x} \pm Std$ ) olarak hesaplanmıştır. Verilerin parametrik varsayımları Shapiro Wilk testi ile ve varyans homojenlikleri Levene homojenlik testi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, iki grubun homojen bir şekilde dağıldığını göstermektedir. Veriler parametrik olmayan özellikler gösterdiğinden grup içi karşılaştırmalar Wilcoxon testi ile ve gruplar arası karşılaştırmalar Mann-Whitney U testi ile değerlendirilmiştir. Karşılaştırmada istatistiksel anlamlılık sınırı  $p < 0.05$  olarak belirlenmiştir.

### 4.4 Sonuçlar

Tedavi seanslarına başlamadan önce gönüllülerin ilk durumlarını gözlemlemek için her egzersizi ne kadar yapabildikleri gonyometre ile ölçülmüştür. İlk ölçüm sonuçları Çizelge 4.2’de gösterilmektedir. Çizelgede kontrol grubu *Kont*, test grubu *Test*, ortalama *Ort.* olarak isimlendirilmiştir. Tedavinin sonunda, gönüllülerin tüm egzersizleri için yine aynı klinik gonyometre ile açılı ölçümleri tekrarlanmıştır. Sol sütun kontrol grubu, sağ sütun test grubu olmak üzere Şekil 4.3 tüm omuz egzersizleri için tedavi öncesi ve sonrası açılı değerlerini göstermektedir. Kırmızı renk ilk ölçüm açılarını, mavi renk ise tedavinin sonundaki ölçülmüş açılı değerlerini göstermektedir.

**Çizelge 4.2.** Katılımcıların tedaviden önceki açılı ölçümleri.

|        | Fleksiyon |        | Abdüksiyon |        | İç Rotasyon |       | Dış Rotasyon |       | Ekstansiyon |       |
|--------|-----------|--------|------------|--------|-------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|
|        | Kont      | Test   | Kont       | Test   | Kont        | Test  | Kont         | Test  | Kont        | Test  |
| Açı(°) | 135       | 130    | 125        | 125    | 80          | 75    | 40           | 75    | 25          | 40    |
|        | 110       | 130    | 100        | 100    | 75          | 70    | 80           | 65    | 35          | 40    |
|        | 135       | 165    | 110        | 155    | 80          | 70    | 50           | 90    | 35          | 40    |
|        | 155       | 170    | 125        | 170    | 60          | 85    | 80           | 90    | 35          | 45    |
|        | 130       | 135    | 110        | 150    | 80          | 80    | 50           | 80    | 30          | 45    |
|        | 160       | 115    | 150        | 115    | 85          | 80    | 80           | 75    | 45          | 30    |
|        | 160       | 105    | 155        | 115    | 60          | 80    | 46           | 85    | 35          | 30    |
|        | 130       | 130    | 110        | 130    | 40          | 65    | 40           | 75    | 30          | 45    |
|        | 150       | 125    | 135        | 115    | 70          | 70    | 60           | 50    | 35          | 40    |
|        | 165       | 165    | 160        | 160    | 70          | 75    | 80           | 80    | 40          | 45    |
|        | 150       | 150    | 120        | 165    | 60          | 70    | 55           | 80    | 45          | 45    |
|        | 125       | 110    | 120        | 95     | 50          | 70    | 60           | 70    | 45          | 30    |
|        | 150       | 135    | 155        | 145    | 70          | 80    | 80           | 85    | 40          | 45    |
|        | 130       | 160    | 70         | 135    | 70          | 75    | 15           | 80    | 40          | 45    |
|        |           | 155    |            | 130    |             | 75    |              | 70    |             | 45    |
| Ort.   | 141.79    | 138.67 | 124.64     | 133.67 | 67.86       | 74.67 | 58.29        | 76.67 | 36.79       | 40.67 |



Şekil 4.3. Tüm egzersizler için tedavi öncesi ve sonrası açı değerleri

#### 4.4.1. Gruplar içi ilk-test ve son-test karşılaştırmaları

Grupların kendi içlerindeki gelişimlerini gözlemlemek için Wilcoxon testi kullanılmıştır. Çizelge 4.3’de test grubunun, Çizelge 4.4’de kontrol grubunun Wilcoxon test sonuçları verilmektedir.

**Çizelge 4.3.** Test grubu, grup içi Wilcoxon test sonuçları

| Egzersiz/değişen | İlk-test        | Son-test        |       |       |
|------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|
|                  | $\bar{x} \pm S$ | $\bar{x} \pm S$ | z     | p     |
| Abdüksiyon       | 133.67±23.33    | 174.33±6.51     | -3.41 | 0.001 |
| Fleksiyon        | 138.67±20.99    | 172.80±13.51    | -3.41 | 0.001 |
| Dış Rotasyon     | 76.67±10.29     | 88.33±3.09      | -3.22 | 0.001 |
| İç Rotasyon      | 74.67±5.50      | 89.33±1.76      | -3.43 | 0.001 |
| Ekstansiyon      | 40.67±5.94      | 45.00±0.00      | -2.43 | 0.015 |

Test grubu abdüksiyon egzersizi ön test ortalaması 133.67±23.33, son test ortalaması ise 174.33±6.51 olarak tespit edilmiş, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ( $z=-3.41$ ,  $p<0.05$ ). Fleksiyon egzersizi ön test ortalaması 138±23.33, son test ortalaması ise 172.80±13.51 olarak tespit edilmiş, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ( $z=-3.41$ ,  $p<0.05$ ). Dış rotasyon egzersizi ön test ortalaması 76.67±10.29, son test ortalaması ise 88.33±3.09 olarak tespit edilmiş, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ( $z=-3.22$ ,  $p<0.05$ ). İç rotasyon egzersizi ön test ortalaması 74.67±5.50, son test ortalaması ise 89.33±1.76 olarak tespit edilmiş, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ( $z=-3.43$ ,  $p<0.05$ ). Ekstansiyon egzersizi ön test ortalaması 40.67±5.94, son test ortalaması ise 45.00±0.00 olarak tespit edilmiş, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ( $z=-2.43$ ,  $p<0.05$ ). Yani test grubundaki gönüllüler bütün egzersizleri istatistiksel anlamda daha iyi yapabilir duruma gelmiştir.

**Çizelge 4.4.** Kontrol grubu, grup içi Wilcoxon testi sonuçları

| Egzersiz/değişken | İlk-test        | Son-test        | z     | p     |
|-------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|
|                   | $\bar{x} \pm S$ | $\bar{x} \pm S$ |       |       |
| Abdüksiyon        | 124.64±25.00    | 141.93±22.78    | -3.31 | 0.001 |
| Fleksiyon         | 141.78±16.12    | 155.28±14.90    | -3.20 | 0.001 |
| Dış Rotasyon      | 58.28±20.00     | 66.07±18.83     | -2.73 | 0.006 |
| İç Rotasyon       | 67.86±12.67     | 75.36±10.28     | -2.75 | 0.006 |
| Ekstansiyon       | 36.78±6.08      | 41.07±4.00      | -2.81 | 0.005 |

Kontrol grubu abdüksiyon egzersizi ön test ortalaması 124.64±25.00, son test ortalaması ise 141.93±22.78 olarak tespit edilmiş, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ( $z=-3.31$ ,  $p<0.05$ ). fleksiyon egzersizi ön test ortalaması 141.78±16.12, son test ortalaması ise 155.28±14.90 olarak tespit edilmiş, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ( $z=-3.20$ ,  $p<0.05$ ). dış rotasyon egzersizi ön test ortalaması 58.28±20.00, son test ortalaması ise 66.07±18.83 olarak tespit edilmiş, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ( $z=-2.73$ ,  $p<0.05$ ). İç rotasyon egzersizi ön test ortalaması 67.86±12.67, son test ortalaması ise 75.36±10.28 olarak tespit edilmiş, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ( $z=-2.75$ ,  $p<0.05$ ). Ekstansiyon egzersizi ön test ortalaması 36.78±6.08, son test ortalaması ise 41.07±4.00 olarak tespit edilmiş, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ( $z=-2.81$ ,  $p<0.05$ ). Yani kontrol grubundaki gönüllüler bütün egzersizleri istatistiksel anlamda daha iyi yapabilir duruma gelmiştir.

#### 4.4.2 Gruplar arası ilk-test ve son-test karşılaştırmaları

Gruplar arasındaki ön test ve son test karşılaştırmaları Mann-Whitney U testi kullanılarak yapıldı. Çizelge 4.5 ön testler arasındaki sonuçları ve Çizelge 4.6 son testler arasındaki sonuçları göstermektedir.

**Çizelge 4.5.** Mann-Whitney U testinin gruplar arası ön test sonuçları

| <b>Egzersiz/değişken</b> |               | <b><math>\bar{x} \pm \text{Std}</math></b> | <b>u</b> | <b>p</b> |
|--------------------------|---------------|--------------------------------------------|----------|----------|
| Abdüksiyon               | Test grubu    | 133.67±23.33                               | 83.00    | 0.336    |
|                          | Kontrol grubu | 124.64±25.00                               |          |          |
| Fleksiyon                | Test grubu    | 138.67±20.99                               | 97.50    | 0.741    |
|                          | Kontrol grubu | 141.78±16.12                               |          |          |
| Dış Rotasyon             | Test grubu    | 76.67±10.29                                | 72.50    | 0.146    |
|                          | Kontrol grubu | 58.28±20.20                                |          |          |
| İç Rotasyon              | Test grubu    | 74.67±5.50                                 | 49.00    | 0.13     |
|                          | Kontrol grubu | 67.86±16.12                                |          |          |
| Ekstansiyon              | Test grubu    | 40.67±5.94                                 | 66.00    | 0.76     |
|                          | Kontrol grubu | 36.78±6.08                                 |          |          |

$\bar{x}$ : aritmetik ortalama, Std: standart sapma

İlk test sonuçlarına göre; test grubu abdüksiyon egzersizi ortalama sonucu  $133.67 \pm 23.33$ , kontrol grubu ortalama sonucu  $124.64 \pm 25.00$  olup, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $u = 83.00$ ,  $p < 0.05$ ). Fleksiyon egzersizi için test grubu ortalama sonucu  $138.67 \pm 20.99$  ve kontrol grubunun ortalama sonucu  $141.78 \pm 16.12$ 'dir ve iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark elde edilmemiştir ( $u = 97.50$ ,  $p < 0.05$ ). Dış rotasyon için test grubunun egzersiz ortalama sonucu  $76.67 \pm 10.29$  ve kontrol grubu ortalama sonucu  $58.28 \pm 20.20$ 'dir ve iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $u = 72.50$ ,  $p < 0.05$ ). İç rotasyon egzersizi için, test grubunun ortalama sonucu  $74.67 \pm 5.50$ , kontrol grubu ortalama sonucu  $67.86 \pm 16.12$  olup, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $u = 49.00$ ,  $p < 0.05$ ). Ekstansiyon egzersizi için, test grubu ortalama sonucu  $40.67 \pm 5.94$  ve kontrol grubunun ortalama sonucu  $36.78 \pm 6.08$ 'dir ve iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $u = 66.00$ ,  $p < 0.05$ ).

**Çizelge 4.6.** Mann-Whitney U testinin gruplar arası son test sonuçları

| <b>Egzersiz/değişken</b> |               | <b><math>\bar{x} \pm S</math></b> | <b>u</b> | <b>p</b> |
|--------------------------|---------------|-----------------------------------|----------|----------|
| Abdüksiyon               | Test grubu    | 174.33±6.51                       | 28.00    | 0.001    |
|                          | Kontrol grubu | 141.93±22.78                      |          |          |
| Fleksiyon                | Test grubu    | 172.80±13.51                      | 19.00    | 0.000    |
|                          | Kontrol grubu | 155.28±14.90                      |          |          |
| Dış Rotasyon             | Test grubu    | 88.33±3.09                        | 3.00     | 0.000    |
|                          | Kontrol grubu | 66.07±18.83                       |          |          |
| İç Rotasyon              | Test grubu    | 89.33±1.76                        | 22.00    | 0.000    |
|                          | Kontrol grubu | 75.36±10.28                       |          |          |
| Ekstansiyon              | Test grubu    | 45.00±0.00                        | 37.50    | 0.000    |
|                          | Kontrol grubu | 41.07±4.00                        |          |          |

Çizelge 4.6'dan görülebileceği gibi, test sonrası abdüksiyon egzersizi test grubu ortalama sonucu  $174.33 \pm 6.51$  ve kontrol grubunun ortalama sonucu  $141.93 \pm 22.78$  olup, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ( $u = 28.00$ ,  $p < 0.05$ ). Fleksiyon egzersizi için, test grubunun ortalama sonucu  $172.80 \pm 13.51$  ve kontrol grubu ortalama sonucu  $155.28 \pm 14.90$  olup, iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı fark elde edilmiştir ( $u = 19.00$ ,  $p < 0.05$ ). Dış rotasyon egzersizi için, test grubu ortalama sonucu  $88.33 \pm 3.09$  ve kontrol grubunun ortalama sonucu  $66.07 \pm 18.83$ 'tür ve iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ( $u = 3.00$ ,  $p < 0.05$ ). İç rotasyon egzersizi için, test grubu ortalama sonucu  $89.33 \pm 1.76$  ve kontrol grubunun ortalama sonucu  $75.36 \pm 10.28$ 'dir ve iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ( $u = 22.00$ ,  $p < 0.05$ ). Ekstansiyon egzersizi için, test grubunun ortalama sonucu  $45.00 \pm 0.00$ , kontrol grubu ortalama sonucu  $41.07 \pm 4.00$ 'dür ve iki dağılım arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ( $u = 37.50$ ,  $p < 0.05$ ).

Levene homojenlik test sonuçlarından beklendiği gibi, tüm egzersizler için ön test sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. Test sonrası sonuçlarda, tüm omuz egzersizleri için istatistiksel olarak anlamlı bir fark elde edilmiştir. Bu, iki tedavi yönteminin başarı oranları arasında bir fark olduğunu göstermektedir. Bu farklılıkların seviyesini görmek için iki tedavi yönteminin iyileşme oranları bir sonraki bölümde incelenmiştir.

#### 4.4.3. Tedavi metotları arasında iyileşme oranı karşılaştırması

Her iki grupta iyileşme oranları kendi içlerinde Eşitlik 4.1 ile hesaplanmıştır. Eşitlik 4.1'de  $x_i$  ilk-test  $x_s$  ölçümlerinin ortalamasını, son-test ölçümlerinin ortalamasını ve  $x_b$  iyileşme oranlarını göstermektedir. Çizelge 4.7 tüm egzersizler için kontrol ve test gruplarının iyileşme oranlarını göstermektedir.

$$x_b = 100 \frac{(x_s - x_i)}{x_i} \quad (4.1)$$

**Çizelge 4.7.** Grupların kendi içinde iyileşme oranları

|              | Test Grubu | Kontrol Grubu |
|--------------|------------|---------------|
| Abdüksiyon   | % 30.42    | % 13.87       |
| Fleksiyon    | % 24.61    | % 9.52        |
| Dış Rotasyon | % 15.21    | % 13.37       |
| İç Rotasyon  | % 19.63    | % 11.05       |
| Ekstansiyon  | % 10.65    | % 11.66       |

Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere abduksiyon, fleksiyon, dış rotasyon, iç rotasyon egzersizlerinde test grubundaki gönüllüler kontrol grubundaki gönüllülere göre daha yüksek oranda limitasyonlarını azaltmışlardır. Ekstansiyon egzersizinde ise kontrol grubundaki gönüllülerin limitasyonları yaklaşık %1 oranında test grubundaki gönüllülere göre daha fazla azalmıştır. Ekstansiyon egzersizinde yüzdesel olarak kontrol grubundaki gönüllülerinin daha yüksek başarımla elde etme sebebi; test grubundaki bütün gönüllülerin ekstansiyon egzersizi için en yüksek değer kabul edilen 45°’lik açığa ulaşmasıdır.

#### 4.4.4 GOFU kullanıcı anketi

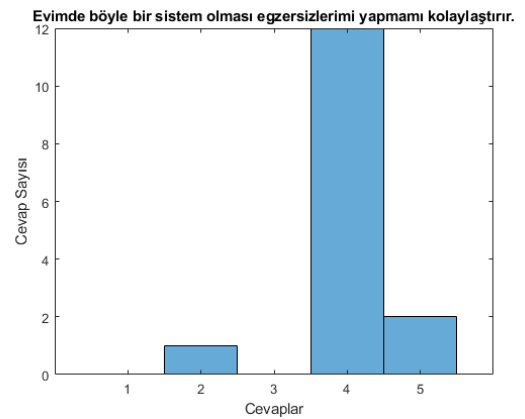
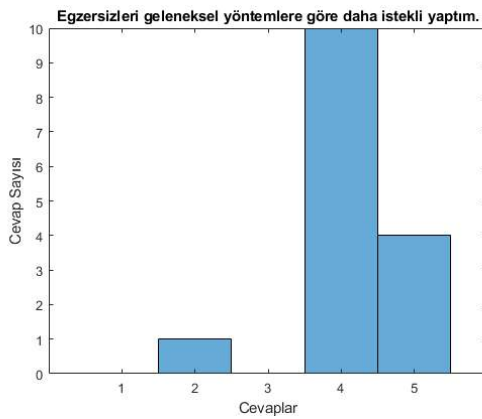
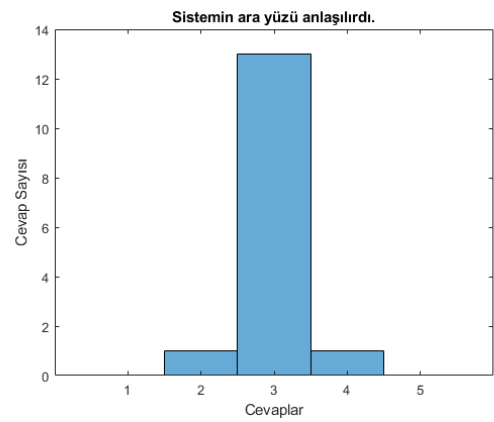
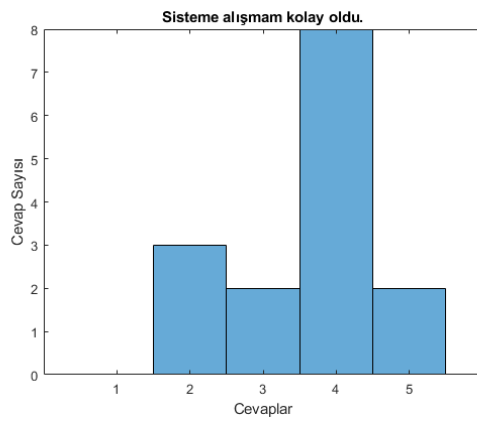
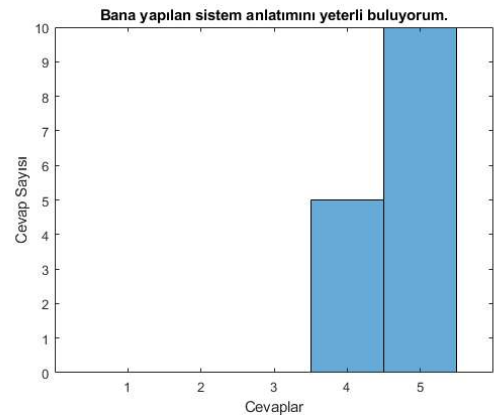
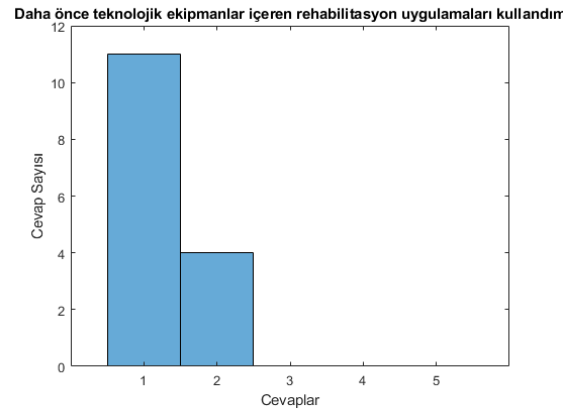
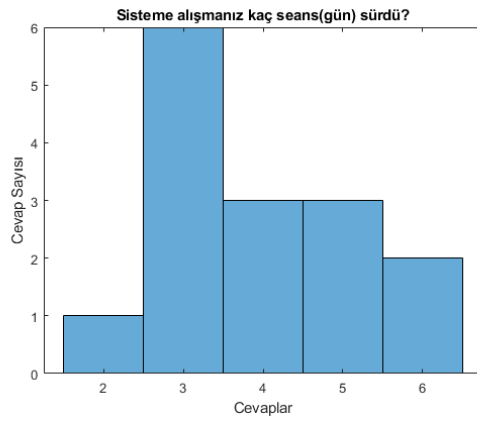
Bilecik Devlet Hastanesi’nde FizMenU ile 12 seans boyunca tedavi gören 15 gönüllüye tedavilerinin sonunda 15 sorudan oluşan bir anket yapılmıştır. Bu anket ile gönüllülerin fizik tedavide teknoloji kullanımına ne kadar alışkın oldukları, GOFU’ya alışmalarında zorluk olup olmadığı, GOFU’nun grafik arayüzüne verdikleri tepkiler, bundan sonra kullanıcıların fizik tedavide teknoloji kullanımı ile ilgili düşüncelerinin ölçülmesi hedeflenmiştir.

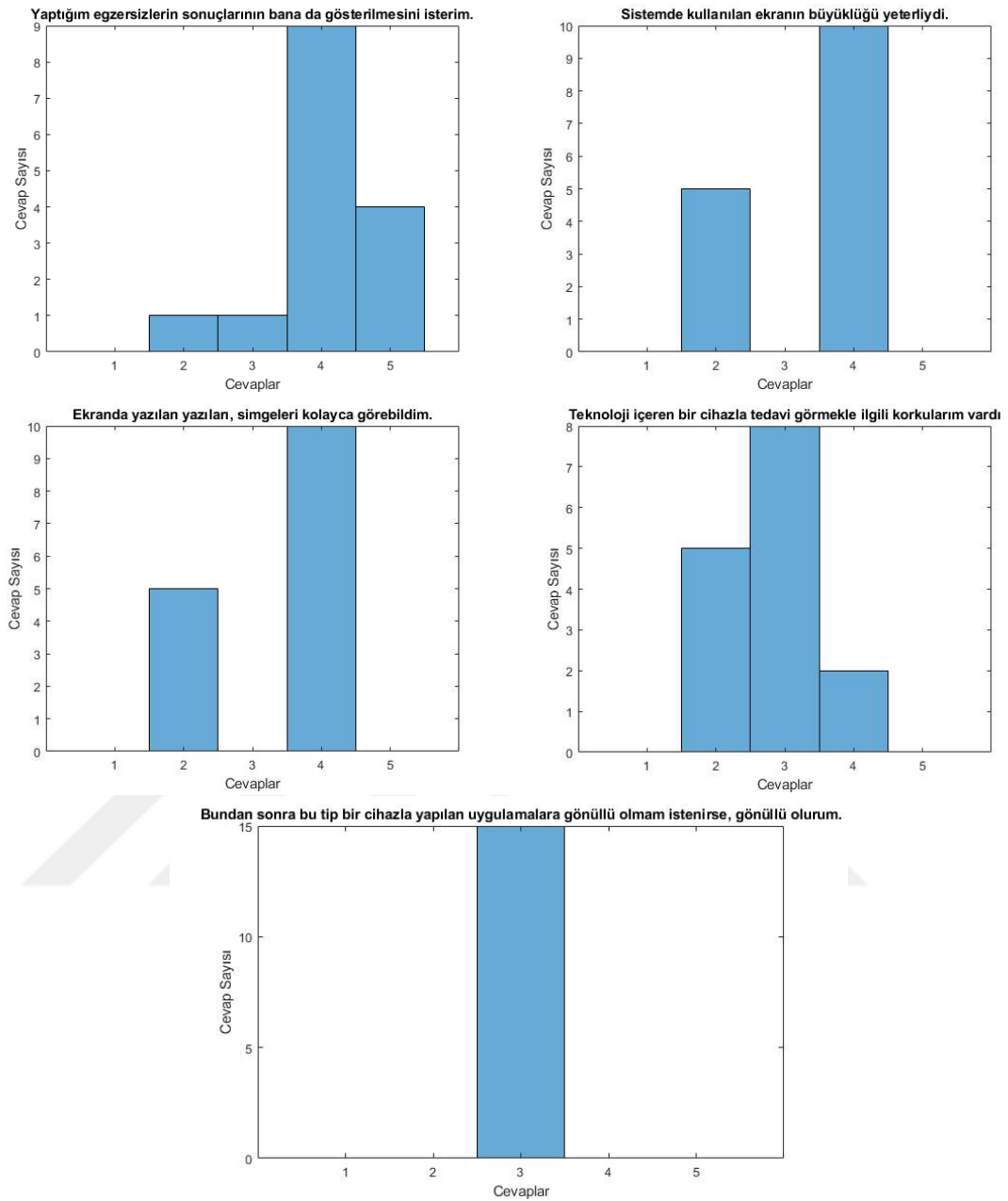
Ankete katılan kullanıcılara 1. Soru olarak eğitim durumları, 2. soru olarak daha önce kaç kez fizik tedavi gördükleri, 3. soru olarak da GOFU’ya alışmalarının kaç gün sürdükleri sorulmuştur. Çizelge 4.8’deki GOFU’ya alışma sürelerinin sorulduğu soru hariç diğer sorulara 1’den 5’e kadar yanıt vermeleri istenmiştir. Bu soruların cevapları 1 - kesinlikle katılmıyorum, 2 – katılmıyorum, 3 – ne katılıyorum ne katılmıyorum, 4 – katılıyorum, 5 – kesinlikle katılıyorum anlamlarına gelmektedir.

Bu ankete test grubundaki 15 gönüllünün hepsi katılmıştır. Bu kullanıcıların boy, ağırlık, yaş bilgileri Şekil 4.1’de verilmişti. Ankete katılan 15 gönüllünün 8’i (%53.33’ü) ilkokul, 3’ü (%20.00’si) lise, 1’i (%6.67’si) ön lisans, 3’ü (%20.00’si) üniversite mezunudur. Katılımcıların 9’u (%60.00’i) ilk kez fizik tedavi görürken, 5’i (%33.33’ü) ikinci kez, 1’i (%6.67’si) üçüncü kez fizik tedavi görmüştür. Katılımcıların cevap dağılımları Şekil 4.4’de verilmiştir. Katılımcı cevaplarının en düşük, en yüksek, ortalama ve standart sapmaları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** GOFU kullanıcı anketi soruları ve katılımcı cevapları

|                                                                                               | En Düşük | En Yüksek | Ort.  | Standart Sapma |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|-------|----------------|
| Sisteme alışmanız kaç seans(gün) sürdü?                                                       | 2        | 6         | 3.933 | 1.223          |
| Daha önce teknolojik ekipmanlar içeren rehabilitasyon uygulamaları kullandım                  | 1        | 2         | 1.267 | 0.458          |
| Bugüne kadar kullandığım en gelişmiş rehabilitasyon uygulaması GOFU                           | 4        | 5         | 4.800 | 0.414          |
| Bana yapılan sistem anlatımını yeterli buluyorum.                                             | 4        | 5         | 4.667 | 0.488          |
| Sisteme alışmam kolay oldu.                                                                   | 2        | 5         | 3.600 | 0.986          |
| Sistemin arayüzü anlaşılırdı.                                                                 | 2        | 4         | 3.000 | 0.378          |
| Egzersizleri geleneksel yöntemlere göre daha istekli yaptım.                                  | 2        | 5         | 4.133 | 0.743          |
| Evimde böyle bir sistem olması egzersizlerimi yapmamı kolaylaştırır.                          | 2        | 5         | 4.000 | 0.655          |
| Yaptığım egzersizlerin sonuçlarının bana da gösterilmesini isterim.                           | 2        | 5         | 4.067 | 0.799          |
| Sistemde kullanılan ekranın büyüklüğü yeterliydi.                                             | 2        | 4         | 3.333 | 0.976          |
| Ekranda yazılan yazıları, simgeleri kolayca görebildim.                                       | 2        | 4         | 3.333 | 0.976          |
| Teknoloji içeren bir cihazla tedavi görmekle ilgili korkularım vardı                          | 2        | 4         | 2.800 | 0.676          |
| Bundan sonra bu tip bir cihazla yapılan uygulamalara gönüllü olmam istenirse, gönüllü olurum. | 3        | 3         | 3.000 | 0.000          |

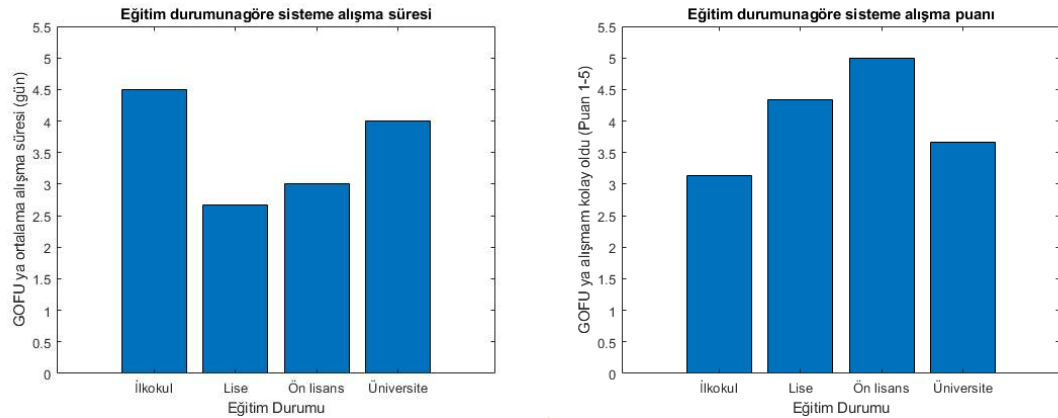




**Şekil 4.4.** GOFU kullanıcı anketi katılımcı cevapları

Katılımcıların daha önce teknolojik ekipmanlar içeren rehabilitasyon uygulamaları kullandım sorusuna verdiği cevaplar hiç katılmıyorum ve katılmıyorum olmuştur. Yani, GOFU'nun katılımcıların karşılaştığı ilk telerehabilitasyon ürünü olduğu söylenebilir. Bağlantılı olarak kullanıcıların bugüne kadar kullandığı en gelişmiş fizik tedavi uygulamasının GOFU olduğu şeklinde cevaplar alınmıştır. Buna rağmen katılımcıların sisteme alışma süresi ortalamaları 3.94 gün olarak gerçekleşmiştir. Genel olarak kullanıcılar kendilerine yapılan sistem tanıtımını iyi bulurken, sistemin grafik

arayüzünü orta düzeyde anlaşılır bulmuşlardır. Katılımcıların ekran yazılarını ve simgelerini okuyabilme oranları ve ekran büyüklüğünü yeterli bulma oranlarının orta olduğunu ve sistem grafik arayüzüne 2.5 metre mesafede bulundukları düşünülerek kullanılan ekranın boyutunun yetersiz olduğu tahmin edilmektedir. Katılımcıların GOFU ile egzersizlerini geleneksel yöntemlere göre daha istekli yaptıkları gözlemlenmiştir. Bu da telerehabilitasyon uygulamalarının fizik tedavi egzersizleri yapmanın sıkıcılığını azalttığı tezlerine paralel bir sonuç oluşturmaktadır. Kullanıcıların evlerinde bu sistemi isteme ortalamaları 4.00 (katılıyorum) dur. Kullanıcıların telerehabilitasyon uygulamalarına karşı korkuları ve bundan sonra bu tip çalışmada bulunma istekleriyle alakalı ayırt edici sonuçlar elde edilememiştir. Katılımcılar eğitim durumuna göre sınıflandırıldığında GOFU'ya alışma durumları Şekil 4.5'de verilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü üzere eğitim durumu GOFU'ya alışmayı doğrusal olarak kolaylaştıran ya da zorlaştıran bir kıstas değildir. Bunun sebebi GOFU grafik arayüzünün sade, az bilgi içeren ve basit kurgulanması olarak yorumlanabilir.



**Şekil 4.5.** Katılımcıların eğitimlerine göre GOFU'ya alışma durumları

#### 4.4.5. Değerlendirme

Bu bölümde FizMenU'nun hastanedeki hastalar üzerindeki istatistiksel sonuçları sunulmuştur. 15 kişiden oluşan test grubu FizMenU ile 14 kişiden oluşan kontrol grubu geleneksel yöntemlerle tedavi edilmiş ve grupların kendi içinde ve gruplar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Test sonuçları her iki gruptaki hastalarda iyileşme olduğunu göstermektedir.

Abdüksiyon, fleksiyon, iç rotasyon ve dış rotasyon egzersizlerinde, test grubundaki gönüllüler, kontrol grubundaki gönüllülerden daha fazla gelişme gösterdiği bulunmuştur. Bununla birlikte, kontrol grubundaki gönüllüler ekstansiyon egzersizinde daha fazla gelişme göstermiştir. Test grubundaki tüm gönüllüler en yüksek derece olan 45 dereceye ulaştığından, test grubunun gelişim yüzdesinin ekstansiyon egzersizinde daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar, geliştirilen sistemin geleneksel tedavi yöntemlerinden daha başarılı olduğunu göstermektedir. Ek olarak, geliştirilen sistem fizik tedavi uzmanlarının hastayı izlemesinde ve egzersizleri güncellemesinin kolaylaştırılmasına yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada, hastane testlerinde, önerilen sistemi kullanan hastaların geleneksel yöntemlere göre egzersiz yapmaya daha istekli oldukları görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında FizMenU'nun fizik tedavi merkezlerinde alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

## 5. YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE DASH SONUCU TAHMİNİ

Tezin bu bölümünde Bilecik Devlet Hastanesi'ndeki omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastaların verileri kullanılarak DASH semptom sonuçları tahmin edilmiştir. Bu bölümde, yapay sinir ağları hakkında temel bilgiler verilmiş, DASH açıklaması ve soruları verilerek DASH semptom sonuçları hesaplaması anlatılmıştır. Hastaneden alınan veriler incelenmiş, bu verilerin çoğaltılma yöntemi açıklanmıştır. Bu veriler ile çok katmanlı algılayıcı (MLP: Multilayer perceptron) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS: Adaptive neuro fuzzy inference system) kullanılarak DASH semptom sonucu tahminlerinin sonuçları paylaşılmıştır.

### 5.1 Kullanılan Yapay Zeka Teknikleri

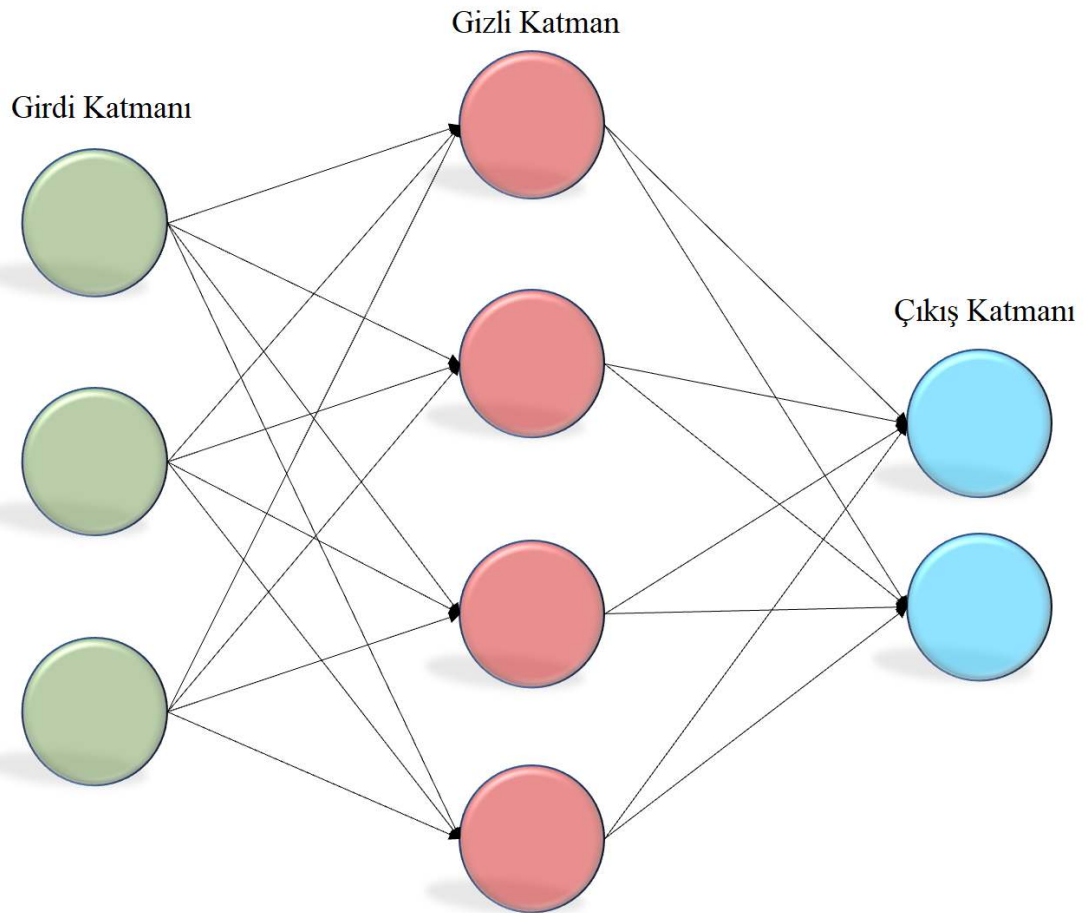
Bu bölümde yapay sinir ağları ile ilgili temel bilgiler verilmiş ve tez kapsamında kullanılan MLP ve ANFIS yapısı anlatılmıştır.

İnsan beyninin çalışma şekline esinlenerek, beynin öğrenme sürecinin modellenmesi ile yapay sinir ağları (YSA) ortaya çıkmıştır. YSA ile ilgili yapılan çalışmalar, öncelikle beyni oluşturan nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerinde uygulanması ile başlamıştır. Öğrenme işlemi, insan beyninden modellenen yapay sinir ağlarının mevcut verilerden yararlanmasıyla gerçekleşmektedir. Yapay sinir ağları birbirlerine bağlı yapay sinir ağı hücrelerinden oluşmaktadır ve her bağlantı bir ağırlık değerine sahiptir. Bilgi; ağırlık bağlantı ağırlıkları ile temsil edilir ve ağırlıklar YSA zekası olarak tanımlanır. Bu ağırlık değerlerinin uygun ayarlanmasıyla ağırlık performansı artmaktadır (Demir, 2017). Yapay sinir ağlarının girdilerin ve çıktılarının bulunduğu tek katmanlı veya gizli katmanlar da içeren çok katmanlı olarak geliştirilmiş yapıları bulunmaktadır.

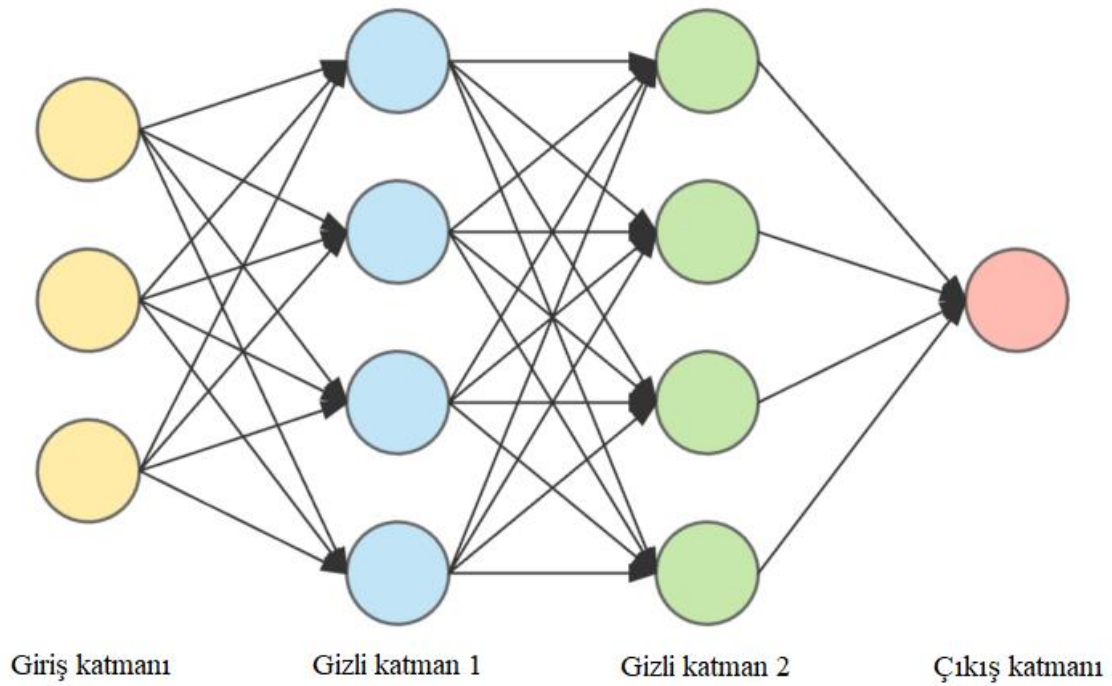
Tek katmanlı yapay sinir ağlarında her ağırlık bir veya daha fazla girdisi ve çıktısı vardır. Çıktı üniteleri bütün girdi ünitelerine bağlanmaktadır ve her bağlantının bir ağırlığı vardır. Tek katmanlı algılayıcılar doğrusal olan problemlerin çözümünde kullanılabilir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümü için çok katmanlı algılayıcılar geliştirilmiştir (Tuna, 2008).

### 5.1.1 Çok katmanlı algılayıcı

Çok katmanlı algılayıcılar girdi katmanı, gizli katman ve çıkış katmanlarından oluşur. Girdi katmanı, sinir ağına gelen giriş değerlerini alarak gizli katmana yönlendirir. Gizli katmanda gelen verileri işleyen elemanlar bulunur. Gizli katmanlar bir üst katman olan girdi katmanından gelen giriş bilgilerini işler ve çıktıları bir sonraki katmana gönderir. Çok katmanlı sinir ağında birden fazla gizli katman olabileceği gibi her katmanda da birden fazla sinir hücresinden bulunabilir. Gizli katmandaki her hücre bir sonraki katmandaki diğer tüm hücrelere bağlıdır. Ağın görevi verilen her girdi için o girdiye karşılık gelen çıktıyı üretebilmesidir (Ersoy, 2016). Şekil 5.1’de üç girişli, bir gizli katmanı olan, iki çıkışlı, Şekil 5.2’de üç girişli, iki gizli katmanı olan, bir çıkışlı çok katmanlı algılayıcılara örnekler verilmiştir.



**Şekil 5.1.** Çok katmanlı algılayıcı yapısı (bir gizli katmanlı)



**Şekil 5.2.** Çok katmanlı algılayıcı yapısı (iki gizli katmanlı)

### 5.1.2 Adaptif ağ temelli bulanık mantık çıkarım sistemi

Yapay sinir ağları yüksek miktarda veriyi çeşitli çıktı gruplarına göre sınıflandırmayı başarabilen makine öğrenme yöntemlerinden biridir. Bulanık çıkarım sistemleri ise girdi değerlerini bulanık üyeliklere göre sınıflandırıp tanımlanmış katsayılar göre durulaştırılmış çıktılar üretebilmektedir. Adaptif ağ temelli bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), yapay sinir ağlarının (YSA) öğrenme yeteneği ile bulanık mantığın insan gibi karar verme özelliklerinin birleşmesi ile ortaya çıkan melez bir modeldir (Yılmaz vd., 2016).

2 girişe sahip ( $x$  ve  $y$ ), düğüm fonksiyonu ile ilişkili dilsel etiketleri ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$  ve  $B_2$ ), ateşleme gücü ( $W_i$ ) ve düğüm etiketi ( $\Pi$ ) olan bir ANFIS mimarisi Şekil 5.3’de görülmektedir. ANFIS, 5 katmanlı ileri beslemeli ağ yapısına sahip Sugeno tipi bir bulanık sistemdir. Sugeno bulanık modeli için kullanılan kural kümesi Eşitlik 5.1’de verilmiştir (Jang, 1993; Yılmaz vd., 2016).

$$\text{Eğer } x \text{ } A_1 \text{ ve } y \text{ } B_1 \text{ ise } f_1 = p_1x + q_1y + r_1$$

$$\text{Eğer } x \text{ } A_2 \text{ ve } y \text{ } B_2 \text{ ise } f_2 = p_2x + q_2y + r_2 \quad (5.1)$$

Birinci katmada bulanıklaştırma işlemi gerçekleştirilir. Birinci katmandaki her  $i$  düğümünün çıkışı;  $x, i$  düğümü için girdi ve  $A_i$  düğüm fonksiyonu olmak üzere Eşitlik 5.2’de gösterildiği şekilde hesaplanır. Üyelik fonksiyonu için genellikle  $[0,1]$  aralığında değer kümesi olan Eşitlik 5.3 kullanılmaktadır. Eşitlik 5.3’de  $\{a_i, c_i\}$  parametre kümeleridir.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad (5.2)$$

$$\mu_{A_i}(x) = \exp\left\{-\left(\frac{x-c_i}{a_i}\right)^2\right\} \quad (5.3)$$

İkinci katman gelen sinyalleri Eşitlik 5.4’de gösterildiği şekilde çarparak bir sonraki katmana iletir.

$$w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), i = 1,2. \quad (5.4)$$

Üçüncü katmanda, Eşitlik 5.5 aracılığıyla her düğüm için ilgili kuralın ateşleme gücünün, toplama oranı bulunur.

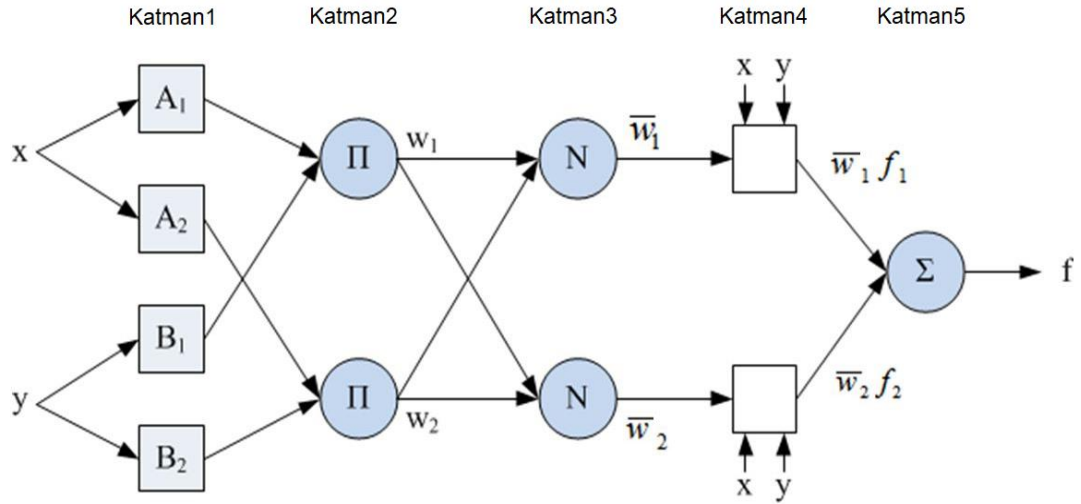
$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1,2. \quad (5.5)$$

Dördüncü katmanda, Sugeno kuralları ile tekrar  $x, y$  giriş değerleri kullanılır. Dördüncü katmanın çıkışı, üçüncü katmandan gelen  $\bar{w}_i$  ile birlikte Eşitlik 5.6’da verildiği şekilde hesaplanır.

$$O_i = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (5.6)$$

Son katman olan 5. katmanda Eşitlik 5.7’de gösterildiği gibi tüm sinyallerin toplamı alınarak çıktı hesaplaması tamamlanılır (Dokur vd., 2019; Jang, 1993; Yüksek vd., 2017).

$$O_i = \text{Çıktı} = \sum_i \bar{w}_i f_i \quad (5.7)$$



Şekil 5.3. ANFIS yapısı

## 5.2 Kol, Omuz ve El Yaralanması Anketi (DASH)

Kol, omuz ve el yaralanması anketi (DASH), bir noktada veya birçok noktada üst vücut uzvunun tek veya çoklu bozukluklarındaki sakatlık ve semptomları değerlendirmek için geliştirilmiştir (Beaton vd., 2001). Bilecik Devlet Hastanesi'nde 105 hastaya DASH'in Türkçe geçerlilik ve güvenilirliği gösterilmiş sürümü (Düger vd., 2006) tedaviye başlamadan önce ve tedavi tamamlandıktan sonra uygulanmıştır. DASH kapsamında hastalara 30 soru sorulmuş ve [1-5] arası cevap seçeneği sunulmuştur. Aşağıda anket kapsamında sorulan 30 soru listelenmiş ve Çizelge 5.1'de sorulara ait cevap ölçekleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. DASH cevap seçenekleri

| Soru No | 1                             | 2                      | 3                              | 4                     | 5                                  |
|---------|-------------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| 1-21    | Zorluk yok                    | Hafif derecede zorluk  | Orta derecede zorluk           | Aşırı derecede zorluk | Hiç yapamama                       |
| 22      | Engel yok                     | Az engel               | Orta derecede                  | Bir hayli             | Aşırı                              |
| 23-28   | Hiç kısıtlanmış hissetmiyorum | Hafif derecede kısıtlı | Orta derecede kısıtlı          | Çok kısıtlı           | Bedensel etkinlik yapamıyorum      |
| 29      | Zorluk yok                    | Hafif derecede zorluk  | Orta derecede zorluk           | Aşırı derecede zorluk | O kadar zorluk var ki uyuyamıyorum |
| 30      | Kesinlikle katılmıyorum       | Katılmıyorum           | Ne katılıyorum ne katılmıyorum | Katılıyorum           | Kesinlikle katılıyorum             |

1. Sıkı kapatılmış ya da yeni bir kavanozu açmak
2. Yazı yazmak
3. Anahtarı çevirmek
4. Yemek hazırlamak
5. Zor açılan bir kapıyı iterek açma
6. Yukarıdaki bir rafa bir şey yerleştirmek
7. Ağır ev işleri yapmak (duvar silmek, yer silmek, tamirat yapmak vs. )
8. Bağ bahçe işleri yapmak, odun kesmek
9. Yatak yapmak
10. Alışveriş çantası ya da evrak çantası taşımak
11. Ağır bir cismi taşımak (4.5 kg'dan fazla.)
12. Yukarıdaki bir ampulü değiştirmek
13. Saçları yıkamak veya kurulamak
14. Sırtını yıkamak
15. Kazak giymek
16. Yiyecekleri kesmek için bıçak kullanmak
17. Az çaba gerektiren eğlendirici işler
18. Kolunuzdan, omzunuzdan veya elinizden güç aldığınız veya darbe vurduğunuz eğlenceye yönelik etkinlikler (önünüzde yerde bulunan bir konserve kutusu veya küçük bir taşa iki elinizle kavradığınız bir sopayla yandan vurmak, tenis oynamak, pinpon oynamak )
19. Kolunuzu serbestçe hareket ettirdiğiniz eğlendirici işler (suda taş kaydırmak, meyve taşlama, çelik çomak oynama )
20. Ulaşım ihtiyaçlarını kendi başına giderebilmek (bir yerden başka bir yere gitmek)
21. Cinsel faaliyetler
22. Son hafta süresince kol omuz ya da el probleminiz aile arkadaşlar, komşular veya gruplarla normal sosyal etkinliklerinize ne ölçüde engel oldu
23. Son hafta süresince kol omuz ya da el sorunuz nedeniyle işinizde ya da diğer günlük etkinliklerde kısıtlandınız mı?
24. El, omuz ya da kol ağrınız
25. Herhangi belirli bir işi yaptığınızda el, omuz ya da kol ağrınız

26. El, omuz ya da kolunuzdaki karıncalanma(iğnelenme)
27. El, omuz ya da kolunuzdaki zayıflık
28. El, omuz ya da kolunuzdaki sertlik
29. Geçen hafta içinde el, omuz ya da kol ağrınız nedeniyle uyumada ne kadar zorlandınız
30. Kol, omuz veya el problemimden dolayı kendimi daha az yeterli, daha az yararlı hissediyor ve kendime daha az güveniyorum.

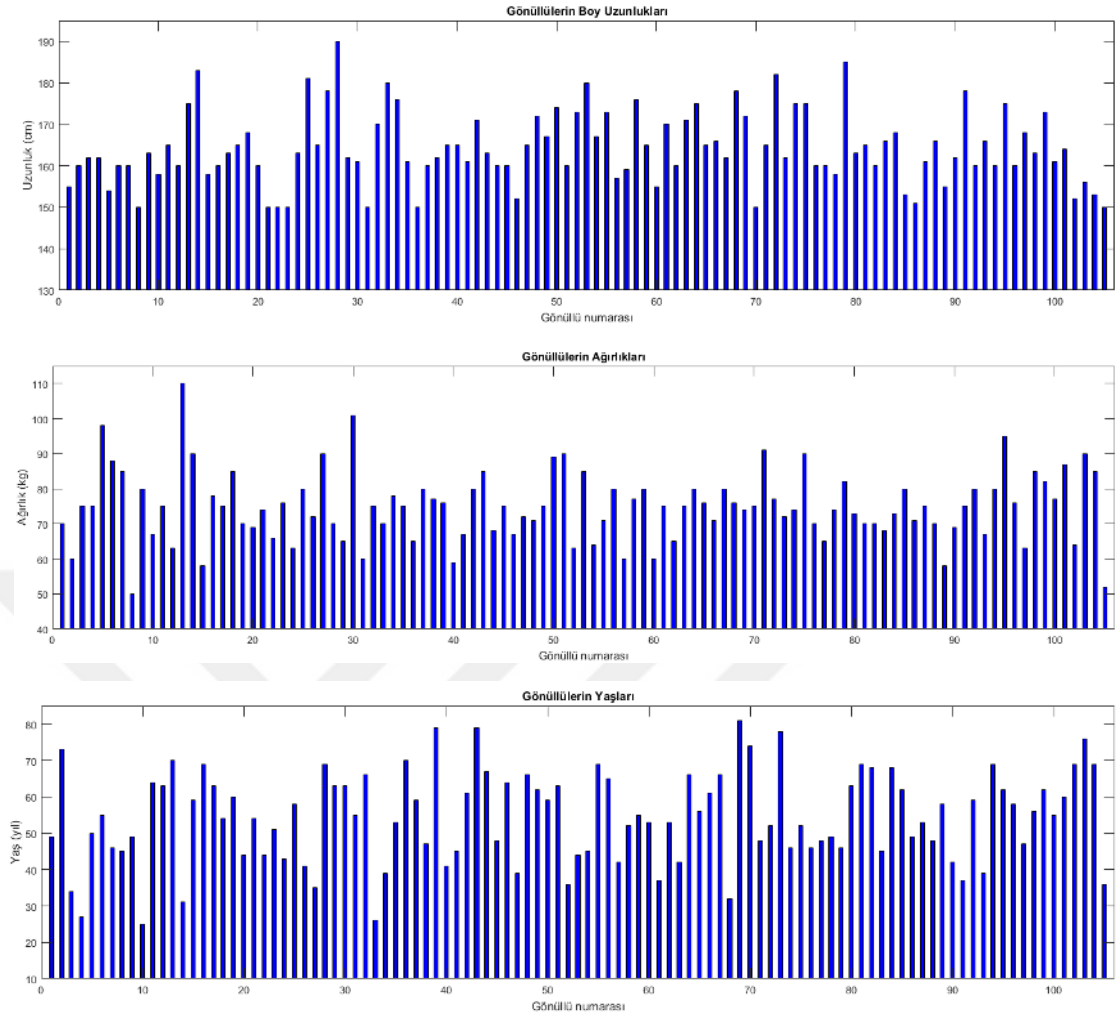
Çizelge 5.1’de gösterildiği üzere çalışmaya katılan hastalar her soruya 1-5 arasında cevaplar vermiştir. Bu cevaplarla Eşitlik 5.8 kullanılarak hastaların DASH sonuçlarına göre semptom puanları hesaplanmıştır. Daha sonra tedavi sonrasındaki semptom puanları ile tedaviye başlamadan önceki semptom puanlarının arasındaki fark alınarak semptom değişimi gözlemlenmiştir.

$$\text{Semptom puanı} = \left( \frac{\text{Toplam Puan}}{\text{Cevaplanan soru sayısı}} - 1 \right) \times 25 \quad (5.8)$$

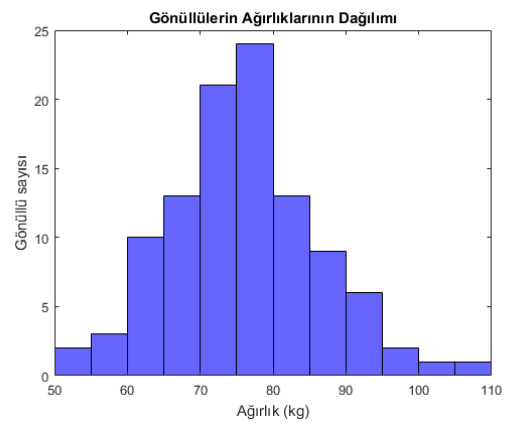
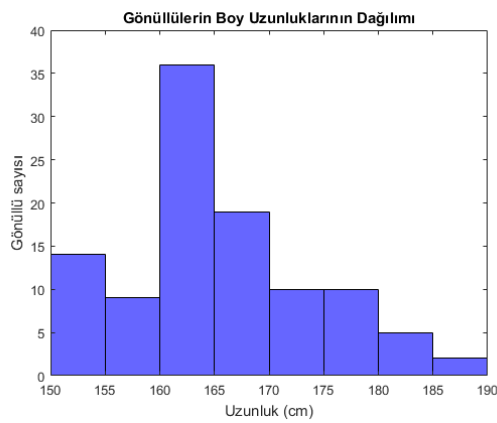
### 5.3 Hastane Verileri

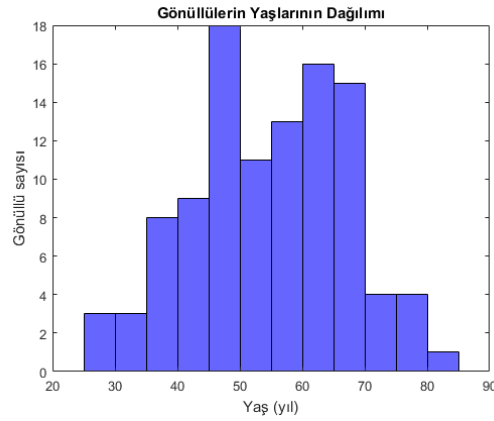
Bilecik Devlet Hastanesi’nde 105 omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastanın tedavi süreçleri incelenmiştir. Bu gönüllülerin tedaviye başlamadan önce demografik bilgileri (boy, yaş, ağırlık, cinsiyet) alınmış, abduksiyon, fleksiyon, iç rotasyon, dış rotasyon, ekstansiyon egzersizlerini ne kadar yapabildikleri klinik gonyometre ile ölçülmüştür. Tedaviye başlamadan önce her hastaya DASH uygulanmış ve sonuçları kayıt altına alınmıştır. Tedavi tamamlandıktan sonra da tüm gönüllülere DASH uygulanmış ve yine tüm egzersizleri ne kadar yapabildikleri klinik gonyometre ile ölçülmüştür. Tüm egzersizler için, tedavi sonrasında alınan açısal ölçümler ile tedavi öncesi alınan açısal ölçümlerin farkları bulunarak egzersiz yapabilme becerilerindeki değişim gözlemlenmiştir.

Çalışmaya gönüllü olarak katılan 105 hastanın 3’üne humerus üst uç kırığı, 13’üne adeziv kapsülit, 31’ine rotator kuf ve 58 tanesine impingement sendromu teşhisi koyulmuştur. Gönüllülerin boy, ağırlık ve yaş grafikleri Şekil 5.4’de, örneklemin boy, ağırlık, yaşlarının dağılım grafikleri ise Şekil 5.5’de verilmiştir.



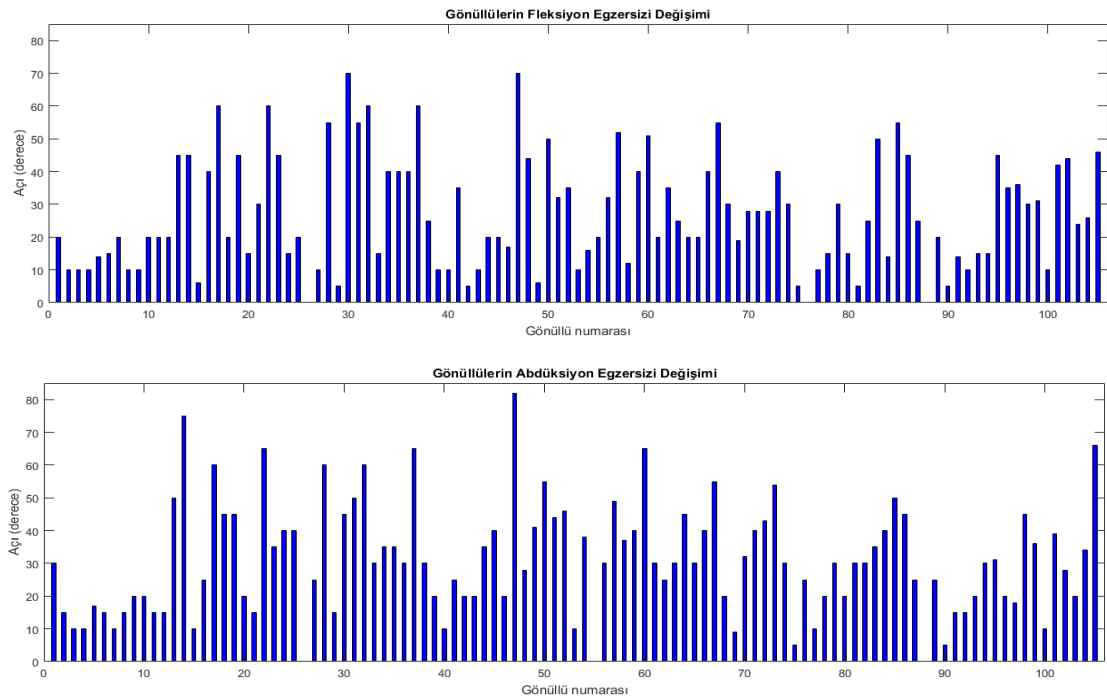
Şekil 5.4. Gönüllülerin boy uzunlukları, vücut ağırlıkları ve yaşları

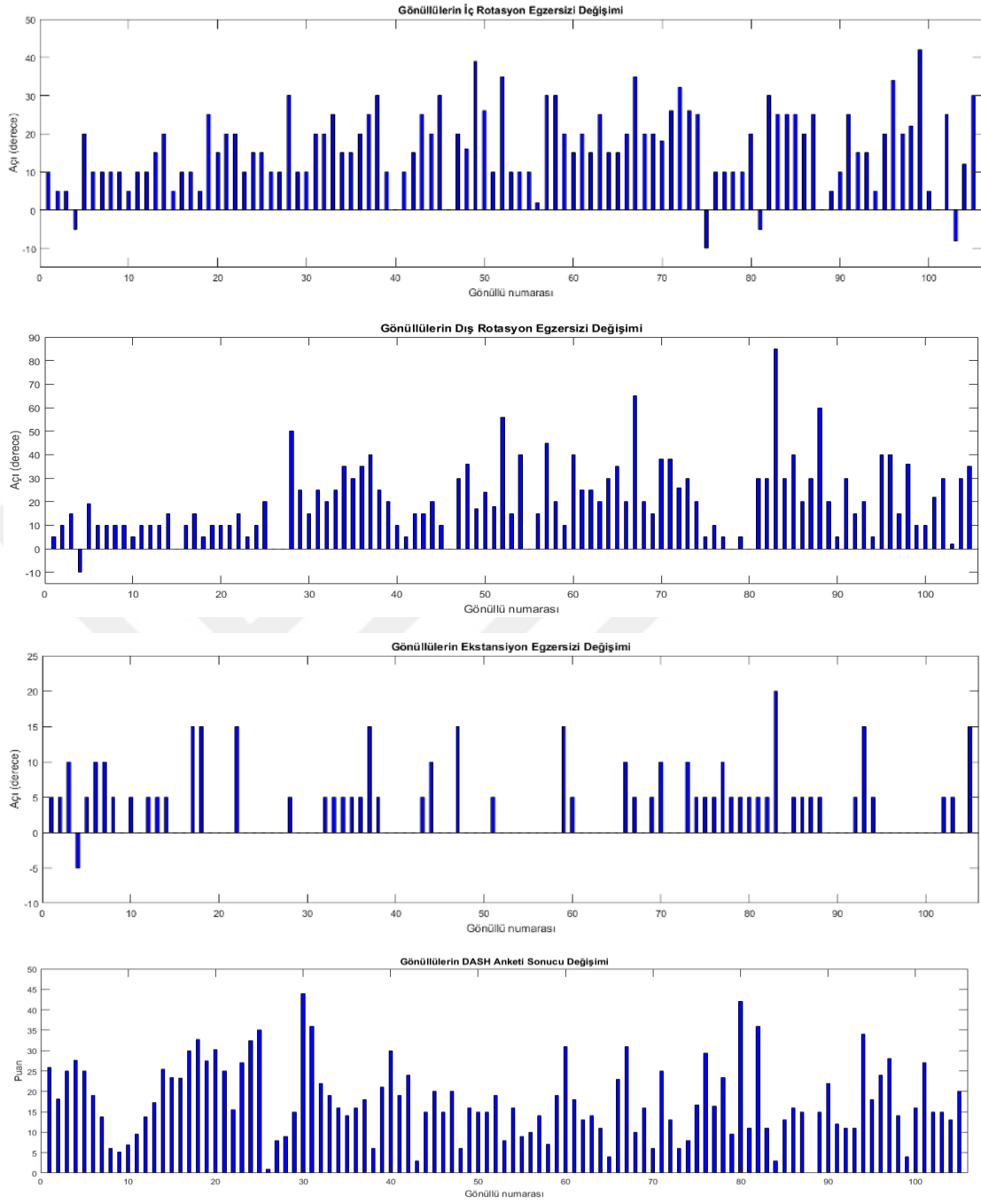




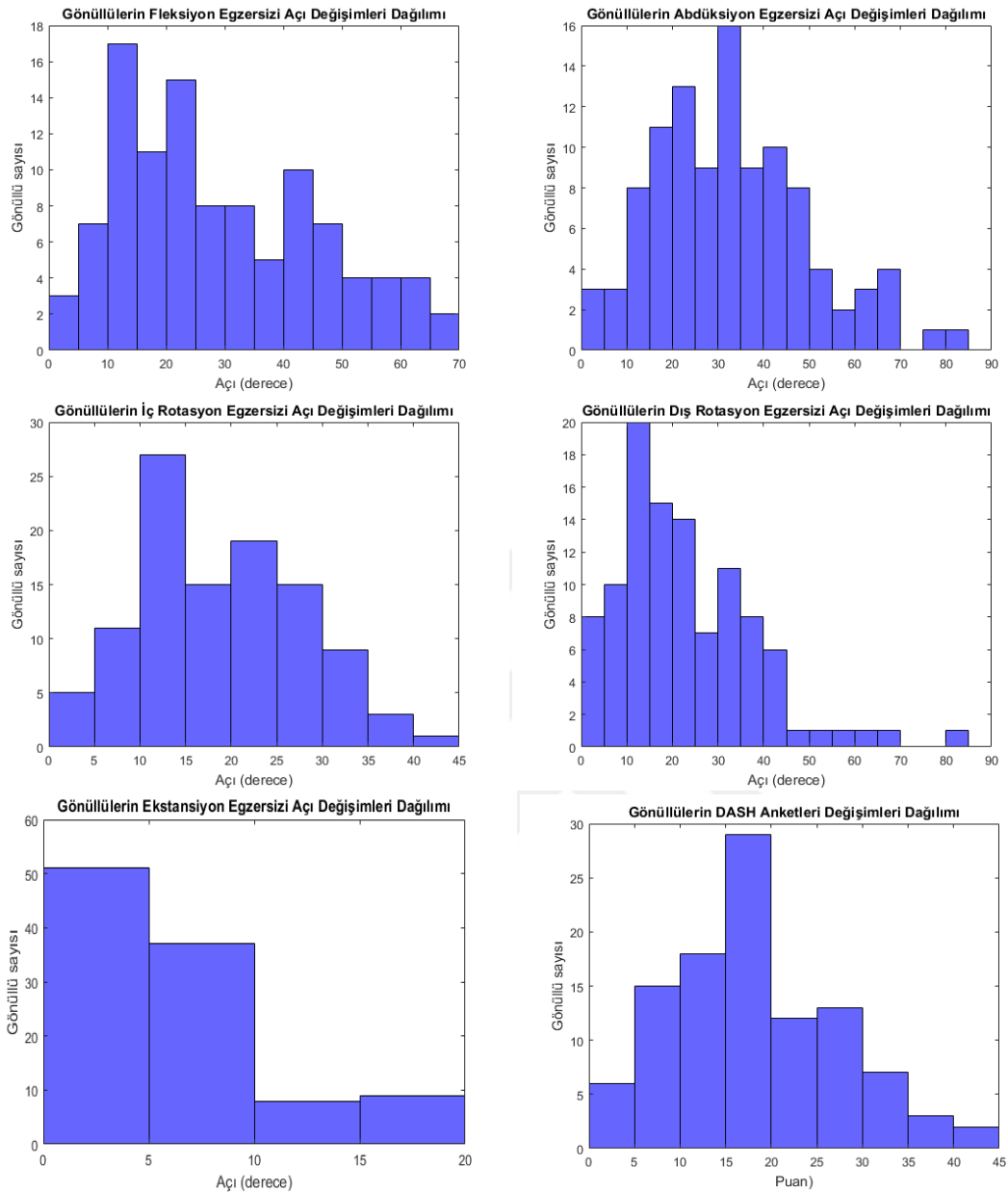
**Şekil 5.5.** Gönüllülerin boy uzunluğu, vücut ağırlığı ve yaşlarının dağılımı

Gönüllülerin abdüksiyon, fleksiyon, iç rotasyon ve ekstansiyon egzersizlerindeki tedavi sonrası ve tedavi öncesindeki açısal ölçümlerinin değişimleri ve DASH sonuçlarının değişimi Şekil 5.6’da verilmiştir. Bu verilerin dağılım grafikleri de Şekil 5.7’de sunulmuştur.





**Şekil 5.6.** Gönüllülerin egzersiz açılarındaki ve DASH sonuçlarındaki değişim



**Şekil 5.7.** Gönüllülerin egzersiz açılarındaki ve DASH sonuçlarındaki değişimlerin dağılımı

Hastanede çalışmaya katılan gönüllülerin boy, vücut ağırlığı, yaş, fleksiyon, abdüksiyon, iç rotasyon, dış rotasyon, ekstansiyon egzersizleri ve DASH sonuçlarının değişimlerinin istatistiki bilgileri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

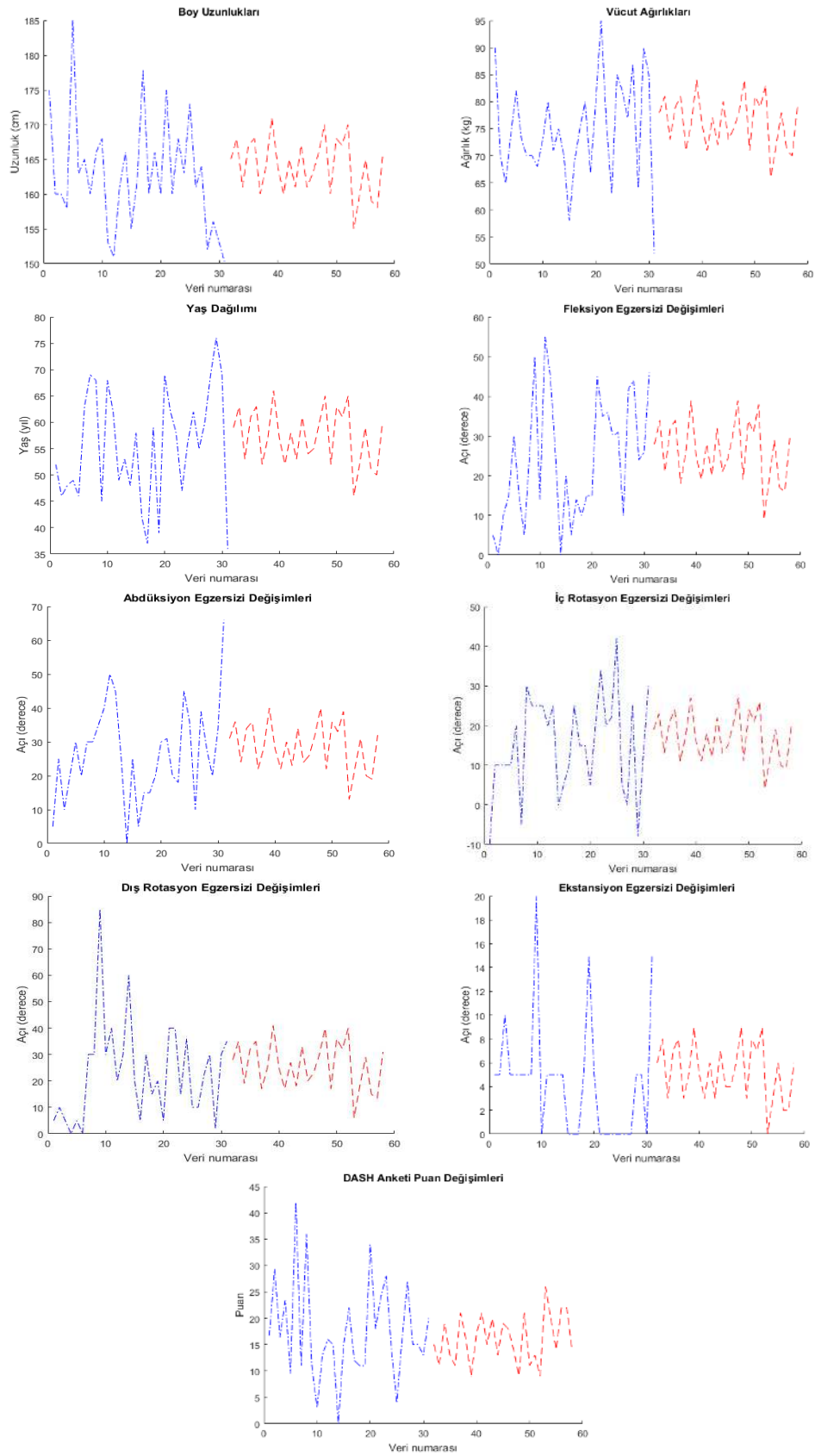
**Çizelge 5.2.** Gönüllü verilerinin en düşük, en yüksek, ortalama ve standart sapma değerleri

|                                           | En Düşük | En Yüksek | Ort.   | Standart Sapma |
|-------------------------------------------|----------|-----------|--------|----------------|
| Boy (cm)                                  | 150.00   | 190.00    | 164.19 | 8.78           |
| Ağırlık (kg)                              | 50.00    | 110.00    | 74.75  | 10.12          |
| Yaş (yıl)                                 | 25.00    | 81.00     | 54.40  | 12.63          |
| Fleksiyon egzersizi açısı değişimi (°)    | 0.00     | 70.00     | 27.21  | 17.07          |
| Abdüksiyon egzersizi açısı değişimi (°)   | 0.00     | 82.00     | 31.02  | 17.06          |
| İç rotasyon egzersizi açısı değişimi (°)  | -10.00   | 42.00     | 16.11  | 10.16          |
| Dış rotasyon egzersizi açısı değişimi (°) | -10.00   | 85.00     | 20.45  | 15.47          |
| Ekstansiyon egzersizi açısı değişimi (°)  | -5.00    | 20.00     | 3.76   | 4.84           |
| DASH Sonucu Değişimi                      | 0.00     | 44.00     | 17.67  | 9.13           |

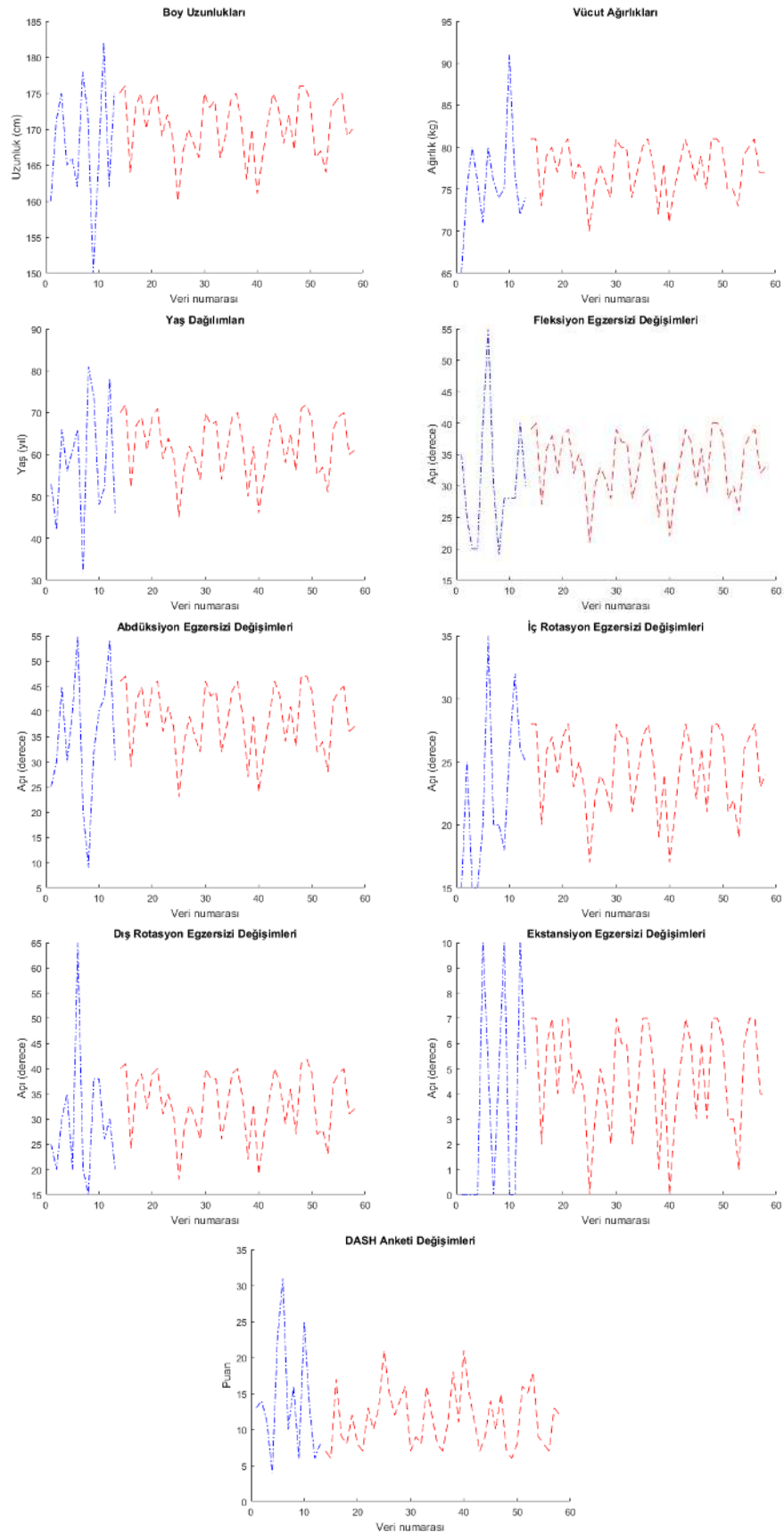
Hastaneden alınan verilerin çoğunun dağılımı tatmin edici olsa da hastalık türlerindeki gönüllü dağılımı yeterli bulunmamıştır. Özellikle humerus üst uç kırığı teşhisi bulunan 3, adeziv kapsülit teşhisi bulunan 13 gönüllü bulunmaktadır. DASH sonuçlarının daha başarılı bir şekilde tahmin edilebilmesi için veri artırımı yapılmasına karar verilmiştir. Veri artırımı ile her hastalık tipindeki veri sayısı eşit hale getirilmiştir. Yani humerus üst kırığı hastalık tipi için 55, adeziv kapsülit hastalık tipi için 45, rotator kuf hastalık tipi için 27 sentetik veri üretilmiştir. Böylece tüm hastalık tiplerine ait 58 olmak üzere toplam 232 veri elde edilmiştir. Verilerin doğruluğunun bozulmaması için Eşitlik 5.2'deki formül ile ortalama değerlerden  $\pm$  standart sapma (Std) değeri aralığında rastgele veriler oluşturulmuştur.

$$Yeni\ Veri = (Ort.\ değer - Std) + Rand \times 2 \times Std \quad (5.2)$$

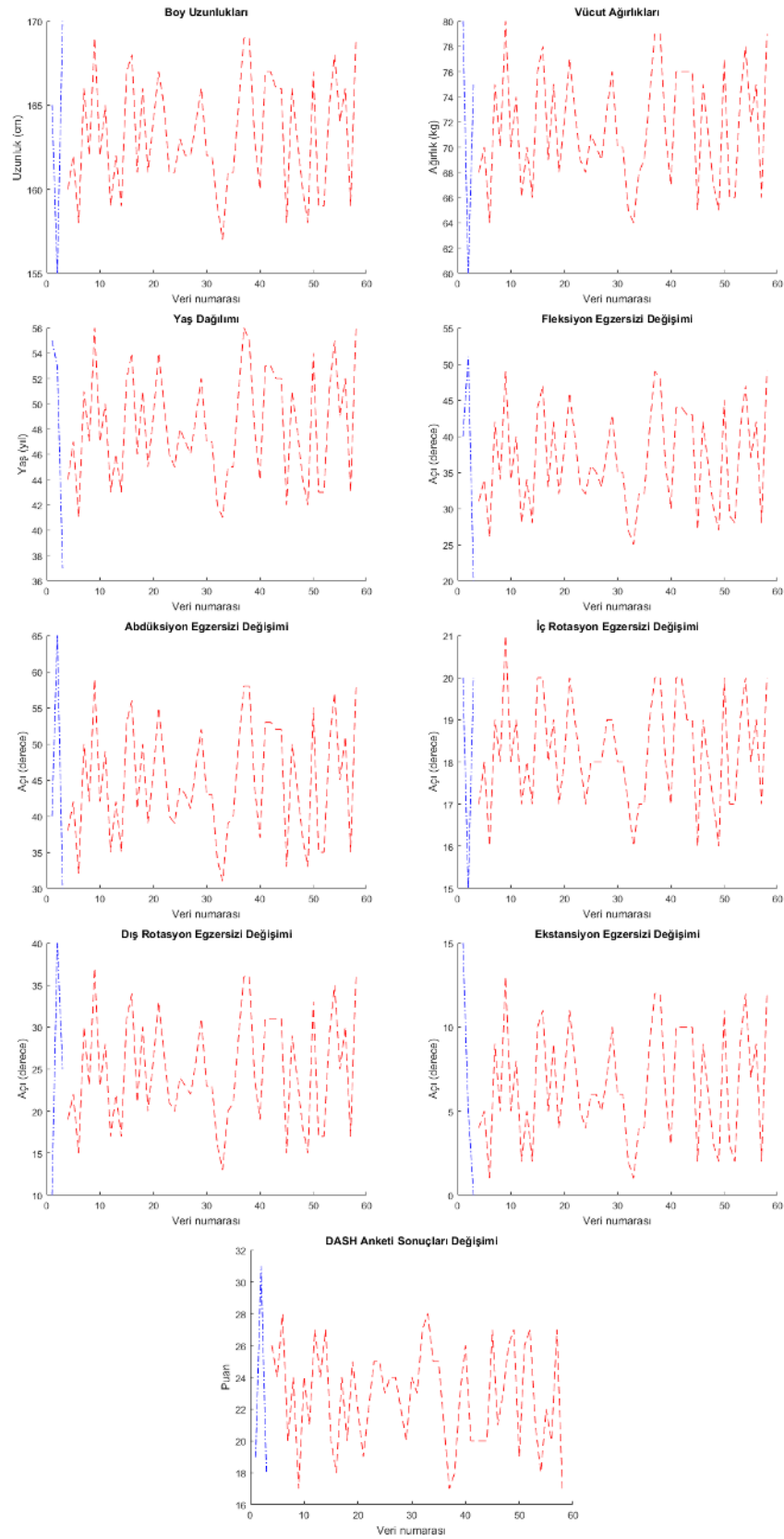
Rotator kuf hastalık tipi için yeni üretilen boy, ağırlık, yaş, fleksiyon, abdüksiyon, iç rotasyon, dış rotasyon ve ekstansiyon egzersizlerindeki açısal değişimler, DASH sonuçlarındaki değişim verileri Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Aynı parametreler için adeziv kapsülit hastalık tipi için üretilen veriler Şekil 5.9'da, humerus üst uç kırığı hastalık tipi için üretilen veriler Şekil 5.10'da verilmiştir. Hastaneden alınan gönüllü verileri mavi ile yeni üretilen veriler kırmızı ile gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Rotator kuf hastalık tipi için üretilen veriler



Şekil 5.9. Adeziv kapsülit hastalık tipi için üretilen veriler

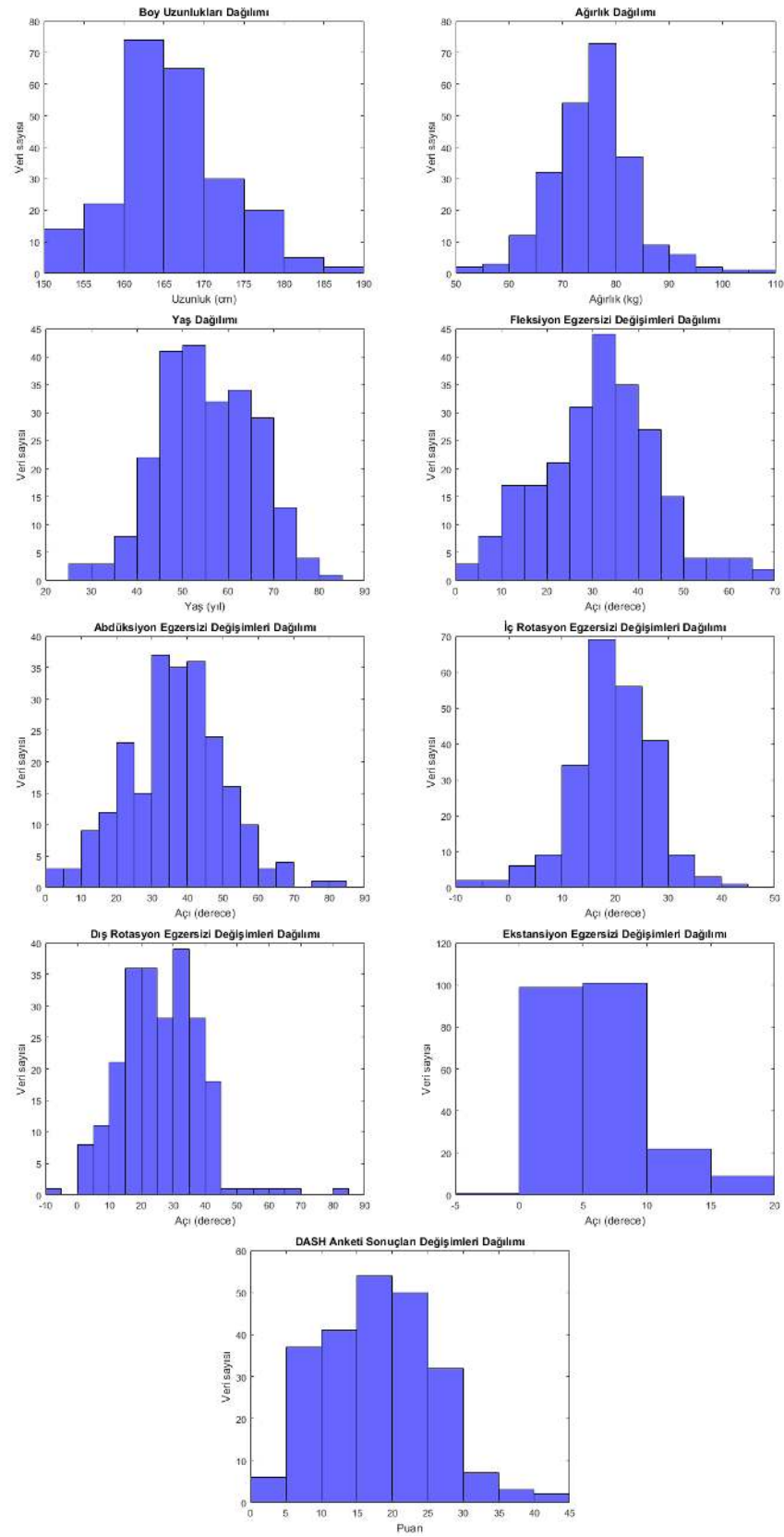


**Şekil 5.10.** Humerus üst uç kırığı hastalık tipi için üretilen veriler

Veri artırımı yapılarak üretilen bu veriler ile birlikte toplam 232 adet veri oluşturulmuştur. Yeni veri setinin boy, ağırlık, yaş, fleksiyon egzersizindeki açısal değişim, abdüksiyon egzersizindeki açısal değişim, iç rotasyon egzersizindeki açısal değişim, dış rotasyon egzersizindeki açısal değişim, ekstansiyon egzersizindeki açısal değişim, DASH sonuçlarındaki değişim verilerinin dağılım grafikleri Şekil 5.11’de en düşük, en yüksek, ortalama, standart sapma değerleri Çizelge 5.3’de verilmiştir.

**Çizelge 5.3.** Artırılmış verilerin en düşük, en yüksek, ortalama ve standart sapma değerleri

|                                           | <b>En Düşük</b> | <b>En Yüksek</b> | <b>Ort.</b> | <b>Standart Sapma</b> |
|-------------------------------------------|-----------------|------------------|-------------|-----------------------|
| Boy (cm)                                  | 150.00          | 190.00           | 165.16      | 7.05                  |
| Ağırlık (kg)                              | 50.00           | 110.00           | 74.70       | 7.71                  |
| Yaş (yıl)                                 | 25.00           | 81.00            | 54.82       | 10.56                 |
| Fleksiyon egzersizi açısı değişimi (°)    | 0.00            | 70.00            | 30.62       | 13.13                 |
| Abdüksiyon egzersizi açısı değişimi (°)   | 0.00            | 82.00            | 35.51       | 14.02                 |
| İç rotasyon egzersizi açısı değişimi (°)  | -10.00          | 42.00            | 18.34       | 7.90                  |
| Dış rotasyon egzersizi açısı değişimi (°) | -10.00          | 85.00            | 24.61       | 12.56                 |
| Ekstansiyon egzersizi açısı değişimi (°)  | -5.00           | 20.00            | 4.78        | 4.01                  |
| DASH Sonucu Değişimi (semptom puanı)      | 0.00            | 44.00            | 17.49       | 7.71                  |



Şekil 5.11. Artırılmış verilerin dağılımları

#### 5.4 MLP Tabanlı DASH Sonuçları Değişimi Tahminleri

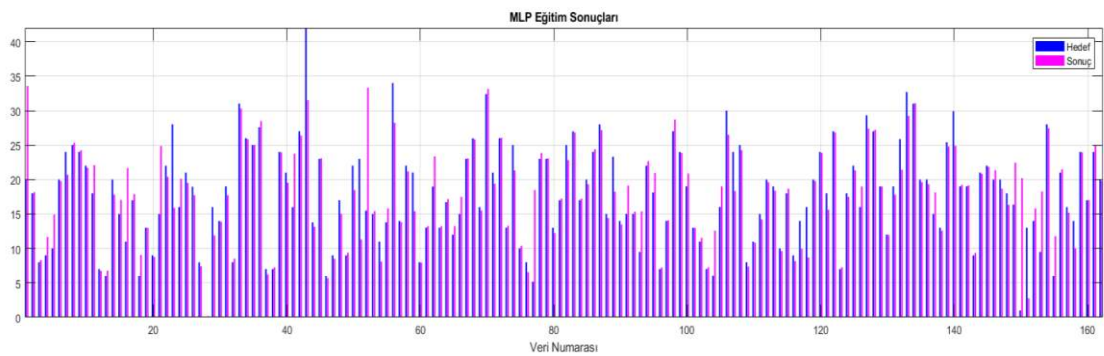
MLP tabanlı DASH sonuçları değişimi tahmini için toplam 232 verinin 162 tanesi (%70'i) eğitim, 70 tanesi (%30'u) test için kullanıldı. Eğitim için hata  $10^{-10}$ 'un altına düşerse veya 1000 tekrar tamamlandığında duracak şekilde ayarlandı. MLP eğitimi için; maksimum doğrulama hatası 50, öğrenme oranı 0.1, momentum sabiti 0.9, minimum performans gradyanı  $10^{-25}$  olarak belirlendi. Her bir tekrarda test ve eğitim için kullanılan veriler kendi içlerinde rastgele karıştırılmıştır.

MLP tabanlı yapay zeka DASH tahmin sistemine 9 adet giriş tanımlanmıştır: hastalık türü, gönüllünün boy, ağırlık ve yaşı, abdüksiyon, fleksiyon, iç rotasyon, dış rotasyon, ekstansiyon egzersizlerinde gönüllünün tedavi sonucundaki ve tedavi öncesindeki yapabildiği en yüksek açıların farkları. Gizli katmanda, Eşitlik 5.3'de gösterilen Tansig aktivasyon fonksiyonu, çıkış katmanında Eşitlik 5.4'de gösterilen Purelin aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Çıkış parametresi olarak DASH değişim sonuçları belirlenmiştir.

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (5.3)$$

$$f(x) = x \quad (5.4)$$

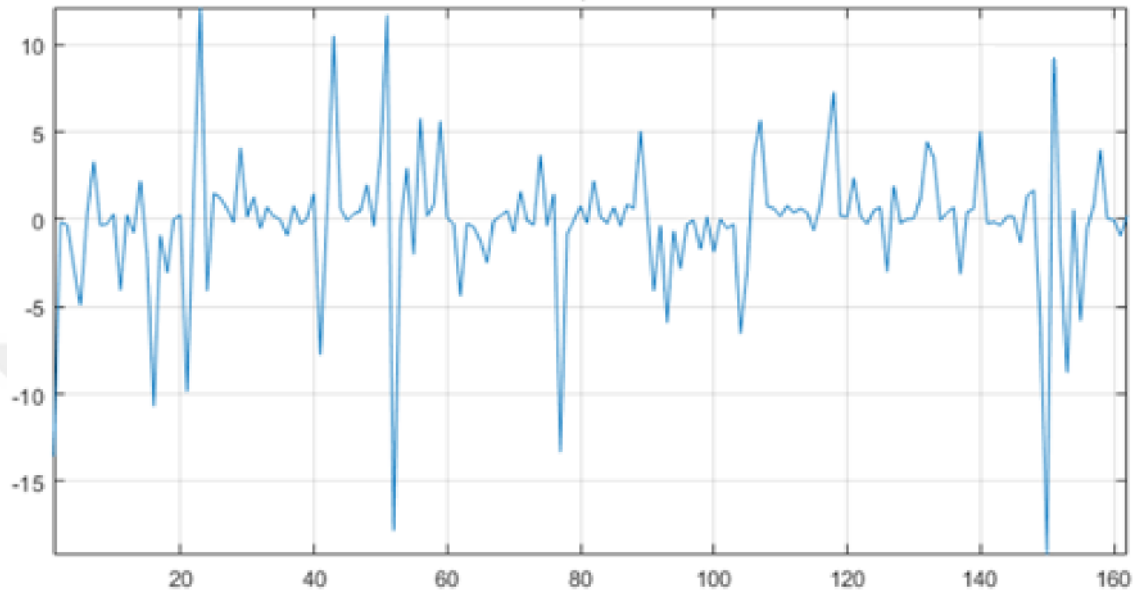
Şekil 5.12'de alınan sonuçlardan bir tanesinin eğitim sonuçları gösterilmektedir. Şekilde 162 eğitim verisine ait hedeflenen DASH değişim sonucu mavi ile elde edilen MLP tahmin sonuçları ise eflatun ile gösterilmiştir.



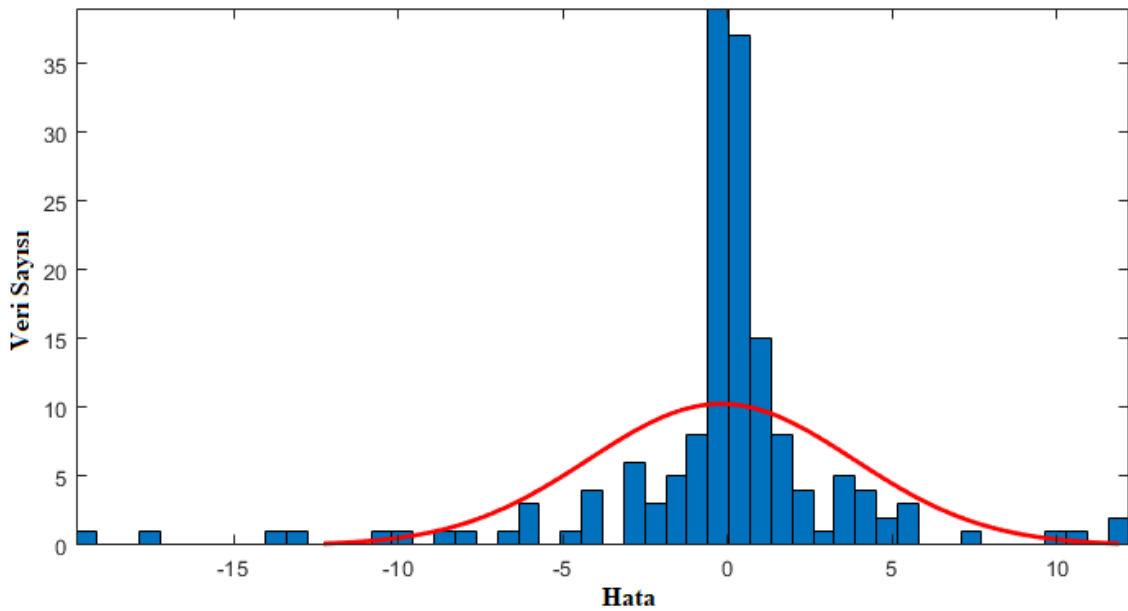
Şekil 5.12. MLP eğitim sonucu

Elde edilen bu sonuç için Şekil 5.13'de eğitim verilerindeki hata değerleri verilmiştir. Ortalama karesel hata (MSE: Mean squared error) 16.1726 olurken, karesel ortalamaların karekökü (RMSE: Root mean squared error) 4.0215 olarak

gerçekleşmiştir. Alınan sonuçlara göre eğitim verilerinde ortalama hatası  $-0.19871$  ve hataların standart sapması  $4.0291$  olarak gerçekleşmiştir. Şekil 5.14’de hataların dağılımları gösterilmiştir.

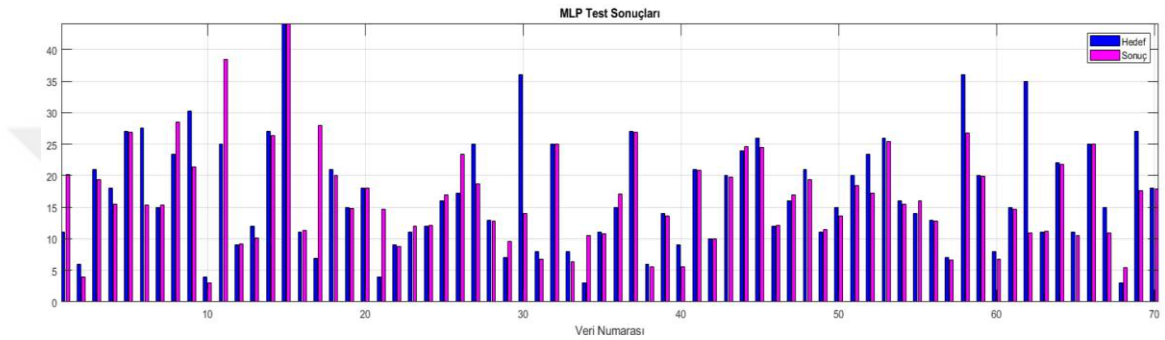


**Şekil 5.13.** MLP eğitim sonucu elde edilen hata grafiği

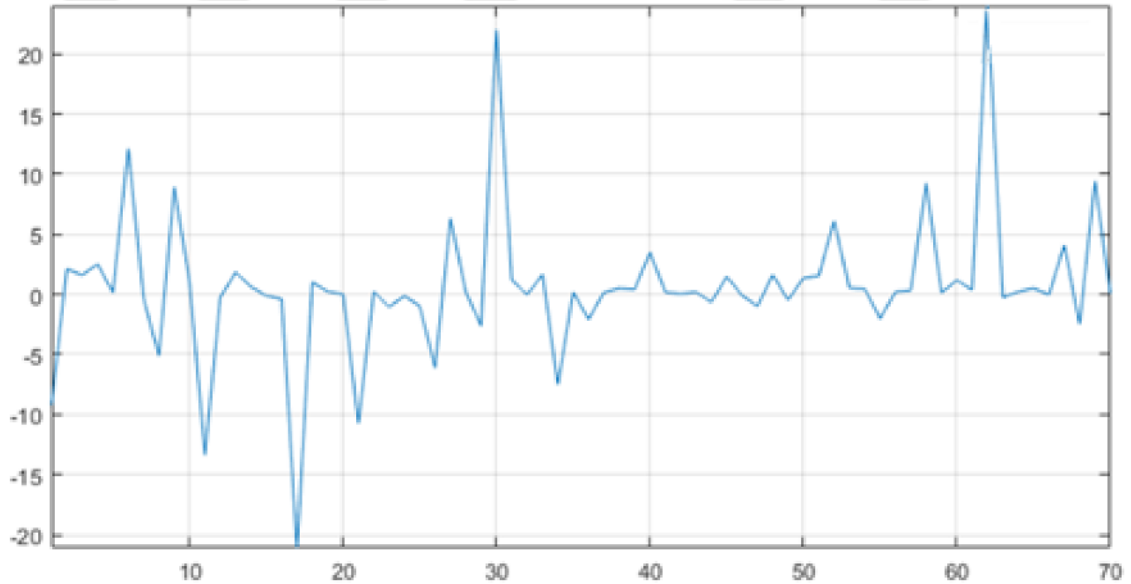


**Şekil 5.14.** MLP eğitim verileri için hata dağılımları

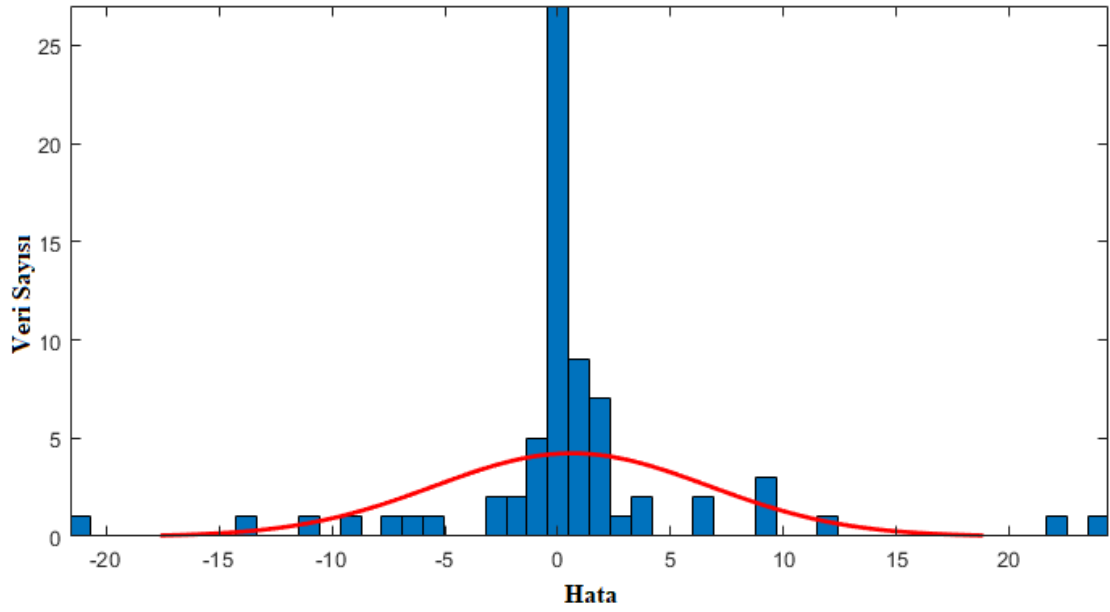
Şekil 5.15’de sonuçların test verilerine ait sonuçları gösterilmektedir. Şekilde 70 test verisine ait hedeflenen DASH sonucu değişimi mavi ile elde edilen tahmin sonuçları ise eflatun ile gösterilmiştir. Şekil 5.16’da test verilerindeki hata değerleri verilmiştir. Ortalama karesel hata 36.7854 olurken, karesel ortalamaların karekökü 6.0651 olarak gerçekleşmiştir. Alınan sonuçlara göre test verilerinde ortalama hata 0.61986 ve hataların standart sapması 6.0769 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 5.17’de hataların dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 5.15. MLP test sonucu

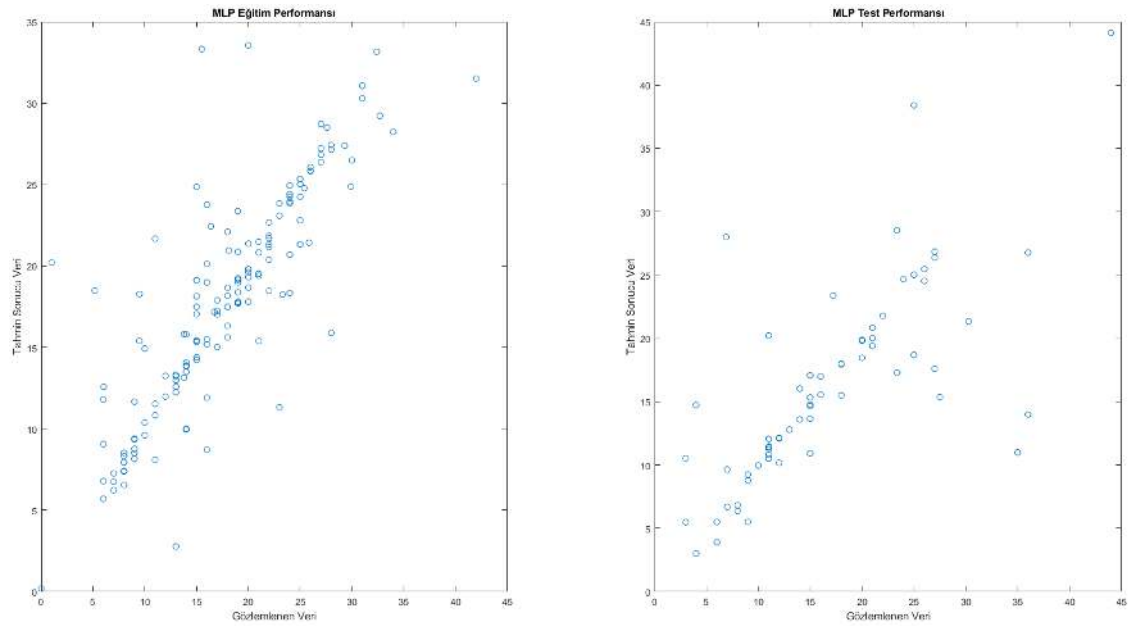


Şekil 5.16. MLP test sonucu elde edilen hata grafiği



**Şekil 5.17.** MLP test sonucu elde edilen hata dağılımları

Sonuçlardan görüldüğü üzere eğitim sonuçları test sonuçlarından daha az hata ile gerçekleşmiştir. Şekil 5.18’de test ve eğitim performansları kıyaslanmıştır. Şekilde alınan sonuçlar ile beklenen sonuçlar aynı düzlemde gösterilmiştir. Yine performans grafiğinden de eğitim sonuçlarının test sonuçlarına göre daha başarılı olduğu gözlemlenmektedir.



**Şekil 5.18.** MLP eğitim ve test performansı karşılaştırması

Bu çalışma 1000 defa tekrarlanarak eğitim ve test verilerinin ayrı olarak ortalama karesel hataları ve toplam karesel hataları kaydedilmiştir. Çizelge 5.4’de yapılan 1000 tekrar için alınan sonuçlar verilmektedir.

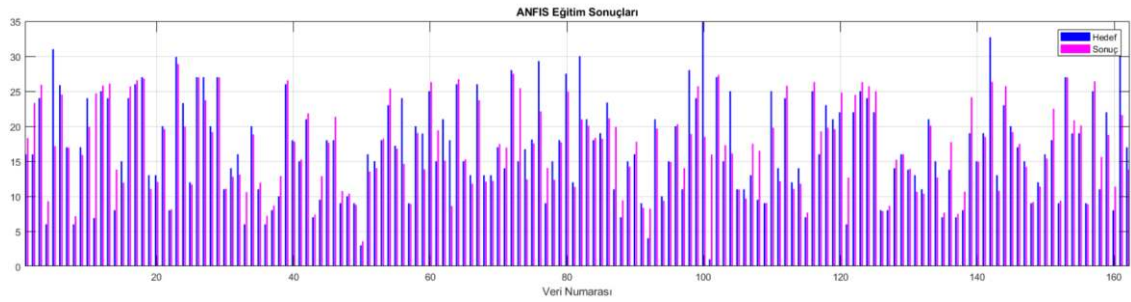
**Çizelge 5.4.** MLP tabanlı DASH değişim tahmini sonuçları (1000 tekrar)

|                | Test Verileri         |                     | Eğitim Verileri       |                     |
|----------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
|                | Ortalama karesel hata | Toplam karesel hata | Ortalama karesel hata | Toplam karesel hata |
| En iyi sonuç   | 0.002489564           | 0.174269445         | 0.005126830           | 0.830546455         |
| Ortalama sonuç | 0.018369279           | 1.285849507         | 0.018431485           | 2.985900650         |
| En kötü sonuç  | 0.067960380           | 4.757226623         | 0.069869765           | 11.31890195         |
| Standart sapma | 0.008635491           | 0.604484357         | 0.007300736           | 1.182719271         |

### 5.5. ANFIS Tabanlı DASH Sonuçları Değişimi Tahminleri

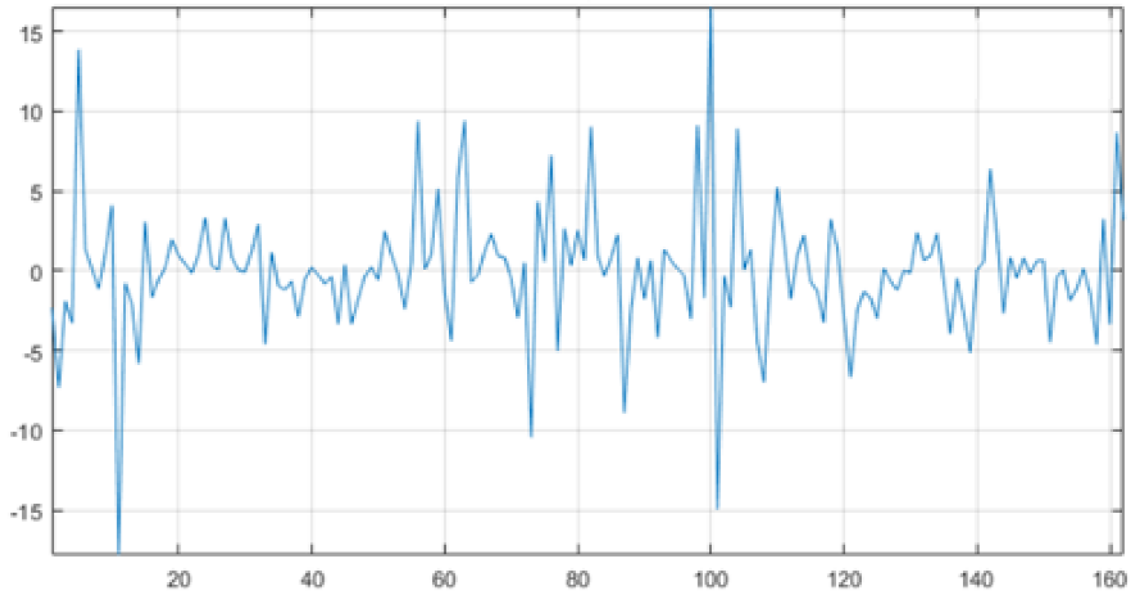
ANFIS tabanlı DASH sonuçları değişimi tahmini için toplam 232 verinin 162 tanesi (%70’i) eğitim, 70 tanesi (%30’u) test için kullanılmıştır. En fazla tekrar 1000 olarak ayarlanmıştır. ANFIS parametreleri; eğitim adım boyutu 0.01, adım boyutu düşürme oranı 0.9, adım boyutu artırma oranı 1.1 olarak seçilmiştir. Eğitim metodu olarak geriye yayılım yöntemi kullanılmıştır. Her bir tekrarda test ve eğitim için kullanılan veriler rastgele karıştırılmıştır.

Bu çalışmada ANFIS için 9 adet giriş tanımlandı: hastalık türü, gönüllünün boy, ağırlık ve yaşı, abduksiyon, fleksiyon, iç rotasyon, dış rotasyon, ekstansiyon egzersizlerinde gönüllünün tedavi sonucundaki ve tedavi öncesindeki yapabildiği en yüksek açıların farkları. Çıkış parametresi olarak DASH sonuçları belirlendi. Şekil 5.19’da tekrarlı eğitimlerden bir tanesinin sonuçları gösterilmektedir. Şekilde 162 eğitim verisine ait hedeflenen DASH sonucu değişimi mavi ile elde edilen tahmin sonuçları ise eflatun ile gösterilmiştir.

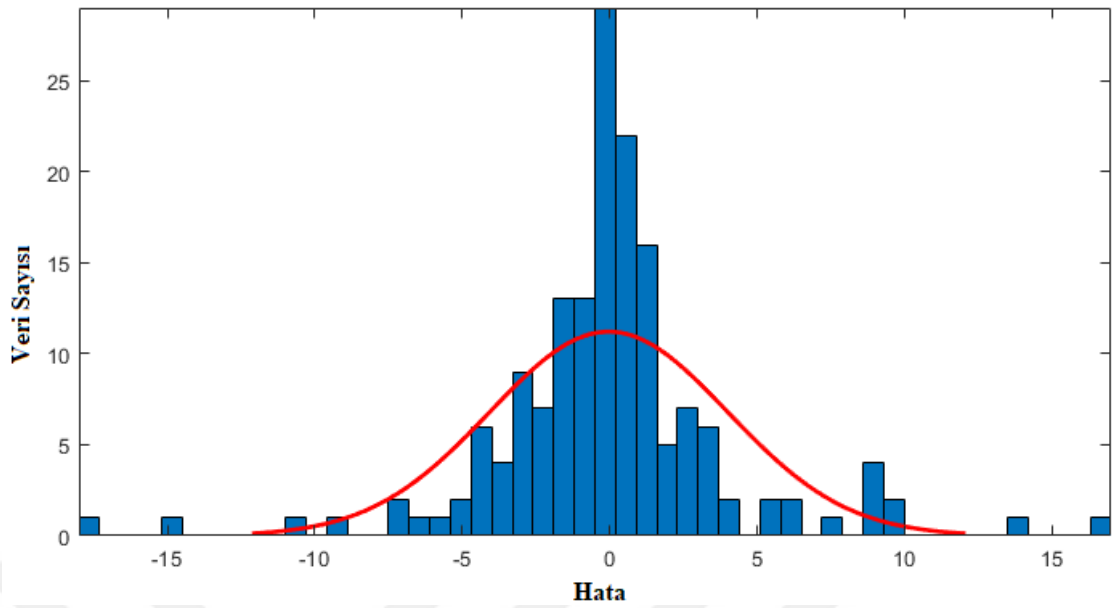


**Şekil 5.19.** ANFIS eğitim verileri sonuç hedef karşılaştırması

Elde edilen bu sonuç için Şekil 5.20’de eğitim verilerindeki hata değerleri verilmiştir. Ortalama karesel hata 16.176, olurken karesel ortalamaların karekökü 4.022 olarak gerçekleşmiştir. Alınan sonuçlara göre eğitim verilerinde ortalama hata - 0.033442 ve hataların standart sapması 4.0343 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 5.21’de hataların dağılımları gösterilmiştir.

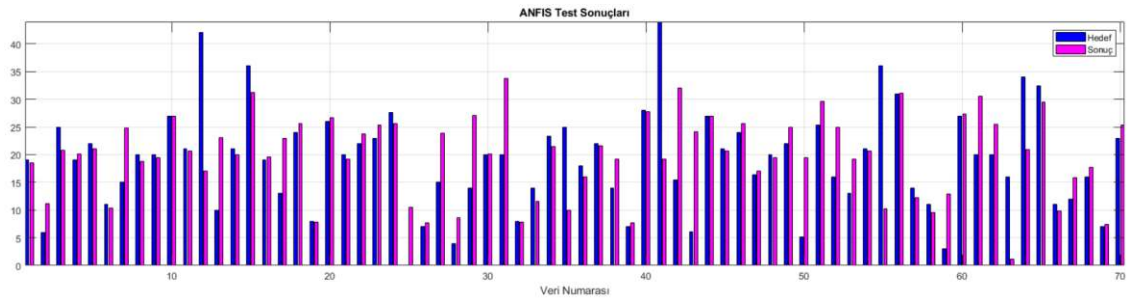


**Şekil 5.20.** ANFIS eğitim sonucu elde edilen hata grafiği

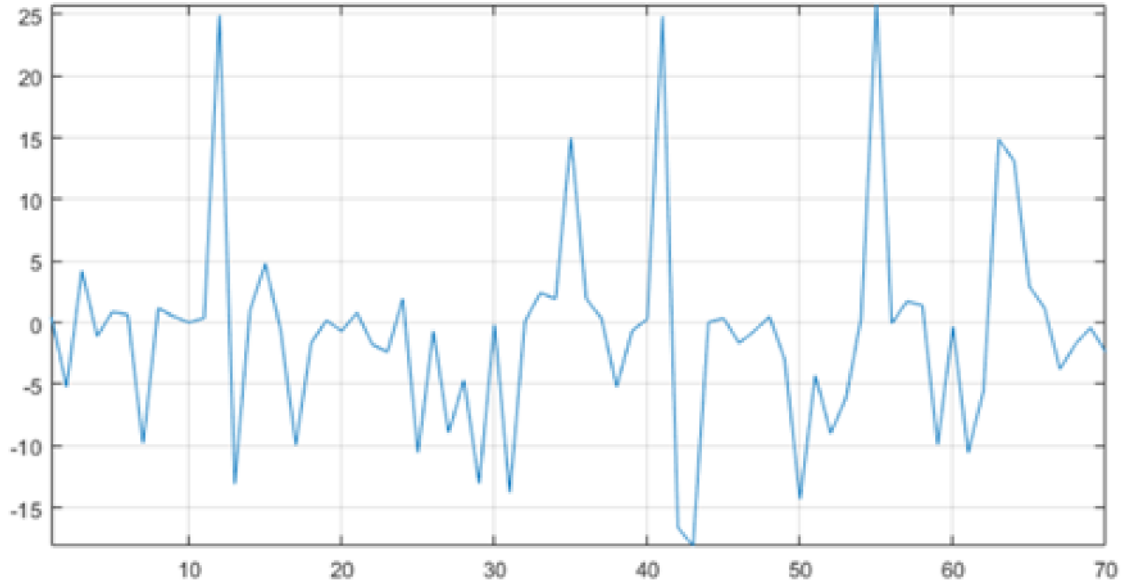


**Şekil 5.21.** ANFIS eğitim sonucu elde edilen hata dağılımları

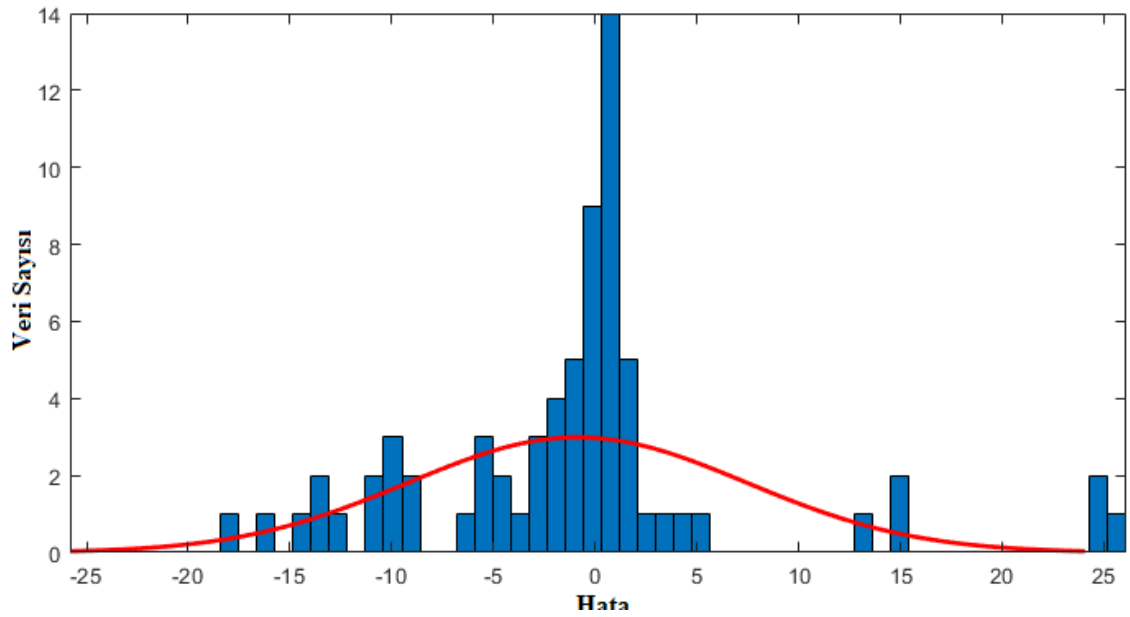
Şekil 5.22’de sonuçların test verilerine ait sonuçları gösterilmektedir. Şekilde 70 test verisine ait hedeflenen DASH sonucu değişimi mavi ile elde edilen tahmin sonuçları ise eflatun ile gösterilmiştir. Şekil 5.23’de test verilerindeki hata değerleri verilmiştir. Ortalama karesel hata 68.8689 olurken karesel ortalamaların karekökü 8.2987 olarak gerçekleşmiştir. Alınan sonuçlara göre test verilerinde ortalama hata -0.8709 ve hataların standart sapması 8.3125 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 5.24’de hataların dağılımları gösterilmiştir.



**Şekil 5.22.** ANFIS test verileri sonuç hedef karşılaştırması

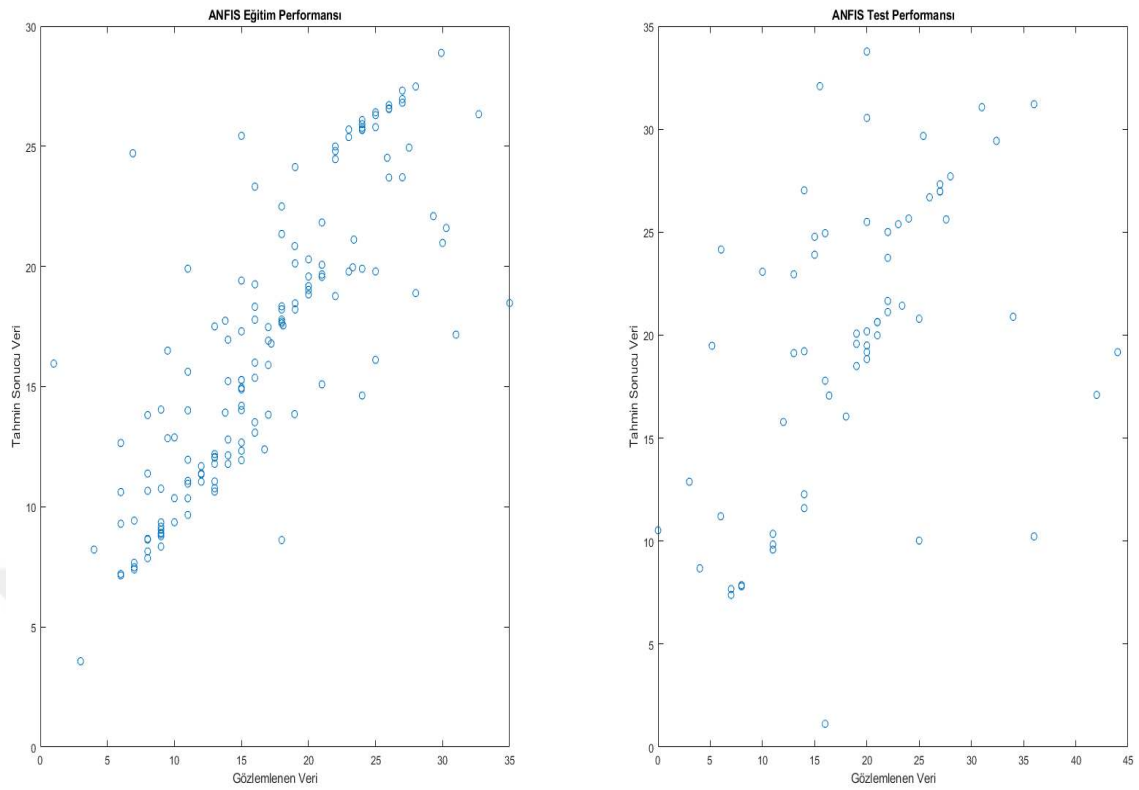


**Şekil 5.23.** ANFIS test sonucu elde edilen hata grafiği



**Şekil 5.24.** ANFIS test sonucu elde edilen hata dağılımları

Sonuçlardan görüldüğü üzere eğitim sonuçları test sonuçlarından daha az hata ile gerçekleşmiştir. Şekil 5.25’de test ve eğitim performansları kıyaslanmıştır. Şekilde alınan sonuçlar ile beklenen sonuçlar aynı düzlemde gösterilmiştir. Yine performans grafiğinden de eğitim sonuçlarının test sonuçlarına göre daha başarılı olduğu gözlemlenmektedir.

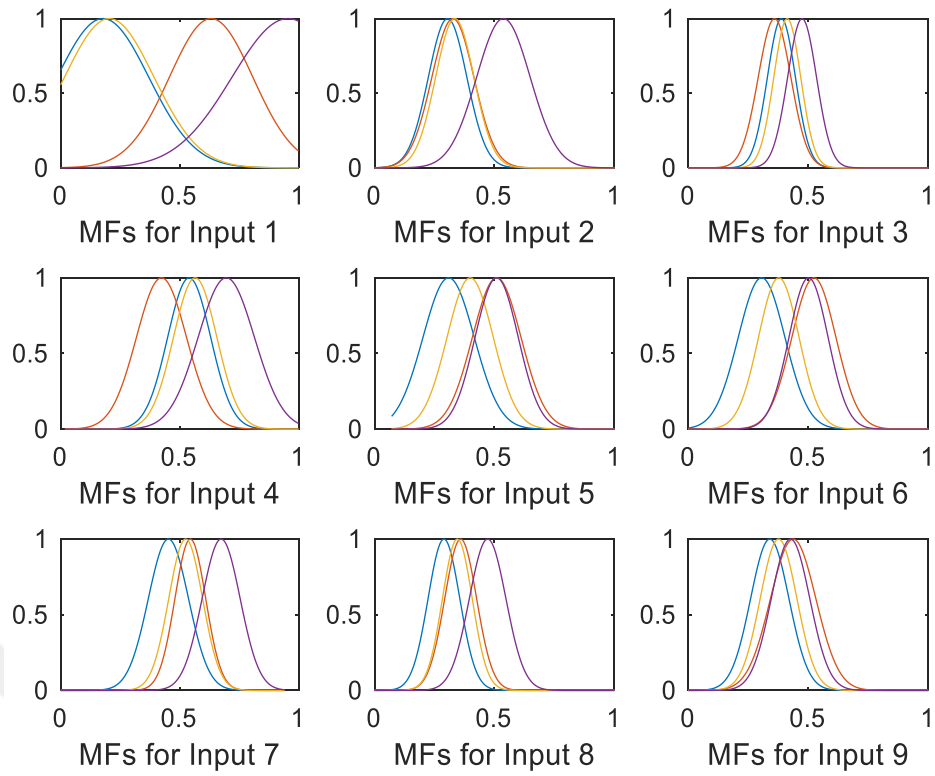


**Şekil 5.25.** ANFIS eğitim ve test performansı karşılaştırması

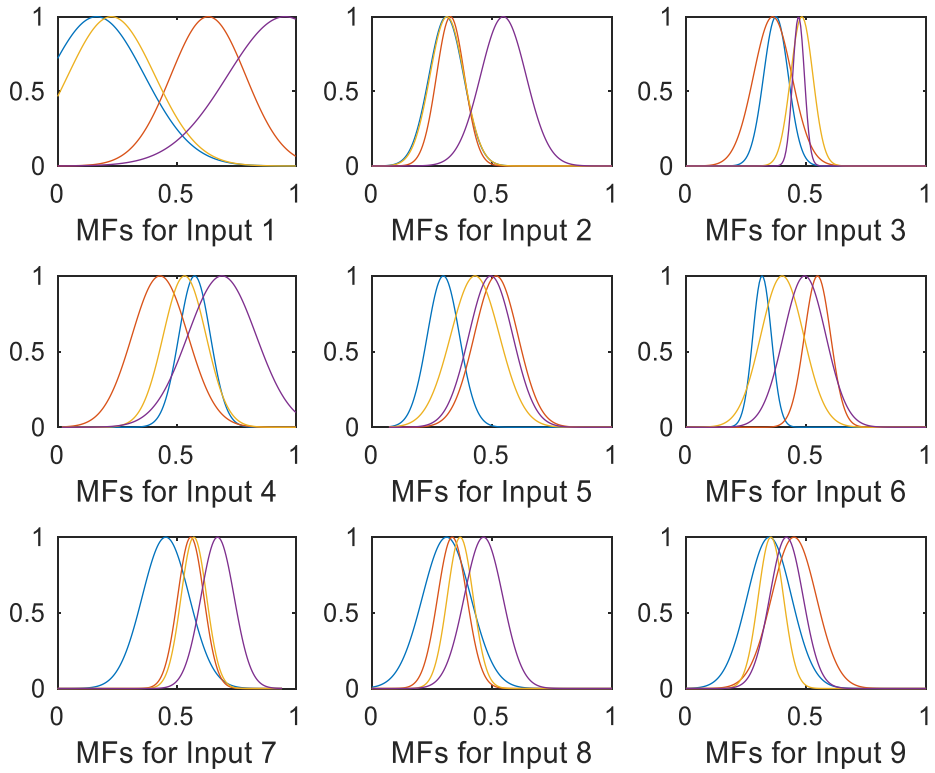
Bu çalışma 1000 defa tekrarlanarak eğitim ve test verilerinin ayrı olarak ortalama karesel hataları ve toplam karesel hataları kaydedilmiştir. Çizelge 5.5’de yapılan 1000 tekrar için alınan sonuçlar verilmektedir. Şekil 5.26’da ANFIS modeli başlangıç üyelik fonksiyonları, Şekil 5.27’de eğitim sonunda üyelik fonksiyonları değişimleri gösterilmektedir.

**Çizelge 5.5.** ANFIS tabanlı DASH sonuçları değişimi tahminin 1000 tekrar sonuçları

|                | Test Verileri         |                     | Eğitim Verileri       |                     |
|----------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
|                | Ortalama karesel hata | Toplam karesel hata | Ortalama karesel hata | Toplam karesel hata |
| En iyi sonuç   | 0.009419178           | 0.659342481         | 0.004227670           | 0.684882474         |
| Ortalama sonuç | 0.025559249           | 1.789147424         | 0.009388374           | 1.520916609         |
| En kötü sonuç  | 0.050898412           | 3.562888865         | 0.013934821           | 2.257440968         |
| Standart sapma | 0.006084605           | 0.425922361         | 0.001629082           | 0.263911242         |



**Şekil 5.26.** ANFIS modeli başlangıç üyelik fonksiyonları



**Şekil 5.27.** ANFIS modeli eğitim sonunda üyelik fonksiyonları değişimleri

### 5.6 MLP tabanlı DASH Değişimi Tahmininin FizMenU'ya Entegrasyonu

Yapılan DASH sonuçları değişimi tahmininden sonra MLP yöntemi ile yapılan tahminler FizMenU'ya entegre edilmiştir. Bu çalışma yine Visual Studio 2019 Enterprise ortamında C# kullanılarak yapılmıştır.

FizMenU veri tabanına MLP ağırlık değerlerinin ve türlerinin tutulması amacıyla 2 adet yeni tablo eklemiştir. En iyi ortalama karesel hata sonucuna sahip MLP tabanlı DASH sonucu değişimi tahminine ait ağırlık ve bias değerleri bu tablolara yazılmıştır. Giriş parametrelerinden hastalık türü, boy, ağırlık ve yaş FizMenU veritabanından çağırılmıştır. Hatalı sonuç riskini düşürmek için abdüksiyon, fleksiyon, iç rotasyon, dış rotasyon, ekstansiyon egzersizlerinin ilk ve son 2 seanslardaki ölçüm değerlerinden en yüksek olanı kullanılmıştır. Yazılan sınıf vasıtasıyla gerekli matematiksel işlemler yapılarak DASH sonucu değişimi bulunmuştur. Veritabanında bulunan ilk DASH puanından, bulunan değişim sonucu çıkarılarak, tedavi sonundaki DASH sonucu tahmin edilmiştir. Şekil 5.28'de gösterildiği üzere FizMenU'nun fizik tedavi uzmanı kullanıcısının hasta verileri sayfasına eklenmiştir. Verileri eksik olan gönüllülerin bu sonucu hesaplanamamaktadır.

The screenshot displays the FizMenu application interface. On the left is a dark sidebar with a menu containing 'Ana Sayfa' and 'Hasta İşlemleri'. The main content area has a header with the name 'abdu'. Below this, a red-bordered box highlights a prediction result: 'Tahmin Edilen Tedavi Sonu Dash Sonucu : 15,16' and 'Tedavi Başlangıcındaki DASH skoru : 59'. Underneath, there are input fields for 'Kan Grubu:', 'Cinsiyet:', 'Doğum Tarihi:', 'Eposta:', 'Telefon:', and 'Adres:'. To the right of these fields is the label 'Kişisel Veriler'. Below the input fields is a section titled 'Notlar'. At the bottom, there are two blue buttons labeled 'Sol Omuz Abdüksiyon Sonuçları' and 'Sol Omuz Fleksiyon Sonuçları'.

Şekil 5.28. FizMenU DASH Sonucu Tahmini

## 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastaların fizik tedavi süreçlerindeki egzersizlerini doğru ve etkili bir şekilde yapabilmeleri, tedavi sürecinin fizik tedavi uzmanı tarafından anlık olarak izlenebilmesi için Kinect v2 tabanlı bir fizik tedavi mentör uygulaması önerilmiştir. Aynı zamanda tez kapsamında yapay zeka yöntemleri ile hastaların iyileşme durumlarını ölçen DASH sonucu tahminleri yapan bir çalışma gerçekleştirilmiştir ve bu çalışma geliştirilen fizik tedavi mentör uygulamasına entegre edilerek, sistemin gerçek zamanlı DASH sonucu tahminleri yapabilmesi sağlanmıştır.

Tez kapsamında geliştirilen fizik tedavi mentör uygulamasının, doğru ölçümler yapıp yapmadığının tespit edilebilmesi için geçerlilik, güvenilirlik testleri yapılmıştır. Geliştirilen sistem Bilecik Devlet Hastanesi'nde gerçek hastalar üzerinde denenerek geleneksel yöntemlere göre etkinliği araştırılmıştır. Hastanede gerçekleştirilen bu testler ve daha sonra elde edilen veriler ile MLP ve ANFIS modelleri ile DASH sonucu tahminleri yapılmıştır.

40 gönüllü üzerinde yapılan geçerlilik testlerinde; Kinect v2 tabanlı ölçüm sistemi klinik gonyometrenin ölçümlerindeki ortalama sapma; abduksiyon egzersizi için  $0.33^\circ$ , fleksiyon egzersizi için  $-2.83^\circ$ , dış rotasyon egzersizi için  $-0.50^\circ$ , iç rotasyon egzersizi için  $-6.67^\circ$  ve ekstansiyon egzersizi için  $-0.10^\circ$  olarak tespit edilmiştir. Kinect v2 tabanlı ölçüm sistemi ile dijital gonyometre ölçümleri arasındaki ortalama sapmalar ise; abduksiyon egzersizi için  $1.10^\circ$ , fleksiyon egzersizi için  $-1.63^\circ$ , dış rotasyon egzersizi için  $-0.38^\circ$ , iç rotasyon egzersizi için  $-5.35^\circ$  ve ekstansiyon egzersizi için  $-0.03^\circ$  olarak tespit edilmiştir. Kinect v2 tabanlı ölçüm sistemi klinik gonyometrenin ölçümlerindeki %95 LOA sonuçları; abduksiyon egzersizi için  $-4.86^\circ +5.51^\circ$ , fleksiyon egzersizi için  $-9.88^\circ +4.23^\circ$ , dış rotasyon egzersizi için  $-21.42^\circ +8.07^\circ$ , iç rotasyon egzersizi için  $-7.55^\circ +6.55^\circ$  ve ekstansiyon egzersizi için  $-1.69^\circ +1.49^\circ$  olarak tespit edilmiştir. Kinect v2 tabanlı ölçüm sistemi ile dijital gonyometre ölçümlerindeki %95 LOA sonuçları; abduksiyon egzersizi için  $-2.63^\circ +4.83^\circ$ , fleksiyon egzersizi için  $-9.03^\circ +5.68^\circ$ , dış rotasyon egzersizi için  $-18.30^\circ +7.60^\circ$ , iç rotasyon egzersizi için  $-6.11^\circ +5.36^\circ$  ve ekstansiyon egzersizi için  $-0.28^\circ +0.33^\circ$  olarak tespit edilmiştir.

Geliştirilen Kinect v2 tabanlı ölçüm sisteminin, klinik standartlı klinik gonyometre ve dijital gonyometreye göre geçerliliği gösterilmiştir. Geçerlilik çalışması

için altın standartlı olan 3 boyutlu izleme cihazları ile karşılaştırılması sistemin altın standart da kabul edilirliliğini gösterebilirdi. Ancak tez çalışmasının yapıldığı yerde bu imkan bulunmadığı için kıyaslama klinik standartlı gereçler ile yapılmıştır. Fizik tedavi merkezlerinin birçoğunun gonyometreler ile ölçümlerini gerçekleştirdiği göz önüne alındığında, geliştirilen sistemin klinik standartta geçerliliğinin olması yeterli görünmektedir.

Kinect v2 tabanlı ölçüm sisteminin güvenirlilik testlerinde abduksiyon egzersizi için SEM  $1.35^{\circ}$ , MDC  $3.74^{\circ}$  ve ICC 0.861 olarak bulunmuştur. Fleksiyon egzersizinin SEM değeri  $1.40^{\circ}$ , MDC değeri  $3.87^{\circ}$  ve ICC değeri 0.851, iç rotasyon egzersizinin SEM değeri  $1.98^{\circ}$ , MDC değeri  $5.49^{\circ}$  ve ICC değeri 0.874, dış rotasyon egzersizinin SEM değeri  $0.96^{\circ}$ , MDC değeri  $2.65^{\circ}$  ve ICC değeri 0.965 tespit edilmiştir. Ekstansiyon egzersizi için ise SEM değeri  $0.43^{\circ}$ , MDC değeri  $1.19^{\circ}$  ve ICC değeri 0.620 olarak gerçekleşmiştir.

Literatüre bakıldığında güvenirlilik test düzenekleri genel olarak iki farklı zamanlı ölçüm arasında kıyaslama yaparlar. Ancak bu tez çalışmasında yapılan güvenirlilik testi, veri kaybolması risklerini önlemek ve güvenirliliğini arttırmak amacı ile 3 farklı zamanlı ölçüm arasında kıyaslama yapılmıştır. Geliştirilen sistemin abduksiyon, fleksiyon, iç rotasyon ve dış rotasyon ‘çok iyi’ derecede güvenirliğe sahip iken ekstansiyon pozunu için ‘iyi’ derecede güvenirliliğe sahip olduğu görülmektedir. Ekstansiyon pozunun güvenirlilik düzeyinin diğer pozlardan daha düşük çıkmasının nedeninin, testlerde sağlıklı gönüllülerin kullanılması ve bu gönüllülerin 39/40'ının ekstansiyon omuz pozunu için en yüksek değere ( $45^{\circ}$ ) ulaşmaları olduğu gözlemlenmiştir. Sistem ölçümlerinde 39 gönüllünün ekstansiyon açısı ölçümü klinik gonyometre ve dijital gonyometre ile birebir aynı sonucu verdiği için teorik olarak ‘iyi’ derecede güvenirlilik çıkmasına rağmen gözlemsel olarak çok iyi derecede güvenirlilik sağladığı düşünülmektedir.

Geçerliliği ve güvenirliliği gösterilen FizMenU geliştirilirken fizik tedavi uzmanları ve doktorlarının görüşleri alınarak hem kullanıcıya hem de fizik tedavi uzmanlarına en fazla faydalı olacak şekilde geliştirilmeye çalışılmıştır. Alınan uzman görüşleri ile beraber GOFU'nun kullanıcı grafik arayüzünün sade, basit, her yaş ve eğitim düzeyinden kullanıcılar tarafından anlaşılabilir şekilde tasarlanması hedeflenmiştir. FizMenU web arayüzünde ise hasta rolündeki kullanıcıların ekranlarına

çok az bilgi verilerek kafalarının karışmasının engellenmesi hedeflenmiştir. Kullanıcılar arasında herhangi bir kıyaslama, yarışma yapılmayarak, kullanıcıların psikolojik olarak kendilerini kötü hissetmelerinin önüne geçilmesi planlanmıştır. Uzmanların değerlendirme yapabilmesi için GOFU'nun yaptığı tüm ölçümler açışal olarak yapılmıştır. FizMenU grafik arayüzünde fizik tedavi uzmanı kullanıcıların rahat kullanabilmesi için hasta ile ilgili bilgilerin tümü tek bir sayfa üzerinde gösterilmiştir. Bu uzman görüşleri de dikkate alınarak, geleneksel tedavi yöntemlerinden daha iyi bir yöntem geliştirmek amacıyla geliştirilen FizMenU sisteminin denemeleri Bilecik Devlet Hastanesi'nde yapılmıştır.

Bilecik Devlet Hastanesi'nde 14'ü geleneksel yöntemlerle, 15'i geliştirilen FizMenU sistemi ile olmak üzere 29 gönüllü tedavi edilmiştir. Bu iki grup kendi içlerinde ve birbirleri ile kıyaslanarak tedavi yöntemlerin başarımları ölçülmüştür. Öncelikle bu iki grubun Levene homojenlik testi ile homojen gruplar olduğu ve aralarında istatistiksel bir farklılık olmadığı gösterilmiştir. İki gruba da kendi içinde tedavi başarımlarının ölçülmesi için %95 güvenirlilikle ( $p < 0.05$ ) Wilcoxon testi uygulanmıştır. FizMenU sistemi ile tedavi gören test grubunun grup içi Wilcoxon testinin sonuçları abdüksiyon, fleksiyon, iç rotasyon ve dış rotasyon egzersizleri için p değeri 0.001, ekstansiyon egzersizi için p değeri 0.015 olarak bulunmuştur. Geleneksel yöntemler ile tedavi gören kontrol grubunun grup içi Wilcoxon testinin sonuçları abdüksiyon ve fleksiyon egzersizleri için p değeri 0.001, iç rotasyon ve dış rotasyon egzersizleri için p değeri 0.006, ekstansiyon egzersizi için p değeri 0.005 olarak bulunmuştur. Sonuçlardan görüldüğü üzere her iki gruptaki gönüllülerin tüm egzersizler için limitasyonlarında istatistiksel olarak anlamlı gelişim gözlemlenmiştir. Geleneksel yöntemlerle tedavi gören kontrol grubundaki gönüllülerde gelişim olması zaten kabul edilmiş bir tedavi yöntemi olduğu için beklendik bir sonuç olarak değerlendirilmektedir. FizMenU ile tedavi gören test grubundaki gönüllülerde istatistiksel olarak gelişim olduğunun gösterilmesi de önerilen FizMenU sisteminin omuz hasarlı, kas ve tendon hasarlı hastalar için faydalı bir sistem olduğu sonucuna ulaştırmaktadır.

Hem geleneksel yöntemin hem önerilen FizMenU sistemin tedavide başarılı sonuçlar verdiği görüldükten sonra bu iki yöntem arasında bir kıyaslama yapılmıştır. Gruplar arası farkları gözlemleyebilmek için %95 güvenirlilikle ( $p < 0.05$ ) Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Kontrol ve test gruplarındaki gönüllülerin tedaviye

başlamadan önceki açısal ölçümleri kıyaslanmıştır. Mann-Whitney U testi sonuçlarına göre; abdüksiyon egzersizi p değeri 0.336, fleksiyon egzersizindeki p değeri 0.741, dış rotasyon egzersizindeki p değeri 0.146, iç rotasyon egzersizindeki p değeri 0.130, ekstansiyon egzersizindeki p değeri 0.760 olarak bulunmuştur. Gruplardaki gönüllülerin tedavi tamamlandıktan sonraki açısal ölçümlerinin Mann-Whitney U testi ile kıyaslanması sonuçlarına göre; abdüksiyon egzersizi p değeri 0.001, fleksiyon, iç rotasyon, dış rotasyon ve ekstansiyon egzersizlerindeki p değeri 0.000 olduğu gözlemlenmiştir.

İki tedavi yönteminin kıyaslamasından alınan sonuçlara göre; Levene homojenlik testi sonucundan da beklendiği üzere tedavi öncesi yapılan açısal ölçümlerin karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Yani 2 gruptaki gönüllülerin tedaviye başlamadan önce tüm egzersizler için limitasyonları aynıdır. Tedavi sonrasında gönüllülere yapılan açısal ölçümlerde tüm egzersizler için istatistiksel anlamlı farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuca göre 2 tedavi yönteminin hastaları iyileştirme düzeylerinde farklılık olduğu tespit edilmiştir. Hangi yöntemin daha başarılı sonuçlar verdiğini tespit edebilmek için gruplardaki gönüllülerin limitasyonlarının azalma, yani iyileşme, oranları incelenmiştir.

Yapılan iyileşme oranları incelemesine göre önerilen FizMenU sistemi ile tedavi gören test grubundaki gönüllülerin abdüksiyon egzersizlerinde limitasyonlarının %30.42, fleksiyon egzersizinde limitasyonlarının %24.61, dış rotasyon egzersizinde limitasyonlarının %15.21, iç rotasyon egzersizinde limitasyonlarının %19.63, ekstansiyon egzersizinde limitasyonlarının %10.65 azaldığı gözlemlenmiştir. Geleneksel yöntemlerle tedavi gören kontrol grubundaki gönüllülerin abdüksiyon egzersizlerinde limitasyonlarının %13.87, fleksiyon egzersizinde limitasyonlarının %9.52, dış rotasyon egzersizinde limitasyonlarının %13.37, iç rotasyon egzersizinde limitasyonlarının %11.05, ekstansiyon egzersizinde limitasyonlarının %11.66 azaldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bu veriler ışığında önerilen FizMenU sistemi ile tedavi gören gönüllülerin iyileşme düzeyi oranlarının, geleneksel yöntemle tedavi gören gönüllülerin iyileşme düzeyi oranlarından, abdüksiyon, fleksiyon, dış rotasyon, dış rotasyon egzersizleri için çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Ekstansiyon egzersizi için ise geleneksel yöntemle tedavi görenlerin iyileşme düzeyi oranlarının FizMenU ile tedavi görenlere göre %1.01 daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Önerilen sistemin 4

egzersiz için daha iyi, 1 egzersizi için daha kötü iyileşme düzeyi oranı sonuçları vermesinin sebebinin; FizMenU ile tedavi gören gönüllülerin tümünün ekstansiyon egzersizi için başarımlar açısı olan  $45^\circ$ 'ye ulaşması olduğu gözlemlenmiştir. Bu bilgiler ışığında önerilen sistemin, geleneksel yöntemlerden daha iyi bir tedavi yöntemi olduğu sonucuna varılmaktadır.

Önerilen FizMenU sistemi ile tedavi gören gönüllülere yapılan kullanıcı anketi sonuçlarına göre; katılımcılar daha önce önerilen sistemden daha gelişmiş bir telerehabilitasyon sistemi kullanmamışlardır. Katılımcıların sisteme alışması ortalama 3.94 gün sürmüştür. Sistemin grafik arayüzünün anlaşılabilirliğini ve simge görünürlüğünü, yazı okunabilirliğini orta düzeyde başarılı bulmuşlardır. Katılımcıların tedavi sırasında sisteme 2.5 metre uzaklıkta egzersizlerini gerçekleştirildiği düşünüldüğünde kullanılan 24 inç ekranın anlaşılabilirliğe negatif etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Yapılacak benzer hastane çalışmalarında daha büyük ekran kullanılmasının grafik arayüzü anlaşılabilirliğine pozitif etkisi olacağı düşünülmektedir. Katılımcıların önerilen sistemin evlerinde de olmasını istedikleri görülmüş ve egzersizleri bu sistemle yapmanın geleneksel yöntemle yapmaktan daha az sıkıcı olduğunu düşündükleri belirlenmiştir.

Önerilen FizMenU sisteminin hastanedeki testleri bittikten sonra hastanede omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastaların tedavi süreçleri izlenmeye ve verileri toplanmaya devam edilmiştir. Toplamda 105 hastanın tedavi süreçleri incelenerek verileri toplanmıştır. Veri artırımı yöntemi ile veri sayısı 232'ye çıkarılmış ve bu veriler üzerinden yapay zeka yöntemleri ile DASH sonucu tahminleri yapılmıştır. MLP tabanlı sonuç tahmini olarak önerilen sistemin eğitim verilerinden elde edilen ortalama karesel hatanın 1000 tekrar sonucunda en iyi değeri 0.005126, en kötü değeri 0.069869, ortalama değeri ise 0.018431 olmuştur. Test verilerinde ise en iyi sonuç 0.002489, en kötü sonuç 0.067960, ortalama sonuç ise 0.018369 olarak gerçekleşmiştir. ANFIS tabanlı sonuç tahmini olarak önerilen sistemin eğitim verilerinden elde edilen ortalama karesel hatanın 1000 tekrar sonucunda en iyi değeri 0.004227, en kötü değeri 0.013934, ortalama değeri ise 0.009388 olmuştur. Test verilerinde ise en iyi sonuç 0.009419, en kötü sonuç 0.050898, ortalama sonuç ise 0.025559 olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre DASH sonucu tahmini yapmanın umut verici olduğu görülmüştür. MLP tabanlı DASH sonucu tahmini FizMenU sistemine entegre edilerek, geliştirilen

bütünleşik fizik tedavi sistemi gerçek zamanlı olarak yapay zeka destekli hale getirilmiştir.

Tez kapsamında önerilen yapay zeka destekli bütünleşik fizik tedavi mentörü sisteminin klinik standartta geçerli ve güvenilir olduğu, geleneksel yöntemlere göre daha iyi tedavi sonuçları verdiği ve DASH sonuçlarını umut verici şekilde tahmin edebildiği gösterilmiştir.

Önerilen sistem ve benzeri sistemlerin fizik tedavi süreçlerinde kullanılmasının, hasta verilerini toplamakta, hasta tedavisinin daha doğru ve etkin yapılmasında, hastaların tedavi sonunda ne aşamaya geldiğinin gözlemlenmesinde faydalı sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Önerilen sistemin maliyetinin 3 boyutlu izleme cihazlarına göre çok daha düşük seviyede olması sistemin kullanılabilirliği açısından bir avantaj olduğu değerlendirilmektedir.

Tez çalışması kapsamında önerilen FizMenU ile fizik tedavi alanında geleneksel yöntemlerden daha başarılı bir tedavi yöntemi, geçerlilik güvenilirlik çalışmaları ile maliyeti düşük bir ölçüm sistemi literatüre kazandırılmıştır. Tezin literatüre bir diğer katkısında hastaların DASH sonuçlarını gerçek zamanlı olarak tahmin edebilen bir sistem önermesidir.

İlerleyen çalışmalarda, DASH sonucu yani iyileşme tahminlerinin farklı yapay zeka yöntemleri ile de yapılması daha iyi sonuçları ortaya çıkarabilir. Aynı zamanda yapay zeka yöntemleri ile hastanın ne kadar zamanda iyileşeceği tahminlerinin yapılması hem hastane dolulukların ayarlanabilmesi hem de Türkiye’de Devlet Hastaneleri’nde omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastalara verilen sabit 12 seans tedavi süresinin kişiye özel ayarlanabilmesine katkıda bulunabilir.

## KAYNAKLAR

- Aliferis, C. F., Tsamardinos, I., Statnikov, A. R. ve Brown, L. E. (2003). Causal explorer: A causal probabilistic network learning toolkit for biomedical discovery. *Metmbs'03: Proceedings of the International Conference on Mathematics and Engineering Techniques in Medicine and Biological Sciences*, 371–376. <http://discover1.mc.vanderbilt.adresinden erişildi>.
- Altman, D. G. ve Bland, J. M. (1983). Measurement in medicine: the analysis of method comparison studies. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D*, 32(3), 307–317.
- Amon, C. ve Fuhrmann, F. (2014). Evaluation of the Spatial Resolution Accuracy of the Face Tracking System for Kinect for Windows V1 and V2. *6th Congress of Alps-Adria Acoustics Assosiation*, (October), 9–12.
- Anton, D., Berges, I., Bermúdez, J., Goñi, A. ve Illarramendi, A. (2018). A telerehabilitation system for the selection, evaluation and remote management of therapies. *Sensors (Switzerland)*, 18(5), 1–21. doi:10.3390/s18051459
- Antón, D., Goñi, A. ve Illarramendi, A. (2015). Exercise recognition for kinect-based telerehabilitation. *Methods of Information in Medicine*, 54(2), 145–155. doi:10.3414/ME13-01-0109
- Anton, D., Goni, A., Illarramendi, A., Torres-Unda, J. J. ve Seco, J. (2013). KiReS: A Kinect-based telerehabilitation system. *2013 IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services, Healthcom 2013*, (Healthcom), 444–448. doi:10.1109/HealthCom.2013.6720717
- Arango Paredes, J. D., Muñoz, B., Agredo, W., Ariza-Araújo, Y., Orozco, J. L. ve Navarro, A. (2015). A reliability assessment software using Kinect to complement the clinical evaluation of Parkinson's disease. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS, 2015-Novem*, 6860–6863. doi:10.1109/EMBC.2015.7319969
- Araujo, F. M. A. de, Filho, P. R. F. V., Filho, J. A. A., Ferreira, N. M. F., Valente, A. ve Soares, S. F. S. P. (2019). A new approach of developing games for motor rehabilitation using Microsoft Kinect. *2019 IEEE 7th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, ss. 1–6. Kyoto, Japonya.
- Beaton, D. E., Katz, J. N., Fossel, A. H., Wright, J. G., Tarasuk, V. ve Bombardier, C.

- (2001). Measuring the whole or the parts?: Validity, reliability, and responsiveness of the disabilities of the arm, shoulder and hand outcome measure in different regions of the upper extremity. *Journal of Hand Therapy*, 14(2), 128–142.
- Beshara, P., Chen, J., Lagadec, P. ve Walsh, W. R. (2016). Internet of Things Technologies for HealthCare, 187(October). doi:10.1007/978-3-319-51234-1
- Bidargaddi, N. P. ve Sarela, A. (2008). Activity and heart rate-based measures for outpatient cardiac rehabilitation. *Methods of Information in Medicine*, 47(3), 208–216. doi:10.3414/ME9112
- Bland, J. M. ve Altman, D. G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. Statistical methods in medical research. *Statistical methods in medical research*, 8(2), 135–160.
- Bland, J. Martin ve Altman, D. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, 327, 307–310.
- Bragaglia, S., Di Monte, S. ve Mello, P. (2014). A distributed system using MS kinect and event calculus for adaptive physiotherapist rehabilitation. *Proceedings - 2014 8th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, CISIS 2014*, 531–538. doi:10.1109/CISIS.2014.77
- Brown, J. S. (2013). *Pilot Study of a Kinect-Based Video Game to Improve Physical Therapy Treatment*. Yüksek Lisans Tezi, Purdue Üniversitesi, Bilgisayar Grafik Teknolojileri.
- Carstensen, B. (2011). *Comparing clinical measurement methods: a practical guide* (108. bs.). John Wiley & Sons.
- Cary, F., Postolache, O. ve Girão, P. S. (2014). Kinect based system and Artificial Neural Networks classifiers for physiotherapy assessment. *IEEE MeMeA 2014 - IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications, Proceedings*. doi:10.1109/MeMeA.2014.6860146
- Cerqueira, M. T. de M., Moura, J. A. de, Lira, J. O. De, Leal, J. C., D Amelio, M. ve Mendes, F. A. do S. (2020). Cognitive and motor effects of Kinect-based games training in people with and without Parkinson disease: A preliminary study. *Physiotherapy Research International*, 25, 1–8. doi:10.1002/pri.1807
- Chang, Y., Chen, S. ve Huang, J. (2011). A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. *Research in*

- Developmental Disabilities*, 32(6), 2566–2570. doi:10.1016/j.ridd.2011.07.002
- Cheng, Y., Wang, F., Zhang, P. ve Hu, J. (2016). Risk Prediction with Electronic Health Records: A Deep Learning Approach. *2016 SIAM International Conference on Data Mining* ss. 432–440. doi:10.1137/1.9781611974348.49
- Choi, E., Schuetz, A., Stewart, W. F. ve Sun, J. (2016). Medical Concept Representation Learning from Electronic Health Records and its Application on Heart Failure Prediction. *CoRR*. <http://arxiv.org/abs/1602.03686> adresinden erişildi.
- Clark, R. A., Pua, Y. H., Oliveira, C. C., Bower, K. J., Thilarajah, S., McGaw, R., ... Mentiplay, B. F. (2015). Reliability and concurrent validity of the Microsoft Xbox One Kinect for assessment of standing balance and postural control. *Gait and Posture*, 42(2), 210–213. doi:10.1016/j.gaitpost.2015.03.005
- Clark, R. A., Vernon, S., Mentiplay, B. F., Miller, K. J., McGinley, J. L., Pua, Y. H., ... Bower, K. J. (2015). Instrumenting gait assessment using the Kinect in people living with stroke: reliability and association with balance tests. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 12, 15. doi:10.1186/s12984-015-0006-8
- Corti, A., Giancola, S., Mainetti, G. ve Sala, R. (2016). A metrological characterization of the Kinect V2 time-of-flight camera. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 584–594. doi:10.1016/j.robot.2015.09.024
- Çubukçu, B. ve Çetin, A. (2016). Ms Kinect Applications And Opportunities For People. *International Multidisciplinary Conference* ss. 459–465.
- Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2017). A Physiotherapy Application with MS Kinect for Patients with Shoulder Joint , Muscle and Tendon Damage. *The 9th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN 2017)* ss. 225–228. Girne, Kıbrıs. doi:10.1109/CICN.2017.49
- Çubukçu, B., Yüzgeç, U., ZİLELİ, R. ve ZİLELİ, A. (2018). A Kinect 2 Based Telerehabilitation Method for Shoulder Rehabilitation Exercises. *International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science (ICATCES'18)* ss. 53–56.
- Da Cunha Neto, J. S., Filho, P. P. R., Da Silva, G. P. F., Da Cunha Olegario, N. B., Duarte, J. B. F. ve De Albuquerque, V. H. C. (2018). Dynamic Evaluation and Treatment of the Movement Amplitude Using Kinect Sensor. *IEEE Access*, 6, 17292–17305. doi:10.1109/ACCESS.2018.2811720

- Dash, A., Yadav, A., Chauhan, A. ve Lahiri, U. (2019). Kinect-Assisted Performance-Sensitive Upper Limb Exercise Platform for Post-stroke Survivors. *Frontiers in Neuroscience*, 13(March), 1–15. doi:10.3389/fnins.2019.00228
- Demir, E. (2017). *Geniş Çalışma Bölgesi Transistörlerin Tek Bir Çok Katmanlı Algılayıcı ile Modellenmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Dinvar, Y., Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2017). MS Kinect Based Tracking Application for Knee Anterior Cruciate Ligament Physical Therapy. *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*.
- Dokur, E., Yüzgeç, U. ve Kurban, M. (2019). Comparative Analysis of Seasonal Wind Speed Forecasting Using ANFIS-PSO Hybrid Approach Comparative Analysis of Seasonal Wind Speed Forecasting Using ANFIS-PSO Hybrid Approach. *4th International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences, ICETAS* ss. 315–319. Kiev, Ukrayna.
- Duarte, N., Postolache, O. ve Sharcanski, J. (2014). KSGphysio – Kinect Serious Game for Physiotherapy. *International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering*, (Epe), 16–18. doi:10.1109/ICEPE.2014.6969981
- Dubois, A. ve Bresciani, J.-P. (2018). Validation of an ambient system for the measurement of gait parameters. *Journal of Biomechanics*, 69, 175–180. doi:10.1016/j.jbiomech.2018.01.024
- Düger, T., Yakut, E., Öksüz, Ç., Selma, Y., Bilgütay, B. S., Ayhan, Ç., ... Güler, Ç. (2006). Kol, Omuz ve El Sorunları (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand - DASH) Anketi Türkçe uyarlamasının güvenilirliği ve geçerliliği. *Fizyoterapi Rehabilitasyon*, 17(3), 99–107.
- Elrefaei, L. A., Azan, B., Hakami, S. ve Melebari, S. (2019). Jcave A 3d Interactive Game To Assist Home Physiotherapy Rehabilitation. *The International Journal of Multimedia & Its Applications*, 11(02). doi:10.5121/ijma.2019.11201
- Eltoukhy, M. A., Kuenze, C., Oh, J. ve Signorile, J. F. (2018). Validation of Static and Dynamic Balance Assessment Using Microsoft Kinect for Young and Elderly Populations. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 22(1), 147–153. doi:10.1109/JBHI.2017.2686330
- Ersoy, E. (2016). *Ekg İşaretlerinden Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı Kullanarak Aritmilerin Tespiti*. Gaziosmanpaşa Üniversitesi.

- Esfahlani, S. S. ve Wilson, G. (2018). Development of rehabilitation system (RehabGame) through Monte-Carlo tree search algorithm using kinect and Myo sensor interface. *Proceedings of Computing Conference 2017, 2018-Janua(July)*, 1021–1028. doi:10.1109/SAI.2017.8252217
- Fankhauser, P., Bloesch, M., Rodriguez, D., Kaestner, R., Hutter, M. ve Siegwart, R. (2015). Kinect v2 for Mobile Robot Navigation: Evaluation and Modeling. *Conference: International Conference on Advanced Robotics (ICAR)*. İstanbul. doi:10.1109/ICAR.2015.7251485
- Ferreira, D., Oliveira, R. ve Postolache, O. (2018). Physical rehabilitation based on kinect serious games. *Proceedings of the International Conference on Sensing Technology, ICST, 2017-Decem*, 1–6. doi:10.1109/ICSensT.2017.8304512
- Feyzioğlu, Ö., Dinçer, S., Akan, A. ve Algun, Z. C. (2020). Is Xbox 360 Kinect-based virtual reality training as effective as standard physiotherapy in patients undergoing breast cancer surgery? *Supportive Care in Cancer*. doi:https://doi.org/10.1007/s00520-019-05287-x
- Fikar, P., Schönauer, C. ve Kaufmann, H. (2013). The Sorcerer's Apprentice: A serious game aiding rehabilitation in the context of Subacromial Impingement Syndrome. *2013 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops* ss. 327–330. IEEE. doi:10.4108/icst.pervasivehealth.2013.252224
- Fleiss, J. L. (2011). *Design and analysis of clinical experiments*. John Wiley & Sons.
- Garip, B., Çubukçu, B., Serin, Z. ve Yüzgeç, U. (2019). Kinect Based Office Exercises: BreakOut. *2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* ss. 1–5. Ankara: IEEE.
- Geerse, D. J., Coolen, B. H. ve Roerdink, M. (2015). Kinematic validation of a multi-Kinect v2 instrumented 10-meter walkway for quantitative gait assessments. *PLoS ONE*, 10(10), 1–15. doi:10.1371/journal.pone.0139913
- Grunert, R., Krause, A., Feig, S., Meixensberger, J., Drossel, W., Themann, P. ve Winkler, D. (2019). A technical concept of a computer game for patients with Parkinson's disease – a new form of PC-based physiotherapy. *International Journal of Neuroscience*, 129(8), 770–775. doi:10.1080/00207454.2019.1567510
- <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>. (2020).

- Huang, S., Yu, J., Wang, Y. ve Liu, J.-W. (2017). Designing an exergaming system for exercise bikes using kinect sensors and Google Earth. *Multimed Tools Appl*, 76, 12281–12314. doi:10.1007/s11042-016-3641-6
- Huber, M. E., Seitz, A. L., Leeser, M. ve Sternad, D. (2015). Validity and reliability of Kinect skeleton for measuring shoulder joint angles: A feasibility study. *Physiotherapy (United Kingdom)*, 101(4), 389–393. doi:10.1016/j.physio.2015.02.002
- Jang, J. R. (1993). ANFIS : Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665–685.
- Jimenes, K., Luis Pérez Medina, J., González, M., Rybarczyk, Y., Esparza, D. ve Leconte, L. (2019). Implementation and Assessment of an Intelligent Motor Tele-Rehabilitation Platform. *Electronics*, 8(1), 58. doi:10.3390/electronics8010058
- Kalaiselvi, C. ve Nasira, G. M. (2014). A new approach for diagnosis of diabetes and prediction of cancer using ANFIS. *2014 World Congress on Computing and Communication Technologies, WCCCT 2014* ss. 188–190. IEEE. doi:10.1109/WCCCT.2014.66
- Kaltenborn, F. M. (2007). *Manual Mobilization of the Joints*. Oslo, Norveç.
- Kösesoy, İ., Öz, C., Aslan, F., Köroğlu, F. ve Yiğilitaş, M. (2017). Reliability and validity of an innovative method of ROM measurement using microsoft kinect V2. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences Reliability*, (X), 1–6. doi:10.5505/pajes.2017.65707
- Krouwer, J. S. (2002). Setting performance goals and evaluating total analytical error for diagnostic assays. *Clinical chemistry*, 48(6), 919–927.
- Labelle, K. (2011). *Evaluation of Kinect Joint Tracking for Clinical and in-Home Stroke Rehabilitation Tools. Readings*. Lisans Tezi, Notre Dame, Bilgisayar Bilimleri.
- Lachat, E., Macher, H., Mittet, M., Landes, T. ve Grussenmeyer, P. (2015). First Experiences With Kinect V2 Sensor For Close Range 3d Modelling. *6th International Workshop 3D-ARCH* ss. 93–100. Avila, Spain. doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-93-2015
- Landis, J. R. ve Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 159–174.

- Latorre, J., Llorens, R., Colomer, C. ve Alcañiz, M. (2018). Reliability and comparison of Kinect-based methods for estimating spatiotemporal gait parameters of healthy and post-stroke individuals. *Journal of Biomechanics*, 72, 268–273. doi:10.1016/j.jbiomech.2018.03.008
- Lee, Y. M., Lee, S., Uhm, K. E., Kurillo, G., Han, J. J. ve Lee, J. (2020). Upper Limb Three-Dimensional Reachable Workspace Analysis Using the Kinect Sensor in Hemiplegic Stroke Patients A Cross-Sectional Observational Study. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 99(5), 397–403. doi:10.1097/PHM.0000000000001350
- Li, L., Zeng, L., Lin, Z. J., Cazzell, M. ve Liu, H. (2015). Tutorial on use of intraclass correlation coefficients for assessing intertest reliability and its application in functional near-infrared spectroscopy-based brain imaging. *Journal of biomedical optics*, 20.
- Lin, T. Y., Hsieh, C. H. ve Lee, J. Der. (2013). A kinect-based system for physical rehabilitation: Utilizing Tai Chi exercises to improve movement disorders in patients with balance ability. *Proceedings - Asia Modelling Symposium 2013: 7th Asia International Conference on Mathematical Modelling and Computer Simulation, AMS 2013*, 149–153. doi:10.1109/AMS.2013.29
- Manasrah, A. A. (2012). *Human Motion Tracking for Assisting Balance Training and Control of a Humanoid Robot*. Lisans Tezi, University of Missouri, Mekanik Mühendisliği.
- Mentiplay, B. F., Perraton, L. G., Bower, K. J., Pua, Y. H., McGaw, R., Heywood, S. ve Clark, R. A. (2015). Gait assessment using the Microsoft Xbox One Kinect: Concurrent validity and inter-day reliability of spatiotemporal and kinematic variables. *Journal of Biomechanics*, 48(10), 2166–2170. doi:10.1016/j.jbiomech.2015.05.021
- Mishra, A. K., Skubic, M. ve Abbott, C. (2015). Development and preliminary validation of an interactive remote physical therapy system. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS C.* 2015-Novem, ss. 190–193. doi:10.1109/EMBC.2015.7318332
- Mobini, A., Behzadipour, S. ve Saadat, M. (2015). Test-retest reliability of Kinect's

- measurements for the evaluation of upper body recovery of stroke patients. *BioMedical Engineering Online*, 14(1), 1–13. doi:10.1186/s12938-015-0070-0
- Mousavi Hondori, H. ve Khademi, M. (2014). A review on technical and clinical impact of microsoft Kinect on physical therapy and rehabilitation. *Journal of Medical Engineering*. doi:10.1155/2014/846514
- Müller, B., Ilg, W., Giese, M. A. ve Ludolph, N. (2017). Validation of enhanced kinect sensor based motion capturing for gait assessment. *bioRxiv*, 14–16. doi:10.1101/098863
- Norkin, C. C. ve White, D. J. (2016). *Measurement of joint motion: a guide to goniometry* (5th Editio.). Philadelphia, USA.
- Ogiela, L., Tadeusiewicz, R. ve Ogiela, M. R. (2008). AI-cognitive description in visual medical pattern mining and retrieval. *Proceedings - 2nd Asia International Conference on Modelling and Simulation, AMS 2008* ss. 885–889. doi:10.1109/AMS.2008.23
- Oliver, M., Teruel, M. A., Molina, J. P., Romero-Ayuso, D. ve González, P. (2018). Ambient Intelligence Environment for Home Cognitive Telerehabilitation. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(11). doi:10.3390/s18113671
- Otte, K., Kayser, B., Mansow-Model, S., Verrel, J., Paul, F., Brandt, A. U. ve Schmitz-Hübsch, T. (2016). Accuracy and reliability of the kinect version 2 for clinical measurement of motor function. *PLoS ONE*, 11(11), 1–17. doi:10.1371/journal.pone.0166532
- Özbay, E. (2013). *Nesnelerin üç boyutlu modellenmesi için kinect tabanlı bir uygulama*. Yüksel Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Postolache, O., Cary, F., Girao, P. S. ve Duarte, N. (2016). Physiotherapy assessment based on Kinect and mobile APPs. *IISA 2015 - 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications*. doi:10.1109/IISA.2015.7388013
- Rego, P., Moreira, P. M. ve Reis, L. P. (2010). Serious Games for Rehabilitation A Survey and a Classification Towards a Taxonomy. *5th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*, (November 2015), 1–6. doi:978-1-4244-7227-7
- Ren, P., Bayard, J. F. B., Dong, L., Chen, J., Mao, L., Ma, D., ... Valdes-sosa, P. A.

- (2020). Multivariate Analysis of Joint Motion Data by Kinect: Application to Parkinson ' s Disease. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28(1), 181–190.
- Rizzo, A. ve Kim, G. J. (2005). A SWOT analysis of the field of virtual reality rehabilitation and therapy. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 14(2), 119–146. doi:10.1162/1054746053967094
- Roy, A. K., Soni, Y. ve Dubey, S. (2013). Enhancing effectiveness of motor rehabilitation using kinect motion sensing technology. *2013 IEEE Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS)*, 298–304. doi:10.1109/GHTC-SAS.2013.6629934
- Russell, T. G. (2007). Physical rehabilitation using telemedicine. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 13, 217–220. doi:https://doi.org/10.1258/135763307781458886
- Samir, M., Golkar, E. ve Rahni, A. A. A. (2015). Comparison between the Kinect TM V1 and Kinect TM V2 for Respiratory Motion Tracking. *2015 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA)* ss. 150–155. Bangi: IEEE. doi:10.1109/ICSIPA.2015.7412180
- Shaughnessy, M., Resnick, B. M. ve Macko, R. F. (2006). Testing a model of post-stroke exercise behavior. *Rehabilitation Nursing*, 31(1), 15–21. doi:10.1002/j.2048-7940.2006.tb00005.x
- Shrout, P. E. ve Fleiss, J. . (1979). Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychological bulletin*, 86.2, 420.
- Sinpithakkul, C., Kusakunniran, W., Bovonsunthonchai, S. ve Wattananon, P. (2019). Game-based Enhancement for Rehabilitation Based on Action Recognition Using Kinect. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON, 2018-Octob*(October), 303–308. doi:10.1109/TENCON.2018.8650226
- Staab, R. (2014). *Recognizing specific errors in human physical exercise performance with Microsoft Kinect*. <http://digitalcommons.calpoly.edu/theses/1246> adresinden erişildi.
- Stratford, P. W., Binkley, J. M. ve Riddle, D. L. (1996). Health status measures: strategies and analytic methods for assessing change scores. *Physical therapy*, 76(10), 1109–1123.

- Stratford, P. W., Binkley, J., Solomon, P., Finch, E., Gill, C. ve Moreland, J. (1996). Defining the minimum level of detectable change for the Roland-Morris questionnaire. *Physical Therapy. Physical therapy*, 76(4), 359–365.
- Su, C. H. ve Cheng, C. H. (2016). Developing and evaluating creativity gamification rehabilitation system: The application of PCA-ANFIS based emotions model. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. doi:10.12973/eurasia.2016.1527a
- Şen, M. O. (2016). *Çoklu Kinect Kullanımıyla Elde Edilen İskelet Hareket Verilerinin Birleştirilmesi ve Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Thanasegaran, G. (2003). Reliability and Validity Issues in Research, 35–40.
- Tino, D. ve Hillis, C. (2010). The full can exercise as the recommended exercise for strengthening the supraspinatus while minimizing impingement. *Strength and Conditioning Journal*, 32(5), 33–35. doi:10.1519/SSC.0b013e3181d54721
- Truelsen, T., Pichoeski-Jozwiak, B., Bonita, R., Mathers, C., Bogousslavsky, J. ve Boysen, G. (2006). Stroke incidence and prevalence in Europe: a review of available data. *European Journal of Neurology*, 13, 581–598. doi:10.1111/j.1468-1331.2006.01138.x
- Tuna, S. (2008). *Şablon Eşleme ve Çok Katmanlı Algılayıcı Kullanarak Yüz Tanıma Sisteminin Gerçeklenmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Ulaşlı, A. M., Türkmen, U., Toktaş, H. ve Solak, Ö. (2014). The complementary role of the kinect virtual reality game training in a patient with metachromatic leukodystrophy. *PM and R C*. 6, ss. 564–567. doi:10.1016/j.pmrj.2013.11.010
- Vieira, Á., Gabriel, J., Melo, C. ve Machado, J. (2017). Kinect system in home-based cardiovascular rehabilitation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 231(1), 40–47. doi:10.1177/0954411916679201
- Wasenm, O. ve Meyer, M. (2016). CoRBS : Comprehensive RGB-D Benchmark for SLAM using Kinect v2. *2016 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)* ss. 1–7. Lake Placid, NY. doi:10.1109/WACV.2016.7477636
- Weiss, P. L., Rand, D., Katz, N. ve Kizony, R. (2004). Video capture virtual reality as a

- flexible and effective rehabilitation tool. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 1, 1–12. doi:10.1186/1743-0003-1-12
- Yang, Y., Pu, F., Li, Y., Li, S., Fan, Y. ve Li, D. (2014). Reliability and validity of kinect RGB-D sensor for assessing standing balance. *IEEE Sensors Journal*, 14(5), 1633–1638. doi:10.1109/JSEN.2013.2296509
- Yilmaz, N. F., Çakir, M. V. ve Yilmaz, M. (2016). Saplama Kaynak Bağlantılarının Çekme Dayanımının ANFIS ile Modellenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31, 79–88.
- Yüksek, A. G., Arslan, H. ve Kaynar, O. (2017). Neuro-Fuzzy(ANFIS) Sınıflayıcılarının Eğitimde Farklı Boyut İndirgeme Yöntemlerinin Model Performansı Üzerindeki Etkileri. *2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*. Malatya.
- Zaki, R., Bulgiba, A., Ismail, R. ve Ismail, N. A. (2012). Statistical methods used to test for agreement of medical instruments measuring continuous variables in method comparison studies: a systematic review. *PloS one*, 7(5).
- Zhao, W., Feng, H., Lun, R., Espy, D. D. ve Reinthal, M. A. (2014). A Kinect-based rehabilitation exercise monitoring and guidance system. *Proceedings of the IEEE International Conference on Software Engineering and Service Sciences, ICSESS*, 762–765. doi:10.1109/ICSESS.2014.6933678
- Zhu, Z.-A., Lu, Y.-C., You, C.-H. ve Chiang, C.-K. (2019). Deep Learning for Sensor-Based Rehabilitation Exercise Recognition and Evaluation. *Sensors*, 19(4), 887. doi:10.3390/s19040887
- Ziasabounchi, N. ve Askerzade, I. (2014). ANFIS based classification model for heart disease prediction. *International Journal of Electrical & Computer Sciences IJECS-IJENS*, 14(02), 7–12.

## EKLER

### Ek-1: Etik Kurulu Kararı

Evrak Tarih ve Sayısı: 27/04/2017-12620



T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ  
Etik Kurul



Sayı :54674167-050.03.04/  
Konu :Etik Kurulu Kararı

Sayın Doç. Dr. Uğur YÜZGEÇ  
Öğretim Üyesi

İlgi : a) 20/02/2017 tarihli ve 822 sayılı dilekçeniz,  
b) Üniversitemiz Etik Kurulu'nun 24/04/2016 tarihli ve 12139 sayılı Kararı.

20/02/2017 tarihli ve 822 sayılı dilekçeniz ekinde yer alan "Omuz Eklemi, Kas ve Tendon Hasarlı Hastalar için MS Kinect ile Mentör Uygulaması" isimli proje araştırmasına ilişkin 03/03/2017 tarihli ve 31 sayılı oturumda alınan karar gereği görüşüne başvuru Doç.Dr. Mehmet YILDIRIM'ın görüşü doğrultusunda "Omuz Eklemi, Kas ve Tendon Hasarlı Hastalar için MS Kinect ile Mentör Uygulaması" isimli proje araştırmasının yapılmasında Üniversitemiz Etik Kurulu'nun 24/04/2016 tarihli ve 12139 sayılı Kararı ile etİge aykırılık bulunmadığına karar verilmiştir.

Bilgilerinizi rica ederim.

**e-imzalıdır**

Prof. Dr. Dursun HAZER  
Etik Kurul Başkanı

**Mevcut Elektronik İmzalar**

DURSUN HAZER (Etik Kurul - Etik Kurul Başkanı) 27/04/2017 09:21

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Rektörlüğü 11030 Bilecik  
Tel : 0228 214 10 22 Faks: 0228 214 10 17  
E-Posta : : ozelkalem@bilecik.edu.tr Elektronik ađ:bilecik.edu.tr

Ayrıntılı bilgi için irtibat:

Bu belge 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununun 5. Maddesi gereğince güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

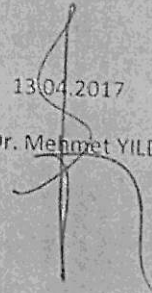
18/04/2017-3801

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ ETİK KURUL BAŞKANLIĞINA

Sorumlu araştırmacılığını Doç.Dr. Uğur YÜZGEÇ'in yaptığı "Omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastalar için MS kinect ile mentör uygulaması" çalışmasının etik kurallara uygun olacağı kanaatindeyim.

13.04.2017

Doç Dr. Mehmet YILDIRIM



## Ek-2: Gönüllü Onay Formu

### **Omuz Eklemi, Kas ve Tendon Hasarlı Hastalar için MS Kinect ile Mentör Uygulamasını Test Etmek Amacı ile Yapılacak Çalışma için Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu**

...../...../2018

"Omuz Hastaları için MS Kinect ile Mentör Uygulaması" isimli bir proje/araştırmada yer almak üzere davet edilmiş bulunmaktasınız Bu çalışma, araştırma amaçlı olarak yapılmaktadır. Proje/Araştırma'ya katılma konusunda karar vermeden önce Proje/Araştırma'nın neden ve nasıl yapıldığını, sizinle ilgili bilgilerin nasıl kullanılacağını, Proje/Araştırma'nın neler içerdiğini, olası yararlarını, risklerini ve rahatsızlıklarını bilmeniz önemlidir. Lütfen aşağıdaki bilgileri dikkatlice okumak için zaman ayırın. Proje/Araştırma hakkında tam olarak bilgi sahibi olduktan sonra ve sorularınız cevaplandıktan sonra eğer katılmak isterseniz bu formu imzalamanız istenecektir. Şu anda bu formu imzalasanız bile istediğiniz zamanda bir neden göstermeksizin Proje/Araştırma'yı bırakmakta özgürsünüz.

Bu çalışmanın amacı, omuz rahatsızlığı yaşanan hastaların, evde yaptıkları fizik tedavi egzersizlerinin doğruluk oranını arttırmak ve fizyoterapisti raporlar ile bilgilendirmektir. Bu kapsamda size fizik tedavi uzmanının uygun gördüğü hareketler MS Kinect kamerası ve yazılım yardımı ile yaptırılacaktır.

Araştırma kapsamında yaş, boy uzunluğu, vücut ağırlığı, rahatsızlık türü parametreleri dahil edilecektir. Yapılan çalışmada sadece kamera ile iskelet izlemesi yapılacağından Proje/Araştırma'nın olası riski yoktur. Proje/Araştırma'da yer almanızın yararları literatüre tele-rehabilitasyon ile ilgili yeni makaleler kazandırmaktır. Proje/Araştırma'ya katılmakla parasal yük altına girmeyeceksiniz ve size de herhangi bir ödeme yapılmayacaktır.

Proje/Araştırmadaki araştırmacılar; sizden aldıkları verileri analiz yürütmek için kullanacaktır. Kişisel verileriniz çalışma boyunca ve sonrasında araştırmacılar tarafından gizli tutulacaktır. Proje/Araştırma bitiminde ulusal veya uluslararası

literatürde yayınlanabilecektir ancak kimlik bilgileriniz izinsiz açıklanmayacak ve yayınlanmayacaktır.

Proje/Araştırma ile ilgili bir sorunuz olduğunda ya da çalışma ile ilgili ek bilgiye ihtiyaç duyduğunuzda aşağıdaki kişi ile iletişime geçebilirsiniz.

ADI: Burakhan ÇUBUKÇU

GÖREVİ: Akademisyen

TELEFON: 0534 786 0000

**(Katılımcının/Gönüllünün Beyanı)**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde görevli Doç. Dr. Uğur YÜZGEÇ tarafından bir Proje/Araştırma yapılacağı belirtilerek bu Proje/Araştırma ile ilgili yukarıdaki bilgiler bana aktarıldı ve ilgili metni okudum. Bu bilgilerden sonra böyle bir Proje/Araştırma'ya "katılımcı" olarak davet edildim.

Proje/Araştırma'ya katılmam konusunda zorlayıcı bir davranışla karşılaşmış değilim. Proje/Araştırma'nın yürütülmesi sırasında herhangi bir neden göstermeden Proje/Araştırma'dan çekilebilirim (Ancak araştırmacıları zor durumda bırakmamak için Proje/Araştırma'dan çekileceğimi önceden bildirmemin uygun olacağını bilincindeyim). Ayrıca tıbbi durumuma herhangi bir zarar vermemesi koşuluyla araştırmacı tarafından Proje/Araştırma dışı da tutulabilirim.

Proje/Araştırma için yapılacak harcamalar ile ilgili parasal sorumluluk altına girmiyorum. Bana da bir ödeme yapılmayacaktır.

Doğrudan veya dolaylı olarak Proje/Araştırma uygulamasından kaynaklanan nedenlerle meydana gelebilecek sağlık sorununun ortaya çıkması halinde, her türlü tıbbi müdahalenin sağlanacağı konusunda gerekli güvence verildi. (Bu tıbbi müdahalelerle ilgili olarak parasal bir yük altına girmeyeceğim)

Bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Bu koşullarla söz konusu Proje/Araştırma'ya kendi rızamla hiç bir baskı ve zorlama olmaksızın, gönüllülük içerisinde katılmayı kabul ediyorum.

İmzalı bu form kağıdının bir kopyası bana verilecektir.

**Katılımcının**

Adı, Soyadı :

.....

Adresi :

.....

Telefonu : (0.....).....

İmza : .....

Tarih : ...../...../.....

**Görüşme tanığının**

Adı, Soyadı :

.....

Adresi :

.....

Telefonu : (0.....).....

İmza : .....

Tarih : ...../...../.....

**Ek-3: GOFU Kullanıcı Anketi**

**GOFU Kullanıcı Anketi**

**G**eliştirilmiş **O**muz **F**izyoterapi **U**ygulaması'nı(**GOFU**) gönüllü olarak test ettiğiniz için teşekkür ederiz.

Adınız:

Soyadınız:

Eğitim Durumunuz:

**Daha önce kaç defa fizik tedavi gördünüz?**

İlk kez gördüm ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 veya daha fazla ☐

**Sisteme alışmanız kaç seans(gün) sürdü?**

İlk gün alıştım ☐ 2. gün alıştım ☐ 3. gün alıştım ☐  
4. gün alıştım ☐ 5. gün alıştım ☐ 6. gün veya daha sonra alıştım ☐

Aşağıdaki tablodaki ölçeklendirme de kendinize uygun olanı seçiniz. (Her soru için yalnızca bir işaretlemeye bulununuz)

1 – Kesinlikle katılmıyorum

2 – Katılmıyorum

3 – Ne katılıyorum ne katılmıyorum

4 – Katılıyorum

5- Kesinlikle katılıyorum

| Aşağıdaki soruları 1 den 5 e kadar işaretleyiniz.                                             | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|
| Daha önce teknolojik ekipmanlar içeren rehabilitasyon uygulamaları kullandım                  |   |   |   |   |   |
| Bugüne kadar kullandığım en gelişmiş rehabilitasyon uygulaması GOFU                           |   |   |   |   |   |
| Bana yapılan sistem anlatımını yeterli buluyorum.                                             |   |   |   |   |   |
| Sisteme alışmam kolay oldu.                                                                   |   |   |   |   |   |
| Sistemin arayüzü anlaşılırdı.                                                                 |   |   |   |   |   |
| Egzersizleri geleneksel yöntemlere göre daha istekli yaptım.                                  |   |   |   |   |   |
| Evimde böyle bir sistem olması egzersizlerimi yapmamı kolaylaştırır.                          |   |   |   |   |   |
| Yaptığım egzersizlerin sonuçlarının bana da gösterilmesini isterim.                           |   |   |   |   |   |
| Sistemde kullanılan ekranın büyüklüğü yeterliydi.                                             |   |   |   |   |   |
| Ekranda yazılan yazıları, simgeleri kolayca görebildim.                                       |   |   |   |   |   |
| Teknoloji içeren bir cihazla tedavi görmekle ilgili korkularım vardı                          |   |   |   |   |   |
| Bundan sonra bu tip bir cihazla yapılan uygulamalara gönüllü olmam istenirse, gönüllü olurum. |   |   |   |   |   |

**Ek-4: DASH (Kol, Omuz ve El Sorunları Anketi)**

## DASH (Kol, Omuz ve El Sorunları Anketi)

Hastanın Adı Soyadı: \_\_\_\_\_ Tarih: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Bu anket bazı bedensel etkinlikleri yerine getirmenizin yanı sıra hastalık belirtilerinizi sormaktadır. Her soruyu son haftadaki durumunuzu göz önüne alarak uygun numarayı yuvarlak içine almak suretiyle cevaplayınız. Son hafta içinde bedensel etkinlikte bulunma fırsatınız olmadıysa lütfen hangi cevabın en doğru olacağına göre en iyi tahmininizi yapınız. Hangi el veya kolunuzun yaralandığını dikkate almadan sadece bedensel etkinliği yapabilme becerinize göre uygun cevabı verin.

Lütfen son hafta içindeki aşağıdaki etkinlikleri yapma yeteneğinizi uygun cevabın altındaki numarayı daire içine alarak sıralayınız.

|                                                                                                                                                                                                                                                                       | Zorluk yok                            | Hafif Derecede Zorluk                 | Orta Derecede Zorluk                  | Aşırı Zorluk                          | Hiç Yapamama                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1- Sıkı kapatılmış ya da yeni bir kavanozu açmak                                                                                                                                                                                                                      | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 2- Yazı yazmak                                                                                                                                                                                                                                                        | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 3- Anahtarı çevirmek                                                                                                                                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 4- Yemek hazırlamak                                                                                                                                                                                                                                                   | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 5- Zor açılan bir kapıyı iterek açma                                                                                                                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 6- Yukarıdaki bir rafa bir şey yerleştirmek                                                                                                                                                                                                                           | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 7- Ağır ev işleri yapmak (duvar, yer silmek, tamirat yapmak vs.)                                                                                                                                                                                                      | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 8- Bağ bahçe işleri yapmak, odun kesmek                                                                                                                                                                                                                               | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 9- Yatak yapmak                                                                                                                                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 10- Alışveriş çantası ya da evrak çantası taşımak                                                                                                                                                                                                                     | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 11- Ağır bir cismi taşımak (4,5 kg' den fazla.)                                                                                                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 12- Yukarıdaki bir ampulü değiştirmek.                                                                                                                                                                                                                                | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 13- Saçları yıkamak veya kurulamak.                                                                                                                                                                                                                                   | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 14- Sirtını yıkamak.                                                                                                                                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 15- Kazak giymek                                                                                                                                                                                                                                                      | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 16- Yiyecekleri kesmek için bıçak kullanmak                                                                                                                                                                                                                           | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 17- Az çaba gerektiren eğlendirici işler (iskambil oynamak, örgü örmek vs.)                                                                                                                                                                                           | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 18- Kolunuzdan, omuzunuzdan veya elinizden güç aldığınız veya darbe vurduğunuz eğlenceye yönelik etkinlikler (önünüzde yerde bulunan bir konserve kutusu veya küçük bir taş iki elinizle kavradığınız bir sopayla yandan vurmak, tenis oynamak, masa tenisi oynamak ) | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 19- Kolunuzu serbestçe hareket ettirdiğiniz eğlendirici işler (suda taş sektirme, meyve taşıma, çelik çomak oynama )                                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 20- Ulaşım ihtiyaçlarını kendi başına giderebilmek (bir yerden başka bir yere gitmek)                                                                                                                                                                                 | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 21- Cinsel faaliyetler                                                                                                                                                                                                                                                | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |

## DASH (Kol, Omuz ve El Sorunları Anketi) Sayfa -2

|                                                                                                                                                             | Engel yok                             | Az engel                              | Orta derecede                         | Bir hayli                             | Aşırı                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 22 - Son hafta süresince kol omuz ya da el probleminiz aile arkadaşlar, komşular veya gruplarla normal sosyal etkinliklerinize <i>ne ölçüde</i> engel oldu? | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
|                                                                                                                                                             | Hiç kısıtlanmadım                     | Hafif                                 | Orta                                  | Çok                                   | Hiç bir şey yapamıyorum               |
| 22 - Son hafta süresince kol omuz ya da el sorununuz nedeniyle işinizde ya da diğer günlük etkinliklerde kısıtlandınız mı?                                  | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
|                                                                                                                                                             | Yok                                   | Hafif                                 | Orta                                  | Bir hayli                             | Aşırı                                 |
| 24- El, omuz ya da kol ağrınız                                                                                                                              | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 25- Herhangi belirli bir işi yaptığınızda el, omuz ya da kol ağrınız                                                                                        | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 26- El, omuz ya da kolunuzdaki karıncalanma(iğnelenme)                                                                                                      | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 27- El, omuz ya da kolunuzdaki güçsüzlük                                                                                                                    | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
| 28- El, omuz ya da kolunuzdaki hareket zorluğu                                                                                                              | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
|                                                                                                                                                             | Zorluk yok                            | Hafif Derecede Zorlandım              | Orta Derecede Zorlandım               | Aşırı Zorluk Çektim                   | Hiç Uyuyamadım                        |
| 29- Geçen hafta içinde el, omuz ya da kol ağrınız nedeniyle uyumakta ne kadar zorlandınız?                                                                  | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |
|                                                                                                                                                             | Kesinlikle Hayır                      | Katılmıyorum                          | Kararsızım                            | Aşırı Zorluk Çektim                   | Kesinlikle Evet                       |
| 30- Kol, omuz veya el problemimden dolayı kendimi daha az yeterli, daha az yararlı hissediyor veya kendime daha az güveniyorum.                             | <input type="checkbox"/> <sub>1</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>2</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>3</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>4</sub> | <input type="checkbox"/> <sub>5</sub> |

Hudak PL, Amadio PC, Bombardier (1996) C Am J Ind Med. 1996 Jun;29(6):602-8

$$\text{Quick Dash Disability / Semptom Skoru} = \left[ \left( \frac{\text{İşaretlenen maddelerin toplam puanı}}{\text{İşaretili madde sayısı}} \right) - 1 \right] \times 25$$

Eğer biden fazla cevaplanmamış soru varsa Quick DASH skoru hesaplanmamalıdır.

**DASH: The Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand**

Kol, Omuz ve El Sorunları Anketi

### Tezden Üretilen Akademik Çalışmalar

- Çubukçu B., Yüzgeç U., Zileli, R. ve Zileli A. (2020). Reliability and validity analyzes of Kinect V2 based measurement system for shoulder motions, *Medical Engineering Physics*, 2(76)
- Garip, B., Çubukçu, B., Serin, Z. ve Yüzgeç, U. (2019). Kinect Based Office Exercises: BreakOut. *2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*
- Çubukçu, B., Yüzgeç, U., Zileli, R. ve Zileli A. (2018). A Kinect 2 Based Telerehabilitation Method for Shoulder Rehabilitation Exercises. *International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science*, (11.05.2018 - 13.05.2018)
- Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2017). A Physiotherapy Application with MS Kinect for Patients with Shoulder Joint , Muscle and Tendon Damage. *The 9th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN 2017)*
- Çubukçu, B., Yüzgeç, U., Zileli, R. ve Zileli, A. (2017). Web Platform Design for Telerehabilitation of Shoulder Rehabilitation Exercises. *International Congress on Engineering and Life Science*
- Dinvar, Yahya, Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2017). MS Kinect Based Tracking Application for Knee Anterior Cruciate Ligament Physical Therapy. *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*
- Çubukçu, B. ve Çetin, A. (2016). Ms Kinect Applications And Opportunities For People with Physical Disabilities. *International Multidisciplinary Conference(IMUCO)*

## ÖZ GEÇMİŞ



### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Burakhan Çubukçu  
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara – 05.01.1988

### Eğitim Durumu

Lisansüstü Öğrenimi : Gazi Üniversitesi, Bilişim Sistemleri ABD (2013)  
Lisans Öğrenimi : Hacettepe Üniversitesi, Matematik Bölümü(2012)  
Anadolu Üniversitesi, İşletme Bölümü (2010)  
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

### İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi (2018 - ) Öğr. Görevlisi  
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi (2013 - 2018) Uzman

### İletişim

Adres : Beşiktaş Mh. Şehit Mesut Bilir Cd. Nilüfer Evleri 86/N Blok  
No:11 Merkez / BİLECİK  
E-Posta Adresi : burakhan.cubukcu@bilecik.edu.tr

### Akademik Çalışmaları

#### Makaleleri

- Çubukçu B., Yüzgeç U., Zileli, R. ve Zileli A. (2020). Reliability and validity analyzes of Kinect V2 based measurement system for shoulder motions, *Medical Engineering Physics*, 2(76)

#### Uluslararası bildirileri

- Koca, B.A., Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2019). Augmented Reality Application

for Preschool Children with Unity 3D Platform. *3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*.

- Talaş, U., Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2019). Derin Öğrenme ile Nesne Tanıyan Robot Uygulaması. *International Conference on Computer Science and Engineering*.
- Akça, B., Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2019). Görüntüler üzerinde Mutluluk Duygusunun Tespiti. *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*.
- Güner B. N., B., Çubukçu, B., Yayla, R. ve Yüzgeç, U. (2019). Hand Exercise Applications Based on Microcontroller using Unity 3D Platform For Paralytic Patients. *International Conference on Advanced Technologies*.
- Garip, B., Çubukçu, B., Serin, Z. ve Yüzgeç, U. (2019). Kinect Based Office Exercises: BreakOut. *2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* ss. 1–5. Ankara: IEEE.
- Çoban, M. E., B., Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2019). Nesne Takibi Yapan Robot Uygulaması (RasPiBot). *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, (22.11.2019 - 24.11.2019)
- Çoban, M. E., B., Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2019). QR Kod Kullanılarak Raspberry Pi Tabanlı Robot Uygulaması: QR-Robot. *International Conference on Computer Science and Engineering*.
- Kılıççeken, S., B., Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2019). Real-time 2D Human Skeleton Monitoring System. *International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*
- Kaya K, Çalık, B., Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2019). Virtual Eye Application for Visually Impaired Patients. *International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*.
- Çubukçu, B., Yüzgeç, U., Zileli, R. ve Zileli A. (2018). A Kinect 2 Based Telerehabilitation Method for Shoulder Rehabilitation Exercises. *International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science*, (11.05.2018 - 13.05.2018)
- Çubukçu, B., Turkan, M., Yüzgeç U. ve Dandıl, E. (2018). Additional Course Fee Management (AdCoFeeM) System for Academicians. *International Congress on Fundamental and Applied Sciences*.
- Turkan, M., Çubukçu, B., Dandıl, E. ve Yüzgeç U. (2018). Development of A Personnel Information System for Universities. *International Congress on Fundamental and Applied Sciences*.
- Yıldız, M., Çubukçu, B., Serin, Z. ve Yüzgeç, U. (2018) Leap Motion Based Physical Therapy Application for Stroke Patients. *3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*.
- Kaya, M., Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2018) Leap Motion Dokunmasız Sensörü ile Uzaktan Araç Kontrolü. *3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*.
- Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2018) Monogamous Adaptive Crab Optimization Algorithm For Single Objective Optimization Problems. *International Congress on Engineering and Life Sciences*.
- Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2018) Monogamous Crab Mating Optimization Algorithm for Solving Vehicle Routing Problem. *International Conference on*

*Advanced Technologies, Computer Engineering and Science.*

- Çubukçu, B., Yüzgeç, U., Zileli, R. ve Zileli, A. (2017). Web Platform Design for Telerehabilitation of Shoulder Rehabilitation Exercises. *International Congress on Engineering and Life Science*
- Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2017). A Physiotherapy Application with MS Kinect for Patients with Shoulder Joint , Muscle and Tendon Damage. *The 9th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN 2017)*
- Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2017). Monogamous crab mating optimization algorithm. *2nd International Conference on Computer Science and Engineering, UBMK 2017*. doi:10.1109/UBMK.2017.8093558
- Dinvar, Yahya, Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2017). MS Kinect Based Tracking Application for Knee Anterior Cruciate Ligament Physical Therapy. *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*
- Çubukçu, B. ve Çetin, A. (2016). Ms Kinect Applications And Opportunities For People with Physical Disabilities. *International Multidisciplinary Conference(IMUCO)*

#### Projeleri

- Omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastalar için ms kinect ile mentor uygulaması, Bilimsel araştırma projesi (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi), Araştırmacı, 01.08.2017-01.08.2018
- Akıllı Fizyoterapi Mentor Uygulaması, Ar-Ge, İnovasyon ve Endüstriyel Uygulama Destek Programı (KOSGEB), Araştırmacı, 25.11.2019 - ...

**Tarih:...../...../.....**