

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SIÇRAMA YÜKSEKLİĞİ ÖLÇÜMÜNDE
KULLANILACAK YENİ BİR ÖLÇÜM SİSTEMİ
GELİŞTİRİLMESİ**

HİKMET GÜMÜŞ

EGZERSİZ FİZYOLOJİSİ

DOKTORA TEZİ

İZMİR-2019

TEZ KODU: DEU.HSI.PHD-2011970016

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIÇRAMA YÜKSEKLİĞİ ÖLÇÜMÜNDE KULLANILACAK YENİ BİR ÖLÇÜM SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

EGZERSİZ FİZYOLOJİSİ

DOKTORA TEZİ

HİKMET GÜMÜŞ

Danışman Öğretim Üyesi: Prof.Dr. Berkant Muammer Kayatekin

2.Danışman Öğretim Üyesi: Doç.Dr. Alper Selver

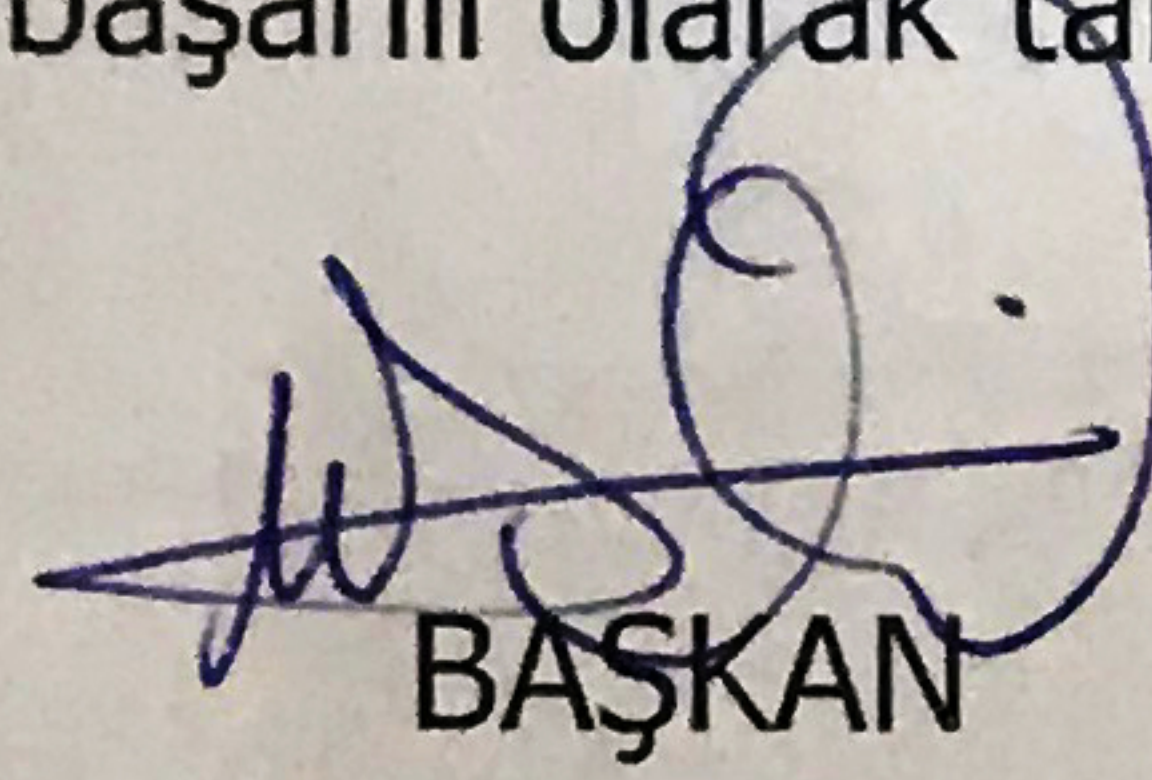
Bu araştırma DEÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Şube Müdürlüğü tarafından 2012-KB-SAG-015 sayı ile desteklenmiştir.

TEZ KODU: DEU.HSI.PHD-2011970016

Dokuz Eylül

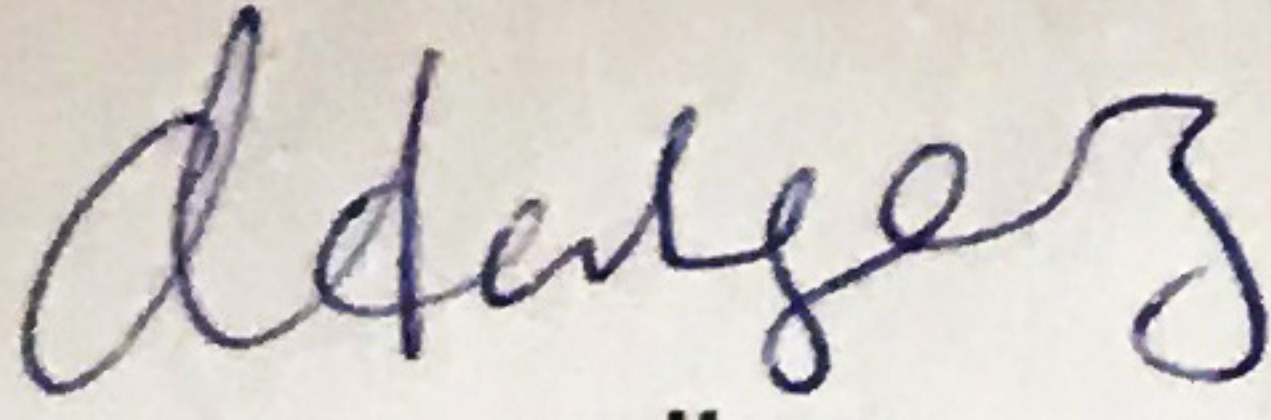
Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoloji Anabilim Dalı,
Egzersiz Fizyolojisi Doktora programı öğrencisi Hikmet Gümüş

**'SIÇRAMA YÜKSEKLİĞİ ÖLÇÜMÜNDE KULLANILACAK YENİ BİR
ÖLÇÜM SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ'** konulu Doktora Tezini ..8/2/2019
tarihinde başarılı olarak tamamlamıştır.



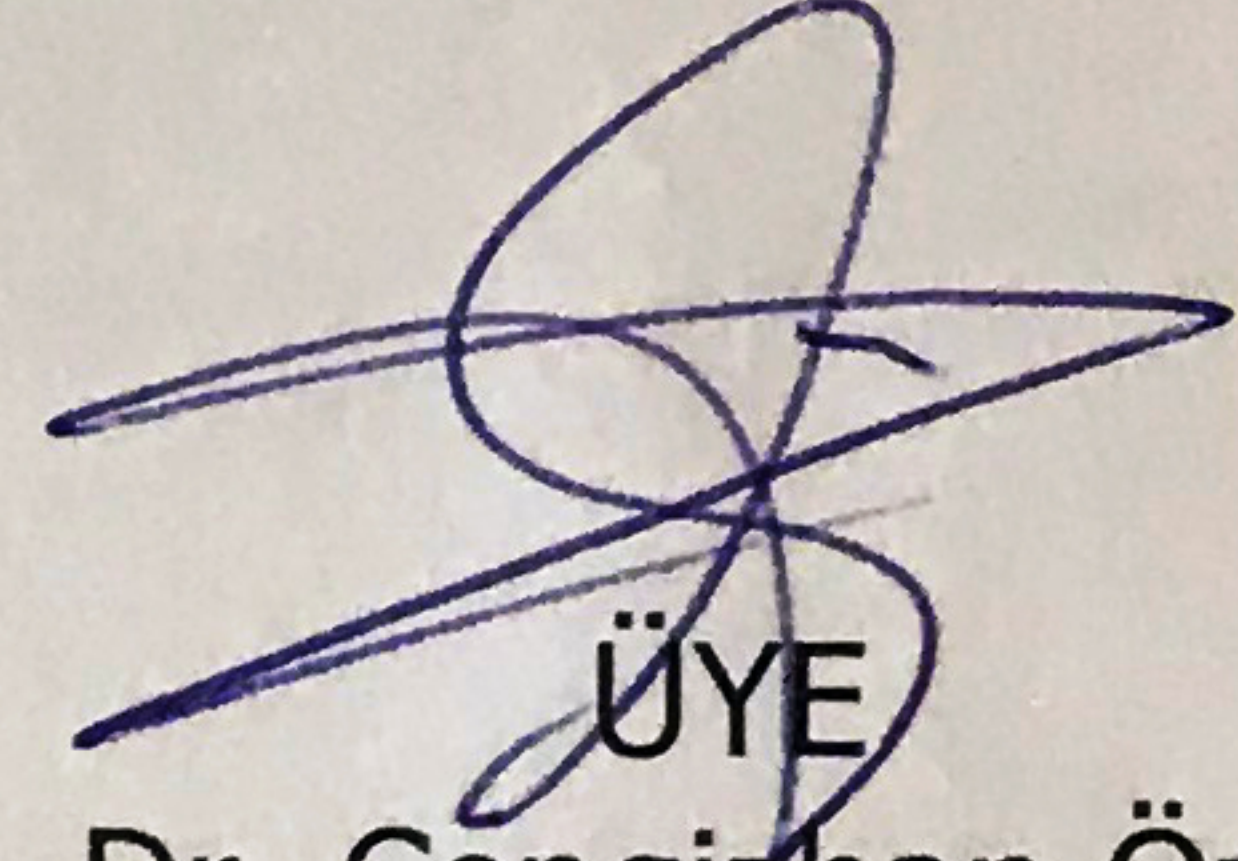
BAŞKAN
Prof.Dr. Berkant Muammer Kayatekin

Dokuz Eylül Üniversitesi
Tıp Fakültesi Fizyoloji AD



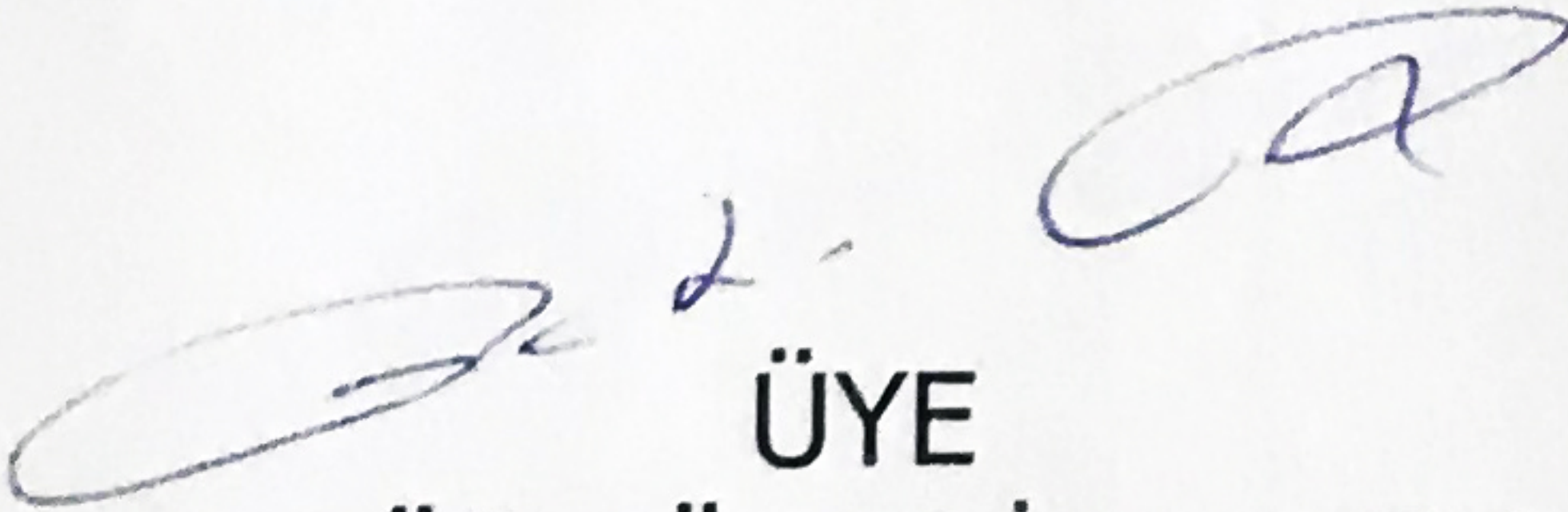
ÜYE

Prof. Dr. Osman Açıkgöz
Dokuz Eylül Üniversitesi
Tıp Fakültesi Fizyoloji AD



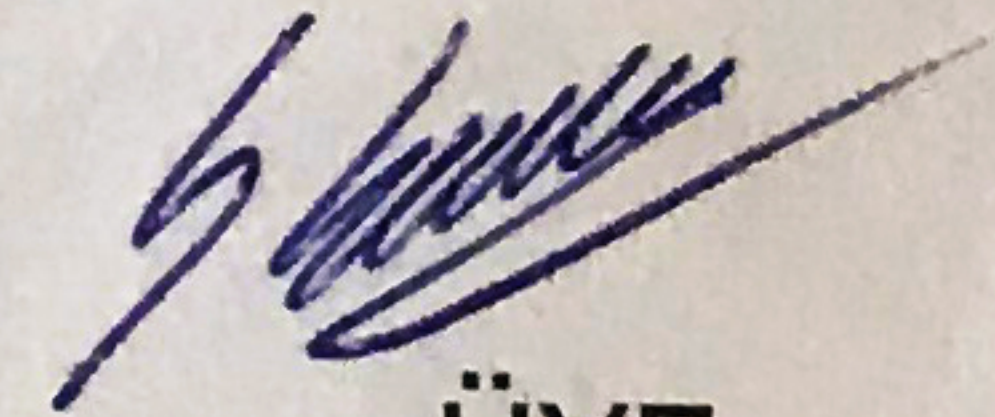
ÜYE

Prof. Dr. Cengizhan Özgürbüz
Ege Üniversitesi Tıp Fak.
Spor Hekimliği AD



ÜYE

Dr. Öğr. Üyesi İsmet Tok
Dokuz Eylül Üniversitesi
Spor Bilimleri Fakültesi
Beden Eğitimi Öğr. Blm.



ÜYE

Dr. Öğr. Üyesi Seçkin
ŞENİŞİK
Ege Üniversitesi
Spor Hekimliği AD

YEDEK ÜYE

Dr. Öğr. Üyesi Oğuz Yüksel
Dokuz Eylül Üni. Tıp Fak.
Spor Hekimliği AD

YEDEK ÜYE

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ENGÜR
Ege Üniversitesi Spor Bilimleri Fak.
Sporda Psiko-Sosyal Alanlar AD

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
TABLO DİZİNİ.....	iv
ŞEKİL DİZİNİ.....	v
KISALTMALAR.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
ÖZET.....	1
ABSTRACT.....	3
1. Giriş ve Amaç.....	5
2. Genel Bilgiler	6
2.1. Dikey Sıçrama	6
2.2. Sıçramanın fazları ve biyomekaniği	7
2.3. Mevcut dikey sıçrama ölçüm yöntemleri	9
2.3.1. Mekanik yöntem	9
2.3.2. Yukarıdaki noktaya temas ederek işaretleme yöntemi	10
2.3.3. Sıçrama Matı ile sıçrama yüksekliğinin hesaplanması	11
2.3.4. Fotoelektrik sensörler ile sıçrama yüksekliğinin hesaplanması ..	13
2.3.5. Giyilebilir sensörler ile sıçrama yüksekliğinin hesaplanması	13
2.3.6. Güç Platformu ile sıçrama yüksekliğinin hesaplanması	14
2.3.7. Video Hareket Analizi sistemleri kullanılarak hesaplama	14
3. Gereç ve Yöntem.....	15
3.1. Araştırmanın Tipi.....	15

3.2. Araştırmanın Yeri ve Zamanı	15
3.3. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi	15
3.4. Çalışma Materyali	16
3.5. Araştırmanın Değişkenleri	16
3.6. Veri Toplama Araçları	16
3.6.1. Geliştirilen Sistemler	17
3.6.1.1. Video Hareket Analizi Sistemi tasarımı	17
3.6.1.2. LIDAR ile ölçüm sistemi tasarımı	18
3.6.1.3. Ultrasonik dalgalar ile ölçüm sistemi tasarımı	19
3.6.1.4. Force Sensing Resistor (FSR) sensör ile ölçüm sistemi	22
3.6.1.5. Inertial sensörler ile ölçüm sistemi tasarımı	23
3.6.1.6. Fotoelektrik sensörler ile ölçüm sistemi tasarımı	24
3.6.2. Boy ve Ağırlık Ölçümleri	25
3.6.3. Vücut Kompozisyonunun belirlenmesi	25
3.6.4. Verilerin İşlenmesi	25
3.6.4.1. Video Hareket Analizi Sistemi	26
3.6.4.2. LIDAR ile ölçüm sistemi	32
3.6.4.3. US dalgaları ile ölçüm sistemi	33
3.6.4.4. IR ışınları ile ölçüm sistemi	33
3.6.4.5. FSR sensör ile ölçüm sistemi	33
3.6.4.6. Inertial sensörler ile ölçüm sistemi	35
3.6.4.7. Fotoelektrik sensörler ile ölçüm sistemi	36
3.6.5. Ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması	36

3.7. Araştırma Planı ve Takvimi.....	38
3.8. Verilerin Değerlendirilmesi	38
3.9. Araştırmanın Sınırlılıkları	40
3.10. Etik Kurul Onayı.....	40
4. Bulgular	41
5. Tartışma	50
6. Sonuç ve neriler	52
7. Kaynaklar	54
8. Ekler	57

TABLO DİZİNİ

Tablo 1. Ölçüm Yöntemleri Karşılaştırılması	37
Tablo 2 Katılımcıların tanımlayıcı verileri	41
Tablo 3 Yöntemlerin tanımlayıcı verileri	41
Tablo 4 ICC ve Regresyon tablosu	42
Tablo 5 Ölçümün standart hatası ve değişim katsayısı tablosu	43



ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1. Şıçramanın Fazları.....	7
Şekil 2. Eklem ve Segment açılarının gösterimi	8
Şekil 3. Örnek Sıçrama Forceplatform GRF - Zaman grafiği.....	12
Şekil 4. ADPS9669 Sensörü ve ünite	17
Şekil 5. Ölçüm ortamı ve sporcu bilgilendirilmesi görüntüsü	18
Şekil 6. LIDAR sistemi tasarımı şematik gösterim	19
Şekil 7. Maxbotix Sonar Sensör dalga dağılımı	20
Şekil 8. US Sensör Sistem Tasarımı Şematik Gösterimi	21
Şekil 9. IR Sensör Sistemi tasarımı Şematik Gösterim	22
Şekil 10. FSR Sistemi tasarımı Şematik Gösterim.....	23
Şekil 11. IMU Sistemi tasarımı Şematik Gösterim	24
Şekil 12. PES Sistemi tasarımı Şematik Gösterim.....	24
Şekil 13. Veri kayıt düzeneği şematik tasarımı.....	26
Şekil 14. Kalibrasyon deseni görüntüsü	27
Şekil 15. Veri kayıt sistemi örnek ekran görüntüsü	29
Şekil 16. Kamera kalibrasyonu akış şeması	30
Şekil 17. Kamera verileri işleme akış şeması	31
Şekil 18. LIDAR verileri işleme akış şeması	32
Şekil 19. FSR verileri işleme akış şeması	34
Şekil 20. IMU verileri işleme akış şeması.....	35
Şekil 21. Kalibrasyon Ortalama Hataları Dağılımı	38
Şekil 22. Kutu grafiği verilerin dağılımı gösterimi.....	39
Şekil 23. Sıçrama yükseklikleri kutu grafiği gösterimi.....	42
Şekil 24. PES ölçümleri histogramı	43
Şekil 25. FSR ölçümleri histogramı	44
Şekil 26. PES-FSR Blant Altman Uzlaşım Grafiği	44

Şekil 27. PES-FSR grafiği ve regresyon formülü	45
Şekil 28. CAM ölçümleri histogramı	45
Şekil 29. PES-CAM Blant Altman Uzlaşım Grafiği.....	46
Şekil 30. PES-CAM grafiği ve regresyon formülü.....	46
Şekil 31. IMU ölçümleri histogramı	47
Şekil 32. PES-IMU Blant Altman Uzlaşım Grafiği	47
Şekil 33. PES-IMU grafiği ve regresyon formülü	48
Şekil 34. LID ölçümleri histogramı	48
Şekil 35. PES-LID Blant Altman Uzlaşım Grafiği	49
Şekil 36. PES-LID grafiği ve regresyon formülü	49

KISALTMALAR

ADC	Analog Digital Converter
BGOF	Bilgilendirilmiş Gönüllü olur Formu
CAM	Camera
CMJ	Counter Movement Jump
COM	Center of Mass
CV	Coefficient of Variance
FSR	Force Sensing Resistor
GRF	Ground Reaction Force
IMU	Inertial Measurement Unit
LID	Lidar
LoA	Limit of Agreement
LPF	Low Pass Filter
MCU	Micro Controller Unit
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
PES	Photo Electric Sensor
RSI	Reactive Strenght Index
SEM	Standart Error of Measurement
SSC	Stretch Shortening Cycle
ToF	Time of Flight
UML	Unified Modelling Language

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında gerek bilimsel gerek kişisel desteklerini esirgemeyen her zaman sabırlı ve destekleyici değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Berkant Muammer Kayatekin'e ilk gününden son ana kadar yanımda olan çalışma arkadaşım ve dostum Öğr.Gör. Celal Gençoğlu'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme süreçlerinde fikir ve desteklerini eksik etmeyen ve yanımda olan Prof. Dr. Osman Açıkgöz ve Dr. Öğr.Üyesi İsmet Tok'a çok teşekkür ederim.

Bu araştırma ve doktora süresince bana kapılarını açan Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji AD ve tüm hocalarıma çok teşekkür ederim. Çalışmalarımın laboratuvar aşaması için tereddüt etmeden kullanmama izin veren ve her fırsatta desteğini ifade eden Prof. Dr. Abdullah Arslan hocama ve laboratuvarı paylaştığım Doç. Dr. Mustafa Akhisaroğlu'na ayrıca teşekkür ederim.

Geçirdiğim zor zamanlarda destek veren hocam Prof. Dr. Sevil Gönenc'e, Prof.Dr. Nazan Uysal'a ve Araş. Gör. Caner Çetinkaya'ya teşekkür ederim.

Çalışmamda araştırmacı olarak bulunan Öğr. Gör. Dr. Mert Tunar'a, Öğr. Gör. Fırat Özdalyan'a Araş. Gör. Sercin Kosova'ya ve Araş. Gör. Egemen Mancı'ya verdikleri desteklerden ötürü teşekkür ederim.

Son olarak duyduğum özleмиyle beni ayakta tutan kızım Duru Gümüş'e teşekkür ederim.

SIÇRAMA YÜKSEKLİĞİ ÖLÇÜMÜNDE KULLANILACAK YENİ BİR ÖLÇÜM SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Hikmet Gümüş, D.E.U Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi
Bölümü, gumush@gmail.com

ÖZET

Amaç: Sıçrama yüksekliği anaerobik gücü değerlendirmek için kullanılan saha testlerinden birisidir. Literatürdeki mevcut sıçrama yüksekliği ölçüm yöntemlerinin laboratuvarında maliyetli ekipmanlar gerektirmesi veya hassas ölçüm yapamayan saha testleri kullanması gibi kısıtlılıkları vardır. Bu araştırmanın amacı sıçrama yüksekliğinin ölçümü için taşınabilir, ucuz, kullanımı kolay bir yöntem geliştirmek ve bu yöntemi bilinen yöntemler ile karşılaştırmaktır. Video Hareket Analizi Sistemi (CAM), Lazerli görüntüleme ve ölçüm sistemi (LIDAR, LID), Inersiyal sensörler (IMU), Ultrasonik sensörler (US), kızılötesi sensörler (IR) ve kuvvet sensörü (FSR) ölçüm sistemleri ile yapılan ölçümler referans yöntem olarak kabul edilen fotoelektrik sensörle (PES) yapılan ölçümler ile karşılaştırılmıştır.

Yöntem: Araştırmaya sağlıklı 51 erkek gönüllü (23.61 ± 4.62 yaş, 178.46 ± 7.16 cm, 78.55 ± 12.39 kg) katılmıştır. Katılımcılar ölçüm öncesinde içinde sensör sistemlerinin ve kayıt ünitelerinin olduğu bir yelek giymiştir. FSR sensörü koruyucu bir neopren kısım ve velcro bant ile katılımcının ayakkabısı altına yerleştirilmiştir. Son olarak katılımcının vücut kütle merkezine IMU ve aktif işaretçi sabitlenmiştir. Sensörlerin çalışması kontrol edildikten sonra katılımcının elleri belinde sabit olarak 90 s arayla üç kez sıçrama (Counter Movement Jump, CMJ) yapmıştır. PES ile ölçülen en iyi iki sıçrama değerlendirmeye alınmıştır. Sıçramalar yüksek hızda kamerayla tampon tetikleme kullanılarak 2s'lik veri olarak kaydedilmiş ve görüntüler Matlab yazılımı ile işlenmiştir. Farklı yöntemlerle yapılan ölçümler tekrarlayan ölçümlerde ANOVA ile karşılaştırılmıştır. Ölçümlerin referans yöntemler ile uyumunu göstermek için Blant Altman uyum grafiği

Çizilmiş, Değişim Katsayısı hesaplanmış ve linear regresyon modellemesi yapılarak regresyon formülü gösterilmiştir. Yöntemlerin referans ölçümle korelasyonu iki yönlü, rastgele, tek ölçümde, mutlak uyumu sınıf içi korelasyon ICC (2,1) ile hesaplanmıştır. Ölçümlerin hatalarının değerlendirilmesi için ölçümün Standart Hatası (SEM) değerleri hesaplanmıştır.

Bulgular: US sensöründen alınan sıçrama verileri Doppler etkisi nedeniyle bozulduğu için değerlendirilememiştir. IR sensör verileri LIDAR sensöründen ~500hz hızında gönderilen lazer ışınlarının neden olduğu artefaktlar görülmüş ve işleme alınmamıştır. FSR, CAM, IMU, LID ve PES lmleri arasında fark bulunmamıştır ($F(3,303)= 2.338$, $p=.074$). FSR, CAM, IMU, LID yöntemleriyle referans ölçüm olan PES arasındaki ICC istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.0001$; sırasıyla $r=0.99, 0.95, 0.68, 0.99$).

Sonuç: CAM ve IMU ile yapılan ölçümlerdeki SEM değerleri FSR ve LID ile yapılanlara göre yüksek olduğu grlmektedir. Burada düşük ölçüm hatasına sahip FSR ve LID yöntemleri ön plana çıkmaktadır. Özellikle FSR ile geliştirilebilecek ayakkabı tabanına entegre giyilebilir ürünler sadece tekil sıçramaların değil sıçrama komponenti olan karmaşık hareketlerin de değerlendirilmesi için kullanılabilir. Ölçmenin standart hatası açısından karşılaştırıldığında referans yöntem olan PES'e kıyasla en düşük değere ($SEM=5.38$) sahip olan yöntem FSR ile yapılan ölçümlerdir. SEM değerleri açısından referans yönteme yakın ($SEM=6.8695$) diğer bir yöntem ise LIDAR'dır. Sportif performansın değerlendirilmesi konusunda LIDAR yöntemi kullanarak yapılan bir yayına rastlanmamıştır. Bu araştırma LIDAR ile sportif performansın değerlendirildiği ilk araştırmadır. Ayrıca bu yöntem ucuz, stabil ve yüksek örnekleme hızına sahiptir. Bu çerçevede sadece sıçrama yüksekliği ölçümünde değil kısa mesafe koşularının detaylı incelenmesi gibi alanlarda da kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Sensörler, Giyilebilir teknoloji, Sıçrama yüksekliği

DEVELOPING A NOVEL SYSTEM TO EVALUATE JUMP HEIGHT

Hikmet Gümüş, D.E.U Faculty of Sports Science, Department of Coaching Education, gumush@gmail.com

ABSTRACT

Objective: Jumping height is one of test to evaluate the anaerobic power in sports. There are some limitations in available jumping height measurements methods such as expensive equipment demands or nonsensitive measurements. The aim of this study is developing a novel system to evaluate jumping height. Video Motion Capture Analyses (CAM), Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR, LID) system, force sensor (FSR), ultrasonic sensors (US), Infra red (IR) and Inertial movement units (IMU) methods were compared to reference method Photoelectronic sensors (PES).

Method: Fifty-one healthy male volunteers (23.61 ± 4.62 year, 178.46 ± 7.16 cm, 78.55 ± 12.39 kg) participated in this study. They wore a vest included sensors systems and record units. FSR sensor was mounted to their shoes using a velcro band. IMU and active marker were placed to the center of mass. After the control of sensors working, they performed three CMJ (arms were stabilized to the body) with 90s recovery. All jumps were recorded as 2s periods by the high-frequency camera using buffer triggering and data was processed in Matlab. Different assessments of jumping height were compared with repeated measurements of ANOVA. The ICC was used to examine the relationships of methods. The SEM and 95% limit of agreement (LOA) method were calculated and showed as Bland Altman plots graphed. Relationships of new methods with reference jumping height assessment were evaluated by intraclass correlation (ICC), 2-tailed.

Results: Jumping data, which obtained from the US sensor, corrupted because of the Doppler effect. So these data could not be evaluated. Some artifacts, which are caused by laser beams sent by LIDAR sensor at ~ 500 hz velocity, had seen at the IR data and these data did not process. FSR, CAM, IMU, LID and PES measurements

were similar ($F(3,303) = 2.338$, $p = .074$). ICC between PES, the reference measurement, and other measurement methods (FSR, CAM, IMU, LID) found statistically significant ($p < 0.0001$; respectively $r = 0.99, 0.95, 0.68, 0.99$).

Conclusion: SEM values of the CAM and IMU measurements found greater than FSR and LID measurements. FSR and LID methods, which have a low standard error of measurement, come into prominence. Especially shoe sole integrated wearable products, which are developable with FSR, can be used for the evaluation of complicated movements with the inclusion of jumping component, not only singular jumps. When comparing the other methods with the reference method (PES) in terms of standard error of measurement, the FSR measurement method has the lowest value ($SEM = 5.38$). In terms of SEM values, another method which is close to the reference method ($SEM = 6.8695$) is LIDAR. As our knowledge, there is no published article in this topic of evaluating sport performance, which is using LIDAR method. This research is the first research which evaluates sport performance with LIDAR. Furthermore, this method is cheap and has a high sampling rate. In this context, this method can be used in the fields such as a detailed investigation of short distance runs not only jumping high measurements.

Key Words: Sensors, Wearable technology, Jumping height

1. Giriş ve Amac

Birçok spor dalı farklı performans bileşenlerine gereksinim duymaktadır. Futbol, voleybol, basketbol, hentbol, jimnastik, kısa mesafe koşuları, yüzme gibi popüler branşlar bunların arasında sayılabilir. Bu spor dallarında sonuca yönelik hareketlere bakıldığında sprint, ani yön ve hız değiştirme, sıçrama gibi kısa süreli ve yüksek şiddetli hareket paternlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu branşlar için anaerobik performansın ölçülmesi ayrı bir öneme sahiptir.

Sporda performans değerlendirmeleri farklı yöntemler ile yapılabilmektedir. Bu değerlendirmeler temelde laboratuvar ve saha testleri olarak iki gruba ayrılabilir. Laboratuvar testleri daha yüksek geçerlilik ve güvenilirliğe sahip olabilmesine karşın; uygulama süresi, maliyeti, eğitilmiş personel gereksinimi gibi nedenlerle alanda uygulanabilirlikleri saha testlerine göre daha düşüktür.

Anaerobik performansın ölçülmesi için kullanılabilen çok sayıda laboratuvar ve saha testi bulunmaktadır. Sıçrama yüksekliği de anaerobik gücü değerlendirmek için kullanılan saha testlerinden birisidir.

Buna ek olarak sıçrama basketbol, voleybol gibi bazı branşlar içinde branşın temel hareketlerinden biridir. Bu nedenle sıçrama yüksekliği bu branşlarda sadece anaerobik performansın bir göstergesi değil aynı zamanda teknik bir beceri olarak da değerlendirilmektedir.

Sıçrama yüksekliği ile ilgili bilinen en temel yöntem 1921 yılında Sargent tarafından tanımlanmıştır[1]. Günümüzde halen kullanılan bu yöntem teknolojinin gelişmesiyle yerini farklı yöntemlere bırakmaktadır[2-6].

Bu yöntemler kullanım kolaylığı, maliyeti, hassasiyet, taşınabilirlik, uzun süreli izleme gibi özellikler açısından değerlendirilebilir. Bu araştırmanın amacı sıçrama yüksekliğinin ölçümü için taşınabilir, ucuz, kullanımı kolay bir yöntem geliştirmek ve bu yöntemi bilinen yöntemler ile karşılaştırmaktır.

2. Genel Bilgiler

2.1. Dikey Sıçrama

Dikey sıçrama farklı sıçrama şekillerini içeren genel bir ifadedir. Squat sıçramasında ve Statik Sıçramada sporcu yarı squat pozisyonundayken ya da yere en yakın konumda bekler ve sonra sıçramayı gerçekleştirir. Bu durum gerilme kısalma döngüsü (Stretch Shortening cycle, SSC) etkisinin ortaya çıkamaması nedeniyle daha düşük bir sıçrama yüksekliği anlamına gelmektedir. Aksi yönde hareket içeren sıçramada ise sporcu squat hareketinin ardına sıçramayı ekler bu şekilde SSC etkisinden yararlanılabilir. Squat sırasında dizin açısı farklı değerlerde olabilir. Bazı protokollerde olması gereken diz açısı belirtilirken bazılarında serbest bırakılarak sporcunun maksimale ulaşması için farklı denemeler yapmasına izin verilebilir. Sıçrama şeklindeki bir alternatif de kolların kullanılmasıdır. Kolların sıçrama sırasında salınımı performansla olumlu olarak etki etmektedir. Bu nedenle Abalakov Sıçrama testi gibi bazı protokoller kolların salınımına izin verirken Bosco Counter Movement Jump (Aksine yönde hareket sıçraması, CMJ)'da ise ellerin belde sabit olarak konumlandırılması istenir. Bunların yanı sıra uygulanma protokollerine göre de farklılaşmalar olmaktadır. Sıçrama sırasında sporcunun ağırlık yeleği giymesi, tek ya da çift adım atarak harekete başlaması, tek ya da çift ayak ile sıçraması, dikeyde ya da ileri doğru sıçraması bunlardan bazılarıdır. Yapılması istenen antrenmanın amacına ya da değerlendirilmesi gereken parametreye göre bu sıçrama şekilleri arasında tercih yapılabilir.

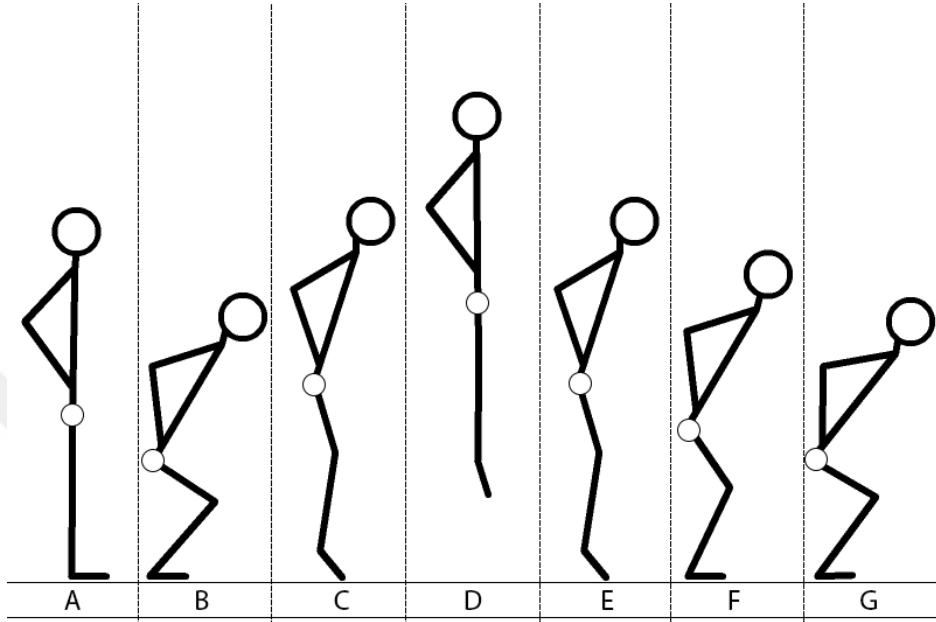
Dikeyde alınan mesafe rakipten daha yukarıda olma ve hareket avantajı kazanma açısından oldukça önemlidir.

Bu araştırma sırasında diğer karıştırıcı faktörleri azaltmak ve standardize edebilmek için katılımcılardan elleri belinde olacak şekilde aksi yönde hareket ile başlayan CMJ sıçraması kullanılmıştır.

2.2. Sıçramanın fazları ve biyomekaniği

Dikey sıçrama yüksekliği vücut ağırlık merkezinin (Center of Mass, COM) dikey eksenindeki yer değiştirmesi olarak tanımlanır. COM'un sıçrama sırasındaki yolunu değerlendirebilmek için çıkış (take-off) anındaki hızını, take-off açısını, take-off sırasındaki COM'un yüksekliğinin bilinmesi gereklidir. Ancak bir çok çalışmada bu yolun

sadece dikey olduğu varsayılmaktadır. Bu durum sıçramanın sadece dikey bileşeninin değerlendirilmesine neden olarak yatay bileşenin göz ardı edilmesine neden olur.



Şekil 1. Sıçramanın Fazları

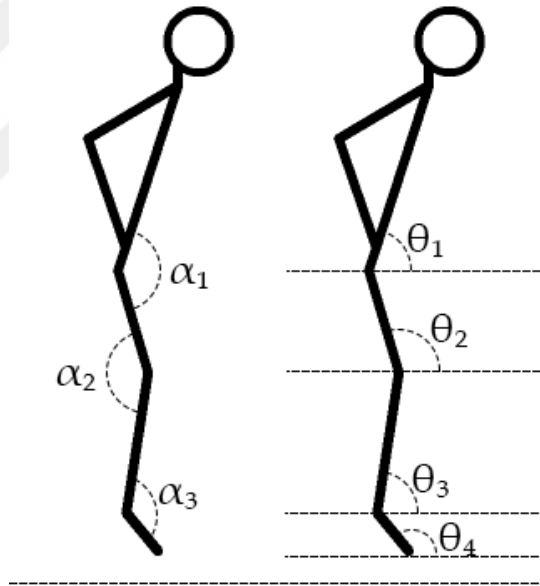
Sıçramanın fazları yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Bu fazları değerlendirmek için farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Başlangıç fazı (A), Aksi yönde hareket (B) , Hızlanma (C) , Uçuş (D) , Temas (E) , Yaylanma (F ve G) fazları olarak isimlendirilebilir. Başlangıç fazında sporcu bekleme aşamasındadır. Aksi yönde hareket fazında sporcu ters yönde bir hareket ile kasların elastik özelliklerini ve tendonları kullanarak mekanik olarak enerji depolar ve bu aşamada daha sonra gerçekleşecek hızlanma için mesafe kazanır. Bu faz için ideal eklem açıları farklı araştırmalarda tartışılmakla birlikte bir çok uygulama protokolünde 90° olarak alınmaktadır[7, 8]. Nörofizyolojik olarak aksi yönde hareket fazı yere yakın pozisyona geçen süre eksantrik, burada kaldığı süre amortizasyon, buradan yukarı hareketi ile ayağın yerden kesilmesi arası konsantrik faz olarak değerlendirilmektedir.[9-11].

Sıçrama sırasında COM'un sadece dikeyde hareket etmesi çok önemlidir. COM'un dikeyin yanı sıra farklı yönlere hareketi dengenin sağlanmasını zorlaştırarak enerjinin

bir kısmının bu şekilde harcanmasına neden olur. Bu durumda toplam enerjinin istenildiği gibi sıçrama yüksekliğine yansıyamaması anlamına gelir.

Sıçramanın tanımlanması için eklem ya da segmentlerin açıları kullanılabilir[12].

Segment açıları söz konusu segmentin yatay düzlem ile yaptığı açıyı ifade etmektedir. Eklem açısı ile o eklemden birleşmiş olan segmentlerin arasındaki açıyı ifade etmektedir. Sıçramanın tanımlanması için kullanılan açılar Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Eklem ve Segment açılarının gösterimi

Şekil üzerinde gösterilmiş olan α eklemlerin açısını göstermek için kullanılmıştır. θ ise segmentlerin açılarını göstermektedir. α_1 kalça açısı, α_2 diz açısı, α_3 ayak bileği açısı, θ_1 gövde açısı, θ_2 bacak üst segment açısı, θ_3 bacak alt segment açısı, θ_4 ayak açısı şeklinde gösterilmiştir.

2.3. Mevcut dikey sıçrama ölçüm yöntemleri

2.3.1. Mekanik yöntem

Bu kategorideki yöntemler temelde sporcu üzerinde bulunan ip ya da benzeri bir ürünün sabit bir noktaya (genellikle yere) bağlı olması ve sıçrama sırasında bu ipin ne kadar gerildiği ya da bağlı olduğu makaradan ne kadar salındığına göre sıçrama yüksekliğinin ölçülmesi şeklindedir. Genelde sadece mekanik parçalardan oluşan sistemler üretim aşaması sonrasında bir kalibrasyon gerektirmez. Vücut ağırlık merkezine bağlandığından indirekt noktalardan ölçüm yapan yöntemler gibi gövde açısı ya da diz açısı değişikliklerinden etkilenmez. Genelde analog sistemler olduğundan örnekleme hızı kısıtlayıcı bir faktör değildir. Kullanımı oldukça kolaydır ve düşük maliyetli bir yöntemdir. Bir eğitim gerektirmeden rahatlıkla sporcunun kendisi tarafından kullanılabilir. Ölçüm sonuçlarının işlenmesi gerekmez, sıçramanın ardından hemen görülebilir. Ölçüm için laboratuvar ortamı gerekli değildir, çevre koşullarından etkilenmeden her ortamda ölçüm alınabilir.

Bu yöntemin dezavantajları ise ölçüm için kullanılacak mekanik sistemin hassasiyeti ve zaman içinde mekanik özelliklerinin değişmesidir. Buna ek olarak bu ölçüm yöntemi sadece sabit bir noktada durularak yapılan sıçramalar için kullanılabilirken spor branşının özelliği gereği hareketin tamamının değerlendirilmesi gereken durumlar için yeterli değildir. Örneğin, turnike hareketi sadece dikeyde katedilen mesafenin değil aynı zamanda koordinasyon ve denge becerisinin de değerlendirilebildiği bir harekettir. Bu mekanik yöntemler ile turnike gibi komplike hareketler sırasında ölçüm yapılamaz.

Yine bu yöntemin kısıtlayıcı bir yanı ise sıklık (stiffness) ya da reaktif güç indeksi (reactive strength index, RSI) gibi performansa ilişkin farklı hesaplamalarda sıklıkla kullanılan ardışık sıçramaların değerlendirilmesi için uygun bir yöntem olmamasıdır[12].

Son zamanlarda bu yöntemin hassasiyet sorunlarını gidermek amacıyla ölçümün linear transducer'ler ile yapılması gündeme gelmiştir. Ancak bu konuda kısıtlı sayıda araştırma bulunmaktadır[6].

2.3.2. Yukarıdaki noktaya temas ederek işaretleme yöntemi

Bu yöntemde bir duvara yakın bir noktada eline bir işaretleyici alarak sıçraması ve zirveye ulaştığında bu işaretleyici ile duvar üzerine bir işaret bırakması istenmektedir.

Sargent Sıçrama testi olarak anılan bu test ilk kez [1] 1921 yılında Sargent tarafından tanımlanmıştır.

Bu yöntemin en önemli zorluğu ciddi bir koordinasyon istemesidir[13]. Sıçramada dikeyde en yüksek noktada iken kolunda yine en yüksek noktada olması ve bu sırada çok yakın olan duvar üzerine işaretleme yapılması işlemi zorlaştırmaktadır. Bu da sporcuların maksimal performanslarına erişmek için birden çok deneme yapmasına neden olmaktadır. Sıçrama sırasındaki koordinasyon zorluğu, sporcuların maksimal sıçramalarını gerçekleştirmelerini engelleyebilir.

Bu yöntemde sporcunun kolu yukarı doğru uzatarak bu uzunluk ölçülerek sıçrama sonrasında ulaşılan nokta ile arasındaki fark sıçrama yüksekliği olarak belirlenir.

Ağırlık merkezinin yerine farklı bir noktanın değerlendirilmesi ölçümün zayıf yönlerinden biridir. Sıçrama sırasında omurlar arasındaki mesafenin istirahat haline göre daha fazla olması ölçüm sonuçlarının yüksek çıkmasına neden olabilecektir. Bu durum sporcuları arasındaki farkların değerlendirilmesinde sorun olmasına karşın sporcuların gelişimlerinin takip edildiği durumlar için bir dezavantaj oluşturmamaktadır. Duvarın yakınlığı nedeniyle çoğu durumda durarak yapılan sıçramaların değerlendirmesi yapılabilirken, adım atarak yapılan ya da karmaşık hareketleri içeren sıçramalar değerlendirilememektedir.

Bu yönteme benzer bir yöntemde bir direk üzerine geçirilmiş ardışık çubuklara sıçrama sırasında vurarak yüksekliğin değerlendirilmesidir. Bu ölçüm şeklinde yukarıdakilere ek olarak ölçüm hassasiyeti çubukların ve aralarındaki boşluğun miktarı

ile sınırlı olacaktır. Örneğin, bir çubuk 10mm ve diğer çubuk ile arasındaki mesafede 3mm ise bu durumda sporcunun sıçraması 0-13mm hata payı içerebilecektir.

Bu dezavantajlarına rağmen bu yöntemler oldukça ucuz, sahada kullanılabilen, pratik ölçüm yöntemleridir. Özellikle çok sayıda sporcunun kısa süre içinde sahada ölçülmesi gibi durumlarda kullanılabilir[13].

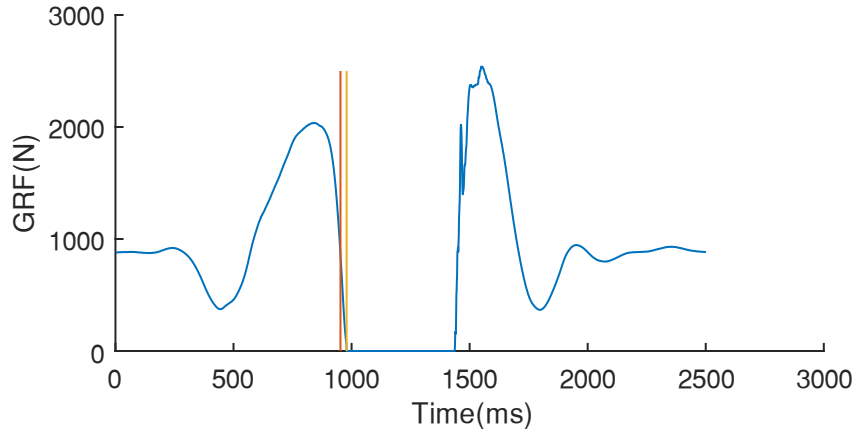
2.3.3. Sıçrama Matı ile sıçrama yüksekliğinin hesaplanması

Bu yöntemde sporcu bir mat üzerinde durarak sıçrama yapar. Mat bir anahtar görevi görerek bağlı olduğu sisteme bir sinyal oluşturmaktadır. Sistem üzerinde iki sinyal arasındaki süre üzerinden havada kalma süresini hesaplamaktadır.

$$h = \frac{g \cdot t^2}{8}$$

(h: sıçrama yüksekliği, t: havada kalış süresi, g:yerçekimi ivmesi)

Bu yöntemde havada kalma süresi, ayağın yer ile teması kesildiği zaman başlayıp tekrar yer ile temas ettiği zaman bitmektedir. Ancak bu süre sıçrama hareketinin tamamını yansıtmamaktadır. Hızlanma fazının sonunda yerden ayrılmadan önce ayak açısı artarak temasın kesilmesini önler. Bu durum sıçramanın başlamasının daha geç algılanmasına neden olmaktadır. Bu hata kaynağı bu yöntemin kullanıldığı durumlarda baştan kabul edilmelidir. Bu durum farklı yöntemler ile yapılan ölçümler ile kıyaslanması konusunda sorun oluşturmakla birlikte sporcunun ardışık ölçümleri için bir soruna neden olmamaktadır.



Şekil 3. Örnek Sıçrama Forceplatform GRF - Zaman grafiği

Yukarıdaki grafikte güç platformu üzerinde alınan bir ölçüm verileri görülmektedir. Burada Y ekseninde yer tepkime kuvveti (Ground Reaction Force, GRF) görülmektedir. Sıçrama sırasında dizlerin bükülmesi esnasında hareket vücudun alçalmasından daha hızlı olduğundan önce GRF’de azalma, ardından gövdenin kazandığı hız nedeniyle oluşturduğu itme ile GRF’de artma görülmektedir. Ardından gövdenin yükselmeye başlaması ile GRF azalmaya baslar. Burada işaretli ilk çizgi GRF’nin başlangıç değerine eşit olduğu yeri göstermektedir. Bu kısım ile GRF’nin sıfır olduğu nokta arasında ayağın yere teması var ancak bu başlangıç seviyesine göre daha düşük değerdedir. Bu iki nokta arasındaki fark sıçrama matı ile algılanamadığından bu ölçüm yönteminin önemli dezavantajlarından biridir.

Bu yöntemdeki diğer bir sorun ise ölçüm için kullanılan matın malzemesinden kaynaklanan hassasiyet farkları ve yine kauçuk ve polimer karışımı bu malzemenin zaman içinde esneklik ve absorpsiyon özelliklerinin değişmesi nedeniyle hassasiyetinde değişimlere neden olmaktadır.

Diğer yandan ardışık sıçramaların kaydedilmesine sağlayan bu yöntem RSI ve Stiffness gibi farklı parametrelerinde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Ancak mat yüzeyinin sınırlı olması ölçüm alanını sınırlamaktadır. Bu nedenle kompleks hareketlerin değerlendirilmesini zorlaştırmakta ve bununla birlikte ölçüm

zemini konusunda da sınırlar getirmektedir. Örneğin çim saha ya da benzeri yüzeylerin üzerinde matların kullanılması mümkün olmamaktadır.

2.3.4. Fotoelektrik sensörler ile sıçrama yüksekliğinin hesaplanması

Fotoelektrik yöntemde sıçrama matı yerine yerde fotoelektrik sensörler bulunmaktadır. Bu sensörler matın sahip olduğu malzeme dezavantajlarını gidermektedir. Bu yöntem bir çok araştırmada referans yöntem olarak kullanılmaktadır[3, 14, 15]. Bu yöntemde endüstriyel kızılötesi sensörler kullanılmaktadır. Bu sensörler sayesinde önünde bir cisim olduğunda bağlı olduğu sisteme bir uyarı göndermektedir. Sistem üzerindeki mikroişlemci bu sinyaller arasındaki süreyi hesaplayarak havada kalma süresini (Time of Flight, ToF) bularak bunun üzerinden sıçrama yüksekliğini hesaplamaktadır. Havada kalma süresi bu yöntemler ile kullanılan mikroişlemcinin saat çarpanının fraksiyonu kadar hassas bir şekilde ölçülebilir, çoğu durumda bu μs düzeyindedir. Bu yöntemde sıçrama matı yönteminde açıklanan yerden yapılan ölçümlerin genel hatasına sahiptir.

2.3.5. Giyilebilir sensörler ile sıçrama yüksekliğinin hesaplanması

Giyilebilir sensörlerin kullanımı özellikle 2010 yılı sonrasında artan bir hızla devam etmektedir. Bu sensörler farklı tiplerde olabilmektedir. Hareket ile ilişkili konularda İnersiyal sensörler yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu sensörler MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) yapısında olup içerisinde giroskop, ivmeölçer ve manyetik alan ölçer bulunmaktadır. Sıçrama yüksekliğinin tekil değerlendirilmesinde ivmeölçer tek başına yeterli olabilirken karmaşık hareketlerin değerlendirilmesinde her üç sensörden gelen veriler de işlenmektedir.

Atalet Ölçüm Sisteminden (Inertial Measurement Unit, IMU) gelen veri işlenerek ToF hesaplanır. Sıçrama yüksekliğinin hesaplanması yine ToF üzerinden yapılır. Buna ek olarak IMU verilerinden farklı algoritmalar ile sıçrama yüksekliğinin hesaplanması konusunda çalışmalar vardır[16].

Giyilebilir sensörlerin kullanıldığı sistemler düşük ağırlıkta, taşınabilir sistemlerdir. Bu sistemler uzun süreli kayıt alabildiği ve farklı hareket inceleme

yöntemlerinde kullanılabildiğinden sıçrama içeren kompleks hareketlerin incelenmesi için de kullanılabilir.

2.3.6. Güç Platformu ile sıçrama yüksekliğinin hesaplanması

Güç platformu ile sıçrama yüksekliğinin hesaplanmasında sporcu içinde 3 boyutlu kuvvet sensörlerinin olduğu bir platform üzerine çıkarak sıçrama yapar. Bu kuvvet sensörlerinden gelen veri kaydedilir. Kaydedilen verinin farklı yöntemler ile işlenmesi sonucunda sıçrama yüksekliği elde edilir.

Bu yöntemlerden biri ToF'ın bulunmasıdır. Bu yöntemde Şekil 3'de görülen kuvvet zaman eğrisi üzerinde havada kalış süresinin bulunarak sıçrama yüksekliğinin aşağıdaki formüle göre hesaplanmasıyla elde edilmektedir.

$$h = \frac{g \cdot t^2}{8}$$

Diğer bir yöntem platformdan ayrılma sırasındaki çıkış hızına (Take-off Velocity, Vto) göre hesaplamanın yapılmasıdır.

$$h = v^2 / 2g$$

(h: sıçrama yüksekliği, v: çıkış hızı, g: yerçekimi ivmesi)

Sıçrama yüksekliği yukarıdaki formüle göre hesaplanır. Burada gereken çıkış hızı bilgisi sensörlerden gelen zamana göre kuvvetin değişimi bilgisi integrali üzerinden hesaplanmaktadır[17].

2.3.7. Video Hareket Analizi sistemleri kullanılarak hesaplama

Video ile hareket yakalama ve hareket analizi sistemleri sinemadan güvenlik sistemlerine, biyomekanik analizlere kadar bir çok alanda kullanılmaktadır.

Sıçrama yüksekliğinin tespiti konusunda sistem belirlenen referans noktanın izlediği rotanın hesaplanması şeklindedir ki sıçrama yüksekliği için bu nokta COM'dir.

Kameralar bir sensör ve onun önünde yer alan optik elemanlardan oluşmaktadır. Bu optik sistemler gerçek hayatta oluşan görüntünün sensör üzerine belirli bozunum ve dönüşümlere uğrayarak aktarılması anlamına gelmektedir. Gerçek

hayattan alınan görüntülerin üzerinde ölçümlerin yapılabilmesi için bu bozunumların düzeltilmesi gerekmektedir. Bu nedenle kameralardan alınan görüntüler üzerinde kalibrasyon işlemleri uygulanmaktadır.

Kameranın yapısından kaynaklanan bozunum ve dönüşümler Intrinsic faktörler olarak nitelendirilir.

Kamera hareketin olacağı düzlemin karşısına yerleştirildiğinde görüntünün sensör üzerinde oluşturduğu görüntü ile boyutsal benzeşimlerinin yapılması içinde Extrensic faktörler açısından kalibre edilmesi gerekmektedir.

3. Gereç ve Yöntem

3.1. Araştırmanın Tipi

Bu çalışma bir yöntem geliştirme araştırmasıdır. Bu araştırma sırasında sıçrama yüksekliğinin belirlenmesinde kullanılabilecek yöntemler tasarlanmış ve bu yöntemler referans yöntem olarak kabul edilen fotoelektrik sensörler ile karşılaştırılmıştır.

3.2. Araştırmanın Yeri ve Zamanı

Araştırmanın ölçümleri Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı Egzersiz Fizyolojisi laboratuvarında 2018 yılı Aralık ayında yapılmıştır.

3.3. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Örnek büyüklüğü PASS 13 Güç Analizi ve Örnek Büyüklüğü yazılımı [18] kullanılarak hesaplanmıştır. Araştırmanın temel değişkenleri yapılacak sıçramanın farklı cihazlar ile elde edilen sıçrama yükseklikleri olduğundan Tekrarlayan Ölçümler için ANOVA testi baz alınarak örnek büyüklüğü hesaplanmıştır. Hesaplamalar tek değişkenli F testi kullanılarak ve belirlenen minimum güç ve anlamlılık düzeyi belirlenerek hesaplanmıştır. 0.95 güç ve $\alpha=0.05$ anlamlılık değeri ile hesaplama yapıldığında minimum örnek büyüklüğü $N=34$ olarak hesaplanmıştır. [19, 20]

Araştırma Dokuz Eylül Üniversitesi Spor Bilimleri öğrencileri ve Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilimdalı çalışanlarına duyurulmuş ve gönüllü katılımları istenmiştir. Katılımcılara araştırmanın uygulama aşamasından bahsedilmiş ve gönüllü onamları alınarak belgelenmiştir.

Dışlama kriteri belirlenmemiş ve katılımcılardan istemeleri halinde herhangi bir aşamada araştırmadan çıkabilecekleri belirtilmiştir.

3.4. Çalışma Materyali

Araştırmanın materyali sıçrama sırasında farklı sensörlerden gelen zaman serisi verilerinden oluşmaktadır. Veriler 2018 yılı Aralık ayı ikinci haftasında toplanmıştır.

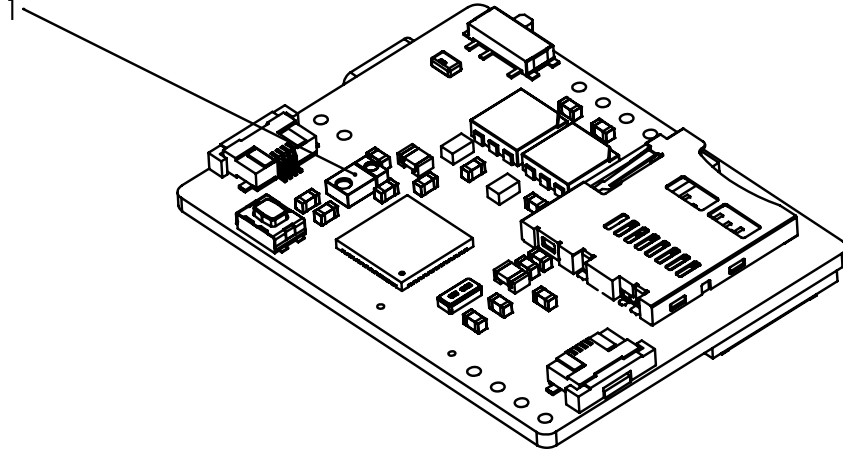
3.5. Araştırmanın Değişkenleri

Araştırmanın bağımsız değişkenleri sıçrama yüksekliğinin ölçülmesinde kullanılan farklı cihaz ve yöntemlerdir. Araştırmanın bağımlı değişkeni ise bu yöntemler kullanılarak elde edilen sıçrama yükseklikleridir.

3.6. Veri Toplama Araçları

Araştırma sırasında yapılan ölçümler birden fazla cihaz ile yapılmaktadır. Bu nedenle cihazlar arası iletişimin ve senkronizasyonun sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle araştırmacı tarafından ışık kullanılarak ünitelerin senkronizasyonunu sağlayan bir yöntem geliştirilmiş ve yöntem ile ilgili patent başvurusunda bulunulmuştur. Patent Kablosuz Alıcı Ağlarının Senkronizasyonu, Patent No:2018/10007, bu sisteme ait şematik görüntü Şekil 4.'te yer almaktadır.

Geliştirilen sistem düşük işlemci gücüne sahip sensör ağlarında işlemci üzerine minimal yük bindirerek birden çok ünitenin senkronizasyonunu sağlamaktadır.



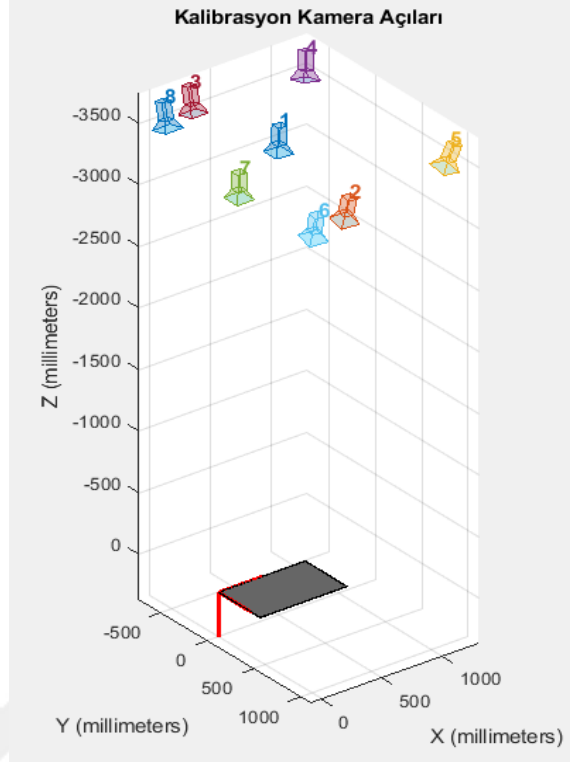
Şekil 4. ADPS9669 Sensörü ve ünite

3.6.1. Geliştirilen Sistemler

Geliştirilen sistemlere ait bilgiler tekrarlanabilir olmasını sağlamak için detaylı olarak UML (Unified Modelling Language) kullanılarak gösterilmiştir.

3.6.1.1. Video Hareket Analizi Sistemi tasarımı

Video görüntülerinden hareketlerin analizi sisteminde bir kamera ve katılımcı üzerinde hareketlerin takip edilebilmesi için bir işaretleyici (marker) bulunmaktadır. Kameradan elde edilen görüntüler bilgisayar ortamında işlenerek sıçrama yüksekliği hesaplanmıştır. Bu araştırma için Sony RX 100 M4 kamera kullanılmıştır. Bu kamera Gitzo marka GIGT2531EX modeli bir tripod üzerinde sabitlenmiştir. Sabitleme için Acratch markası ACGV2BHQRLD GV2 modeli sabitleme kafası kullanılmıştır. İzleyici olarak aktif izleyici kullanılmıştır. Sistem sıçramanın yapılacağı odaklama düzleminin (Focus Plane) karşısına, düzleme paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 5. Kamera Kalibrasyon Açılıları

Kayıt işlemi ışıkların kontrol edilebilmesi için pencereleri olmayan bir oda içinde sabit ışık altında yapılmıştır. Görüntüler yüksek kayıt modunda 1000fps hızında ve 1920x1080p çözünürlükte kaydedilmiştir. Kayıtların işlenmesi sırasında segmentasyon işleminin kolaylaştırılması için f4 diyafram değeri ile 1/8000 shutter hızı ile kayıt alınmıştır.

Kamera ile kaydedilen görüntülerin sahip olduğu bozunum (distorsiyon) ve dönüşümleri (transformation) gidermek için bir dizi işlem uygulanmıştır. Bu işlemler için farklı açılarda kalibrasyon görüntüleri alınmıştır. Kalibrasyon için kullanılan açılarının gösterimi Şekil 5'te yapılmaktadır.

3.6.1.2. LIDAR ile ölçüm sistemi tasarımı

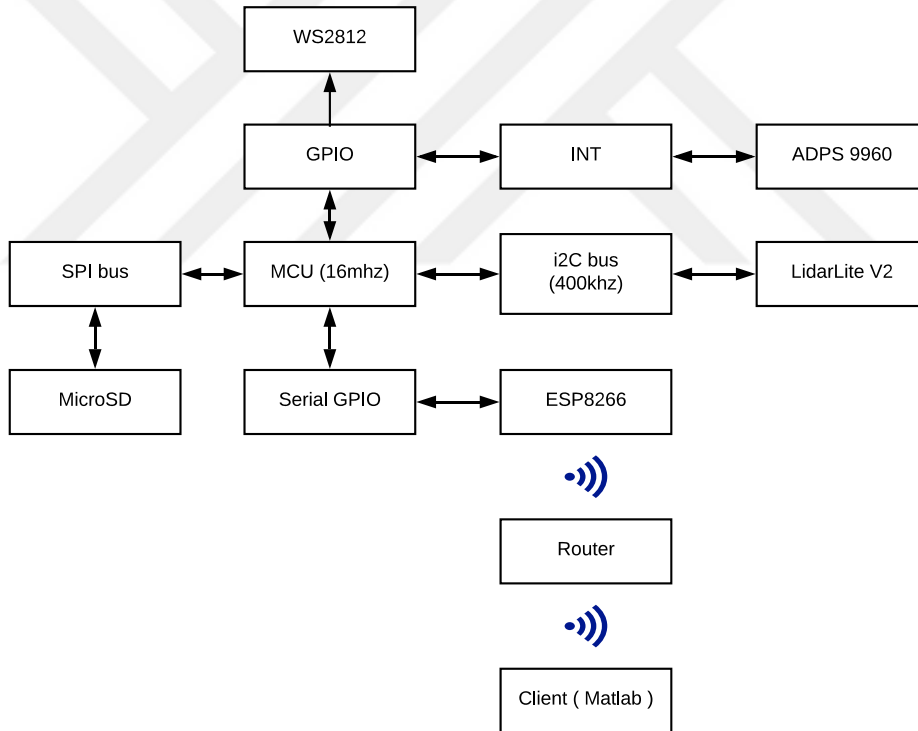
LIDAR (Light Detection and Ranging; Laser Imaging Detection and Ranging) ışık ya da lazer ışınları kullanarak mesafe ölçülmesi olarak nitelendirilebilir. Bu yöntem ile sıçramanın kaydedileceği noktanın yukarısına LIDAR sensörü yerleştirilerek

katılımcının sıçraması sırasında buradan elde edilen veriler işlenmiş ve sıçrama yüksekliği elde edilmiştir.

Bu sistemde LIDAR Lite V2 sensörü MCU'ya I2C bus üzerinden bağlanmıştır. Varsayılan I2C bus hızı 400hz örnekleme hızı için yeterli olmayacağından standart kütüphane ayarları değiştirilerek 400kps'e çıkarılmıştır.

LIDAR Lite v2 tek şeritli laser transmitterine sahip 4x2m radian ışık açıklığına sahiptir. Laser ışını 905nm dalga boyunda ve 1.3W gücündedir. Çözünürlüğü $\pm 1\text{cm}$ olup 5m altında 2.5cm, 5m'den uzak mesafelerde $\pm 10\text{cm}$ hassasiyeti vardır. FastMode'da 500hz örnekleme hızına sahiptir[21, 22].

LIDAR sistemine ait şematik gösterim Şekil 6'da yer almaktadır.

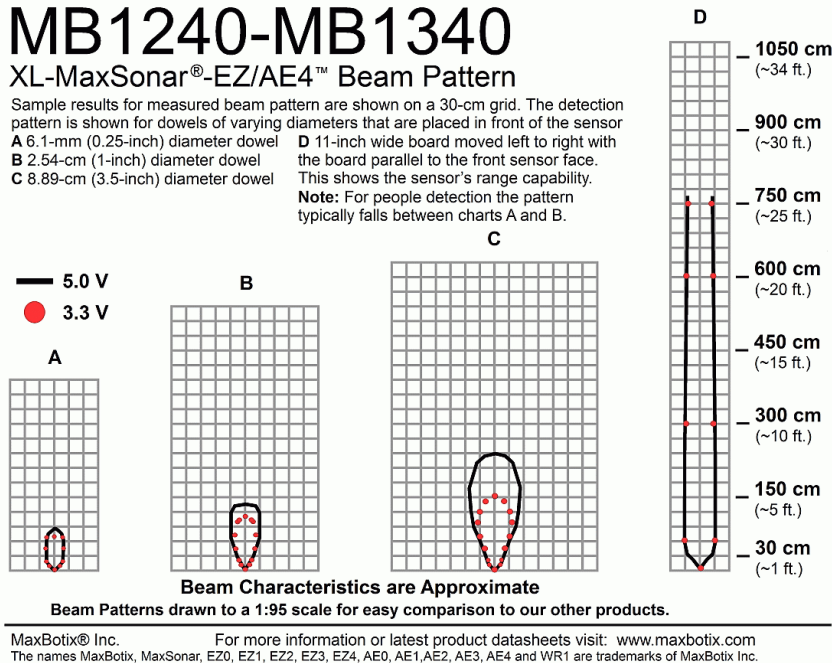


Şekil 6. LIDAR sistemi tasarımı şematik gösterim

3.6.1.3. Ultrasonik dalgalar ile ölçüm sistemi tasarımı

Bu yöntemde sıçramanın kaydedileceği noktanın yukarısına Ultrasonik sensor (US) ve alıcı yerleştirilerek katılımcının sıçraması sırasında bunlardan elde edilen veriler işlenmiş ve sıçrama yüksekliği elde edilmiştir.

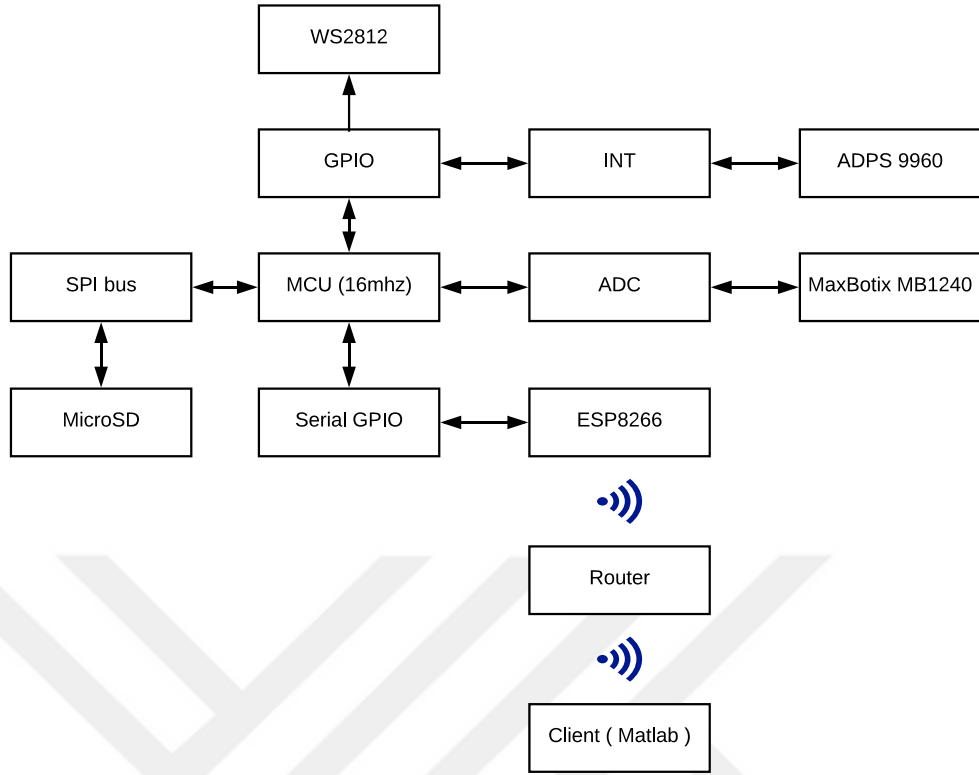
US ile ölçüm için tasarlanan sistemde Maxbotix XL-MaxSonar-EZ4 Sonar Range Finder MB1240 sensörü kullanılmıştır. Bu sensor ile yüksek hızla veri yakalanması mümkün olabilmektedir. Sensör okumaları 10hz'e kadar çıkabilmektedir. Sensör'e ait dalga dağılımı şeması Şekil 7'de gösterilmiştir[23].



Şekil 7. Maxbotix Sonar Sensör dalga dağılımı

Bu sensör 20cm ile 765cm arasındaki mesafeler 1cm> hassasiyet ile ölçülebilmektedir.

Bu sensör ile tasarlanan sisteme ait şematik gösterim Şekil 8'de yer almaktadır.



Şekil 8. US Sensör Sistem Tasarımı Şematik Gösterimi

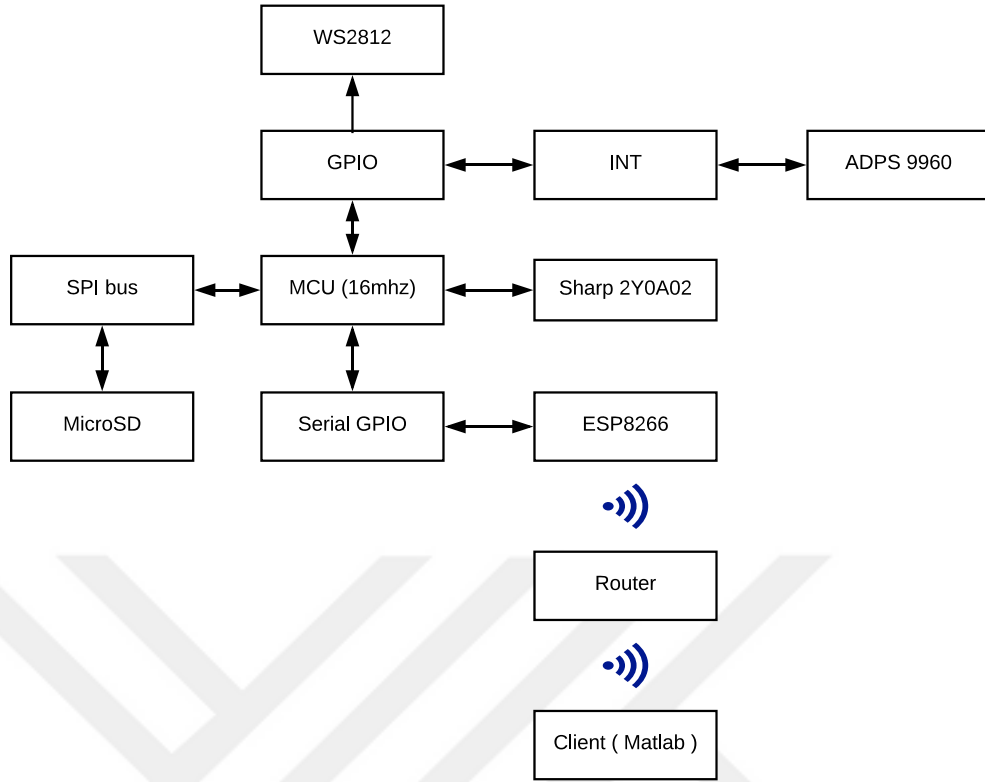
Kızılötesi (Infrared , IR) ışınları ile ölçüm sistemi tasarımı

Bu yöntemde sıçramanın kaydedileceği noktanın yukarısına IR sensor ve alıcı yerleştirilerek katılımcının sıçraması sırasında bunlardan elde edilen veriler işlenmiş ve sıçrama yüksekliği elde edilmiştir.

IR ışınları ile ölçüm yapan sistemin tasarımında Sharp 2Y0A02 sensörleri kullanılmıştır[24].

Bu sensör ile 20 ila 150cm aralığında ölçüm yapabilmektedir. 10bit Analog Digital Converter (ADC) ile ölçüm yapıldığında 2.4v'luk bir aralık 135cm olarak örneklenebilmektedir. Bu aralık 10bit ADC (0-5V) ile örneklendiğinde ~0.25cm teorik bir çözünürlük sunmaktadır.

IR sensör sistemine ait şematik gösterim Şekil 9'da yer almaktadır.



Şekil 9. IR Sensör Sistemi tasarımı Şematik Gösterim

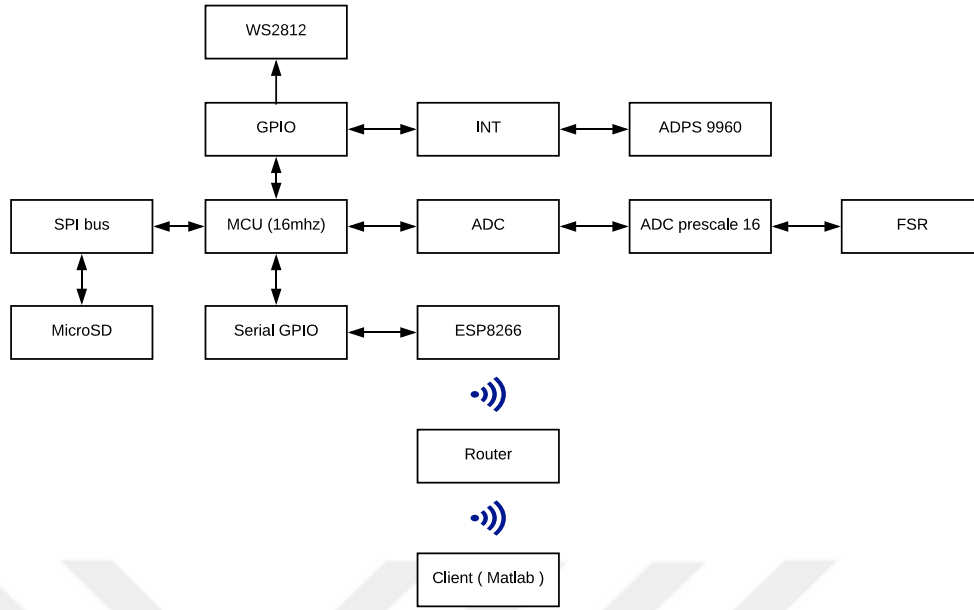
3.6.1.4. Force Sensing Resistor (FSR) sensör ile ölçüm sistemi tasarımı

Bu yöntemde katılımcının ayakkabısının altına bir FSR yerleştirilerek katılımcının sıçraması sırasında elde edilen veriler işlenmiş ve sıçrama yüksekliği elde edilmiştir.

FSR sensör ile ölçüm sisteminde Interlink Electronics 1.5" Square 20N sensör kullanılmıştır[25]. Bu sensör Mikroişlemci (Micro Contoller Unit, MCU) üzerinde bulunan 10bit ADC ile örneklenmiştir. Bu ADC ile örnekleme hızı yeterli olmadığı içinden varsayılan erişim kütüphanesi yerine ADC değişkenlerine direkt olarak erişim sağlanmış ve ADC (ADPS0 ADPS1) prescaler değerleri 16 olarak ayarlanarak sabit aralıkta 1khz örnekleme yapılabilmektedir.

Interlink Electronics 1.5" Square 20N FSR 02 ile 20N arasındaki değerleri ölçmek için tasarlanmıştır. Bu durumda ayağın altına yerleştirilen sensör maksimum değerleri okuyacaktır. Bu nedenle eşik olarak $ADC_{max}/4$ değeri alınmıştır.

FSR sistemine ait şematik gösterim Şekil 10'da yer almaktadır.



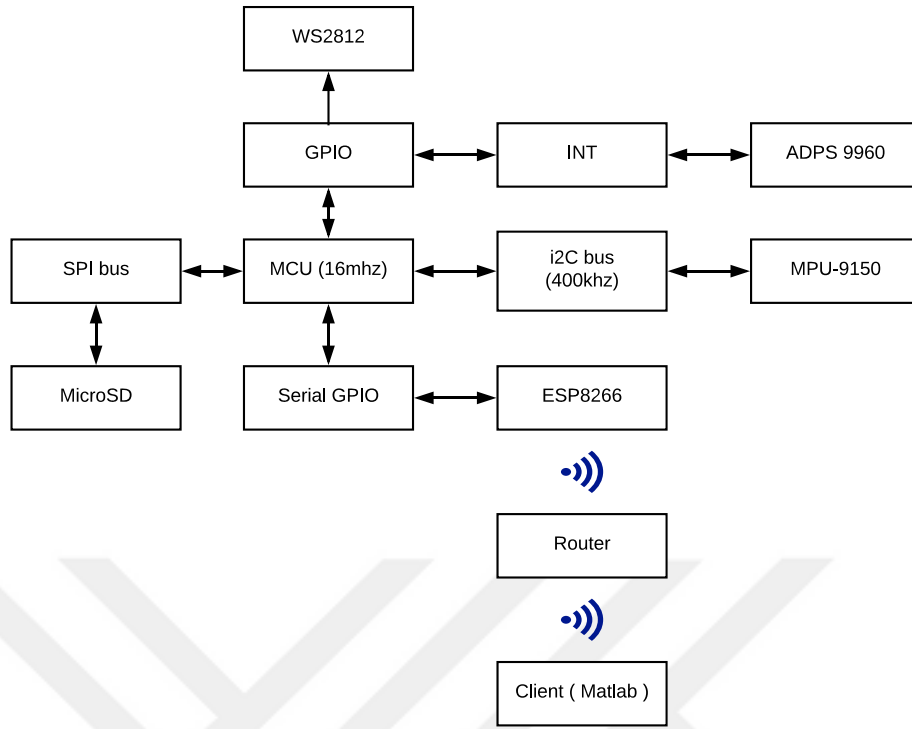
Şekil 10. FSR Sistemi tasarımı Şematik Gösterim

3.6.1.5. Inersiyal sensörler ile ölçüm sistemi tasarımı

Bu yöntemde katılımcının referans noktası üzerine IMU sensörü yerleştirilerek katılımcının sıçraması sırasında elde edilen veriler işlenmiş ve sıçrama yüksekliği elde edilmiştir.

Inertial sensörler ile ölçüm sisteminde Invensens MPU-9150 sensörü kullanılmıştır. Bu sensör üzerinde giroskop, ivmeölçer ve manyetik alan ölçer yer almaktadır.

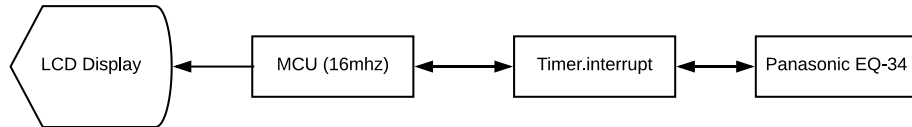
Bu sistemde kullanılan giroskop ± 250 , ± 500 , ± 1000 and ± 2000 derece saniyede (degree per second, dps) aralığında, ivmeölçer ± 2 , ± 4 , ± 8 and ± 16 g aralığında ve magnetometre $\pm 1200 \mu T$. hassasiyetindedir.



Şekil 11. IMU Sistemi tasarımı Şematik Gösterim

3.6.1.6. Fotoelektrik sensörler ile ölçüm sistemi tasarımı

Bu yöntemde sıçramanın yapılacağı platformun yanına fotoelektrik sensörler yerleştirilerek katılımcının sıçraması sırasında ToF ölçülmüş ve sıçrama yüksekliği hesaplanmıştır. Hesaplamalarda yerçekimi ivmesi $g=9,80665\text{m/s}^2$ olarak alınmıştır. Fotoelektrik sensörlerin (PES) platform ile oluşan yükseklik farkı 12mm, tüm ölçümlerin üzerine eklenerek standardizasyon sağlanmıştır.



Şekil 12. PES Sistemi tasarımı Şematik Gösterim

3.6.2. Boy ve Ağırlık Ölçümleri

Katılımcıların boy uzunlukları Stadiometre (G-Tech International, Kore) ile ölçülmüştür. Vücut ağırlıkları ise biyoelektrik empans ölçümleri yapılırken kayda alınmıştır.

3.6.3. Vücut Kompozisyonunun belirlenmesi

Katılımcıların vücut kompozisyonları laboratuvar tipi biyoelektrik empedans ölçüm cihazı (Inbody 720 Body Composition Analyzer, Kore) kullanılarak belirlenmiştir.

3.6.4. Verilerin İşlenmesi

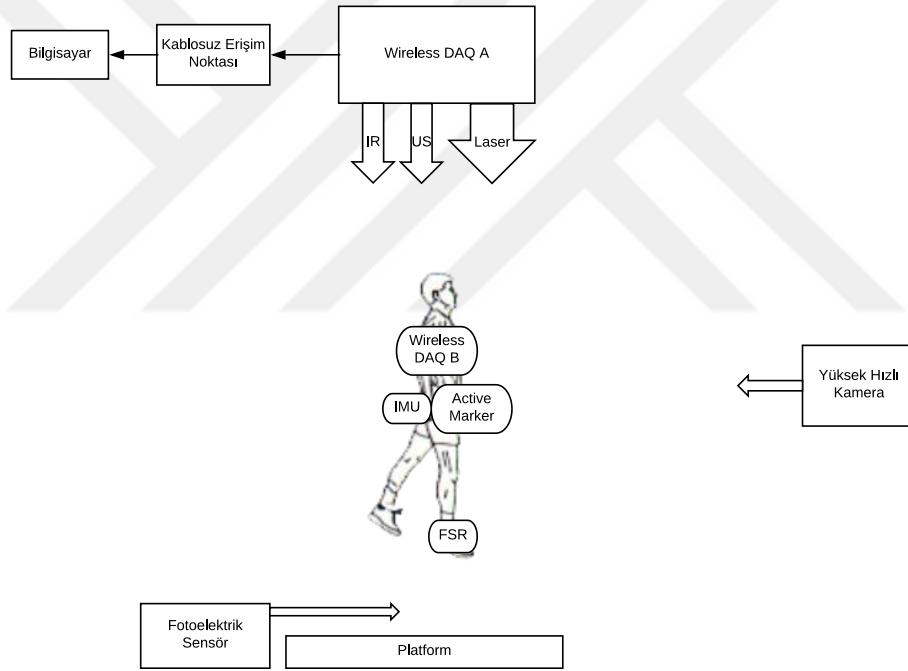
Katılımcıların laboratuvara gelmesinin ardından kendilerine araştırmanın uygulaması hakkında kısa bilgilendirme yapılarak bilgilendirilmiş gönüllü olur formunu (BGOF) okuyarak imzalamaları istenmiştir. Ardından katılımcılar yalınayak, topukları bitişik olacak şekilde stadiometre ile ölçülmüştür. Bu ölçümün ardından katılımcılardan vücutlarına temas eden metalleri çıkarmaları istenmiş ve yine yalınayak olacak şekilde biyoelektrik empedans cihazı üzerine çıkarak ekranında görülen talimatlara uymaları istenmiştir.

Bu aşamadan sonra katılımcı sıçramanın yapılacağı ortama alınarak katılımcının içinde sensör sistemlerinin kayıt ünitelerinin de olduğu bir yelege giymesi istenmiştir. Sonrasında katılımcı üzerine sensörler yerleştirilmiştir. Katılımcıların sıçrama sırasında kendi ayakkabıları ile sıçrama yapması istenmiş ve FSR sensörü koruyucu bir neopren kısım ve velcro bant ile katılımcının ayakkabısı altına yerleştirilmiştir. Ardından katılımcının vücut kütle merkezi (COM, Center of Mass) olarak Spina Iliaca Posterior Superiorların orta noktasına IMU yerleştirilmiştir. Yine bu noktanın kamera kaydında takip edilebilmesi için IMU üzerine aktif işaretçi sabitlenmiştir. Burada sabitleme için 16 X 25cm boyutlarında Tegaderm kullanılmıştır. Daha sonra katılımcıya sıçrama sırasında dikkat etmesi gereken konular anlatılarak yukarıdaki sensörlerin orta noktasına gelecek şekilde yerleşiminin yapılması sağlanmıştır.

Ardından katılımcının serbest olarak CMJ yapması istenmiştir. Bu sıçramanın ardından kamera ile elde edilen yüksek örnekleme hızındaki verinin kaydedilmesi ve katılımcının dinlenmesi için 90s bekleme yapılmış ardından katılımcının tekrar sıçraması

istenmiştir. Katılımcının üç başarılı sıçrama yapmasının ardından işlem sonuçlandırılmıştır.

Kayıt için kullanılan kamera yüksek kayıt hızında sadece 2s'lik veri kaydedebilmektedir. Oluşabilecek zamanlama hatalarının giderilmesi için kamera tampon tetikleme (buffer triggering) kullanılmıştır. Bu şekilde kamera sürekli olarak 2s'lik veriyi RAM üzerinde bulundurmaktadır. Sıçramanın gerçekleşmesinin ardından kayıt komutu verildiğinde bu tampon üzerinde bulunan veri son 2s'lik veriyi kayıt ortamına aktarmaktadır. Bu aktarım sırasında ham verinin veri kayıt formatına çevrilmesi ve kayıt ortamına aktarılmasını içermekte ve yaklaşık 90s sürmektedir. Veri kayıt sistemine ait şema Şekil 13'de gösterilmiştir.



Şekil 13. Veri kayıt düzenneği şematik tasarımı

3.6.4.1. Video Hareket Analizi Sistemi

Kamera (CAM) yüksek hızda kayıt modundayken yaklaşık 2s veri kaydı yapabilmektedir. Bir sıçramaya ait veri büyüklüğü yaklaşık 450mb boyunda olmaktadır. Bu veri içinde bir sıçramaya ait 2000 görüntü karesi bulunmaktadır. Her katılımcının en

iyi iki sıçramasının alınması sonrasında toplamda 102 sıçramaya ait veriler işlenmiştir. Toplamda 204.000 görüntü oluşturulan algoritma ile işlenmiştir.

Bu görüntüler Matlab[26] yazılımı ile işlenmiştir. Elde edilen görüntüler üzerinden ölçüm yapılabilmesi için kalibrasyon yapılması gerekmektedir. Kalibrasyon için Şekil 14’de kullanılan kalibrasyon patterni kullanılmıştır. Kalibrasyon görüntüsü üzerinde 10x7 checkerboard görüntüsü bulunmaktadır. Kalibrasyon için hareketin gerçekleştiği focus plane üzerine kalibrasyon patterni yerleştirilerek görüntüler alınmıştır. Kalibrasyon sırasında alınan örnek görüntü Şekil 14’de gösterilmiştir.

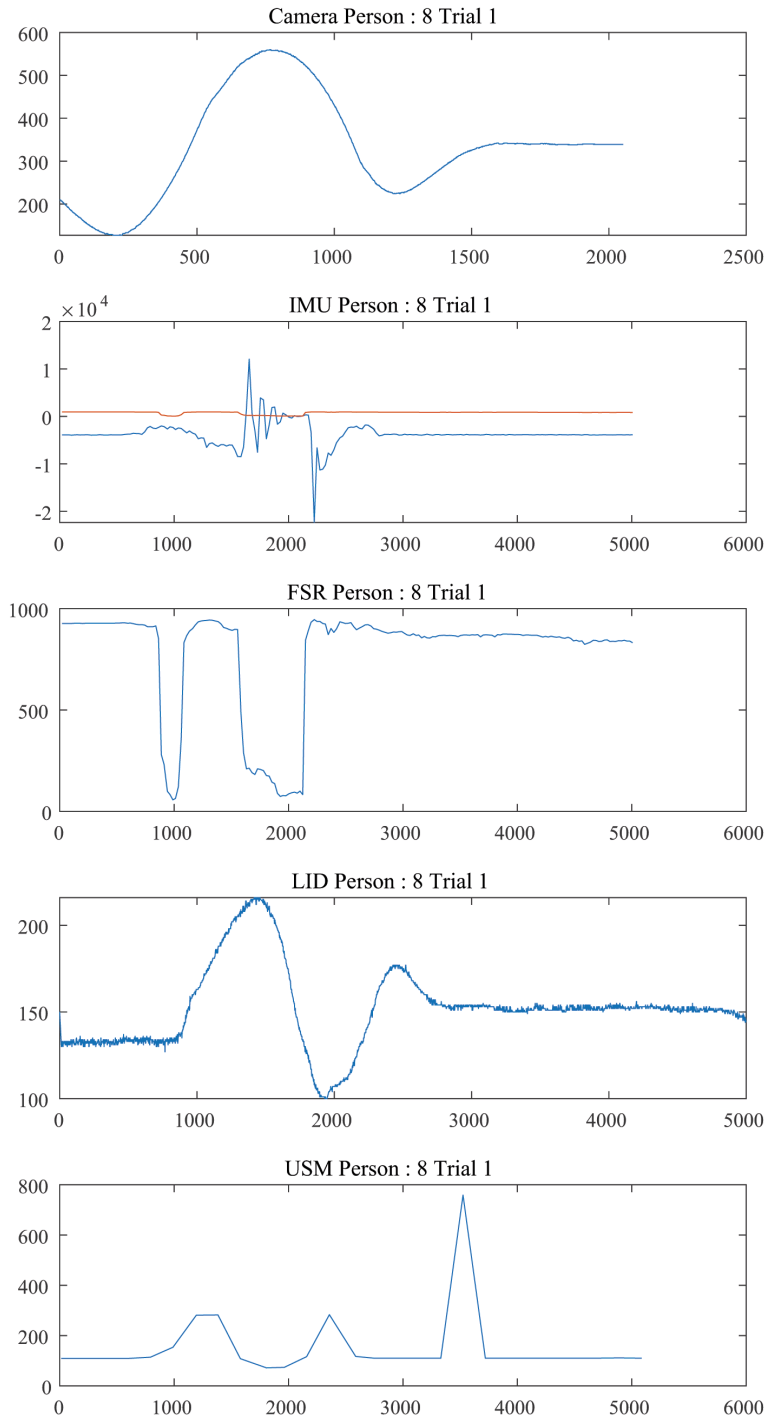


Şekil 14. Kalibrasyon deseni görüntüsü

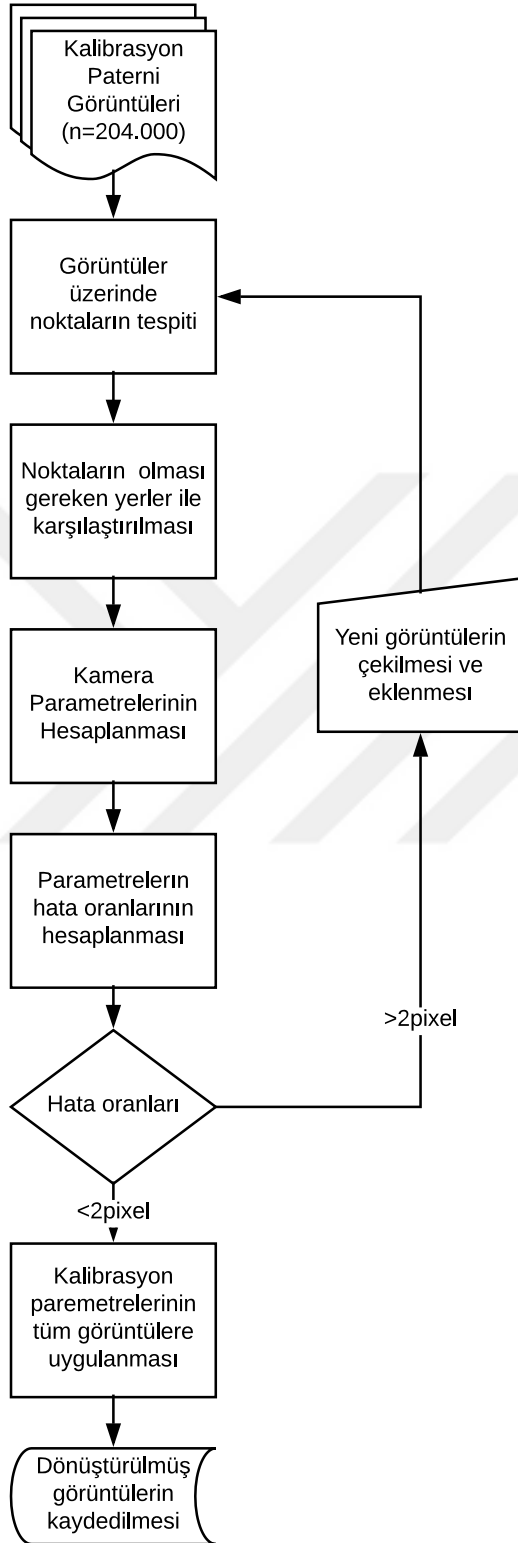
Ölçüm sistemine ait örnek bir görüntü Şekil 15’de yer almaktadır.

Kalibrasyon akış şeması Şekil 16’da gösterilmiştir. Kalibrasyon sırasında kameraya ait intrinsek faktörler belirlenerek tüm görüntüler bu parametrelere göre düzeltilmiştir[27, 28]. Kalibrasyon işlemlerinin ardından, yeniden oluşturulmuş görüntüler alınarak sıçrama sırasındaki başlangıç ve bitiş noktaları tespit edilerek bu noktalar arasındaki mesafe hesaplanmıştır. Bu ölçüm işlemlerine ait akış şeması Şekil 16’da gösterilmiştir.



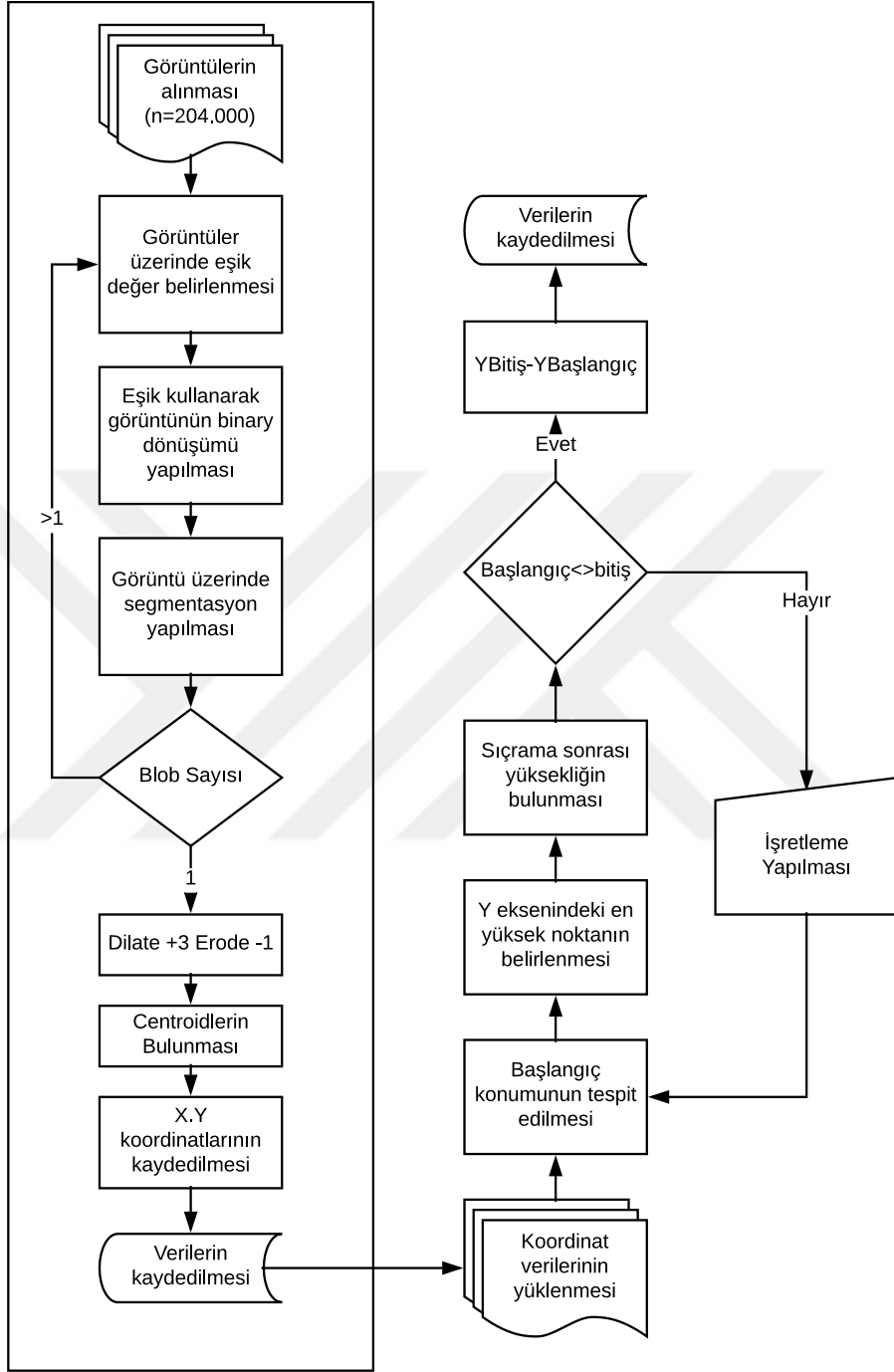


Şekil 15. Veri kayıt sistemi örnek ekran görüntüsü



Şekil 16. Kamera kalibrasyonu akış şeması

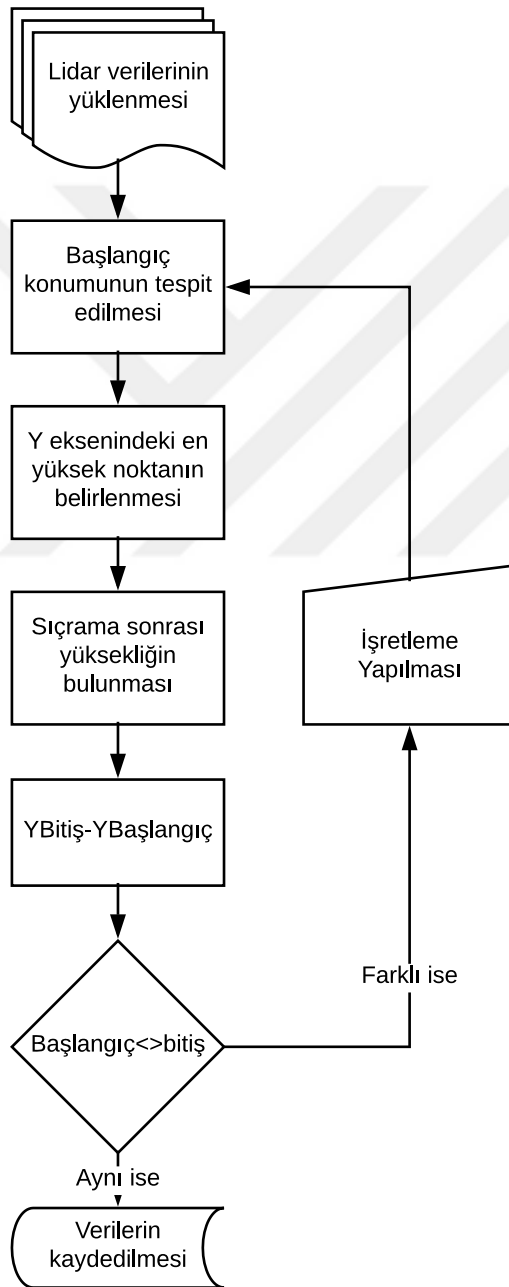
Kamera sisteminde verileri işleme algoritması Şekil 17’de yer almaktadır.



Şekil 17. Kamera verileri işleme akış şeması

3.6.4.2. LIDAR ile ölçüm sistemi

LIDAR (LID) verileri yüklendikten sonra sıçrama öncesinde kalan hareketsiz kısım belirlenerek başlangıç noktası olarak kabul edilmiştir. Ardından ulaşılan maksimum değer bulunmuş ve bu değer ile başlangıç değeri arasındaki fark sıçrama yüksekliği olarak kabul edilmiştir. Bu sistemde verilerin işleme algoritması Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. LIDAR verileri işleme akış şeması

3.6.4.3. US dalgaları ile ölçüm sistemi

Bu sistemden gelen veriler incelendiğinde sağlıklı olarak değerlendirilemeyeceği görülmüştür. Bunun nedeninin hareketli cisimlerin mesafelerinin tespiti sırasında meydana gelen doppler etkisi olabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle bu veriler işleme alınmamıştır.

Doppler etkisi ile bir cisme ait hız ölçülebilir. Bu şekilde tasarlanan bir sistem sıçrama sırasındaki hız verilerinin alınması aşağıdaki formül üzerinden sıçrama yüksekliğinin hesaplanmasını sağlayabilir.

$$h = v^2 / 2g$$

(h: sıçrama yüksekliği, v: çıkış hızı, g:yerçekimi ivmesi)

3.6.4.4. IR ışınları ile ölçüm sistemi

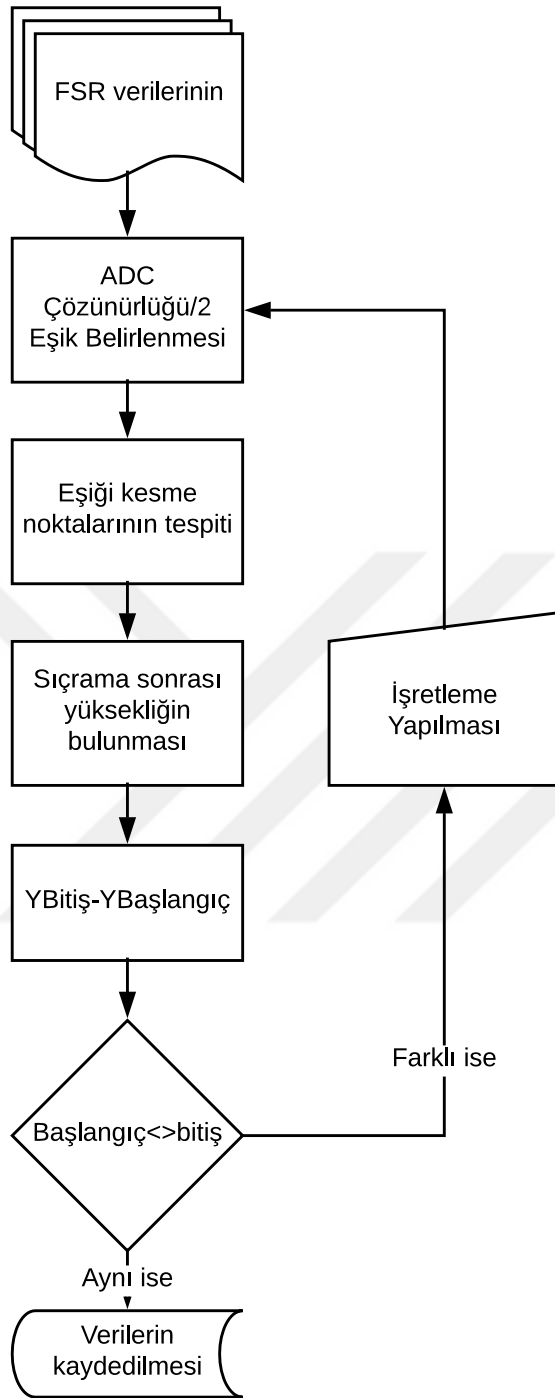
IR sensörlerinden gelen veriler incelendiğinde veriler içinde LIDAR sensöründen ~500hz hızında gönderilen lazer ışınlarının neden olduğu artefaktlar olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu veriler işleme alınmamıştır.

3.6.4.5. FSR sensör ile ölçüm sistemi

FSR verilerinin işlenmesi sırasında herhangi bir filtreleme uygulanmamıştır. Analog dijital dönüştürücü ön ölçekleme değeri (ADC prescaler) değiştirilmiş ve ardından eşik değeri tespit edilmiştir. Bu değerler FSR'nin maksimum değerden başlayarak minimum değere doğru, ölçüm aralığının %25'i olarak alınmıştır. Bu eşiğin değişimleri tespit edilerek zamanları işaretlenmiş ve buradan ToF'a ulaşılmıştır. Sıçrama yüksekliği ToF üzerinden hesaplanmıştır. Hesaplama formülü aşağıda yer almaktadır.

$$h = \frac{g \cdot t^2}{8}$$

FSR sisteminden gelen verilerin işleme algoritması Şekil 19'da yer almaktadır.

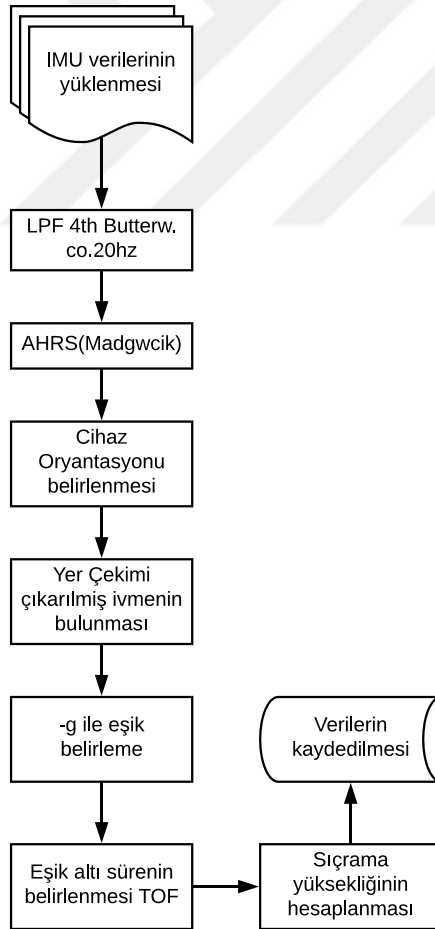


Şekil 19. FSR verileri işleme akış şeması

3.6.4.6. Inertial sensörler ile ölçüm sistemi

IMU ile alınan ölçümlerde yüksek oranda gürültüler olmaktadır. Bu durum verilerin işlenmesini zorlaştıran bir durumdur. Bu nedenle veriler alçak geçiren 4.Derece Butterworth filtresi ile işlenmiştir. Buna ek olarak sensörler ivme ölçmeye hassas olduklarından sabit durumda da kaydedilen bir yerçekimi ivmesi bulunmaktadır. Özellikle hareket sırasında bu ivme farklı eksenlerin verilerine farklı oranlarda etki edebilmektedir. Bu nedenle bu verilerden yerçekimi verisinin çıkarılması gerekmektedir. Bunun için önce Madgwick AHRS algoritması kullanılarak oryantasyon belirlenmiş ardından bu oryantasyon dikkate alınarak yerçekimi verileri çıkarılmıştır.

IMU sensöründen gelen verilerin işleme algoritması Şekil 20’de yer almaktadır.



Şekil 20. IMU verileri işleme akış şeması

3.6.4.7. Fotoelektrik sensörler ile ölçüm sistemi

Fotoelektrik sensörler kesme (interrupt) üzerinden mikroişlemci saatindeki mikrosaniyeler düzeyinde temas ve sonrasında tekrar temas sürelerini kaydetmektedir. Bu şekilde elde edilen süreler ms'ye yuvarlanmış ve bu şekilde hesaplamalara alınmıştır.

3.6.5. Ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması

Ölçüm yöntemleri farklı özelliklere göre değerlendirildiğinde yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları olduğu söylenebilir.

Yöntemlerin farklı özelliklere göre değerlendirmesi Tablo 1'de gösterilmiştir



Tablo 1. Ölçüm Yöntemleri Karşılaştırılması

	PES	FSR	CAM	LID	IMU	ForceP ₁	ForceP ₂	MAT	MEK	Erişme
Ölçüm Noktası - Baş				x						
Ölçüm Noktası - Ayak ucu	x	x				x		x	x	x
Ölçüm Noktası - COM			x		x					
Ölçüm Noktası - Tüm Vücut							x			
Direkt Ölçüm			x						x	
İndirekt Hesaplama	x	x		x	x	x		x		x
Ölçüm Parametresi ToF	x	x			x	x		x		
Ölçüm Parametresi VTo							x			
Ölçüm Parametresi Yerdeğiştirme			x	x					x	x
Digital - Örnekleme Hızı		0.4-32khz	100-1000fps	0.4khz	0.1-32khz	0.05-1khz	0.05-1khz			
Analog	x							x	x	x
Ön hazırlık		x	x		x					
Ambulatuvar ölçüm		x			x					
Veri işleme			x	x	x	x	x			
Maaliyet	150-400\$	100\$	300-3000\$	300\$	150-600\$	14-40k\$	14-40k\$	1500\$	150\$	100\$
Yetkin Personel		x	x	x	x	x	x			
Sahada ölçüm imkanı		x		x	x			x	x	x

ForceP1 = Forceplatform ile ToF üzerinden yapılan hesaplamalar

ForceP2 = Forceplatform ile VTo üzerinden yapılan hesaplamalar

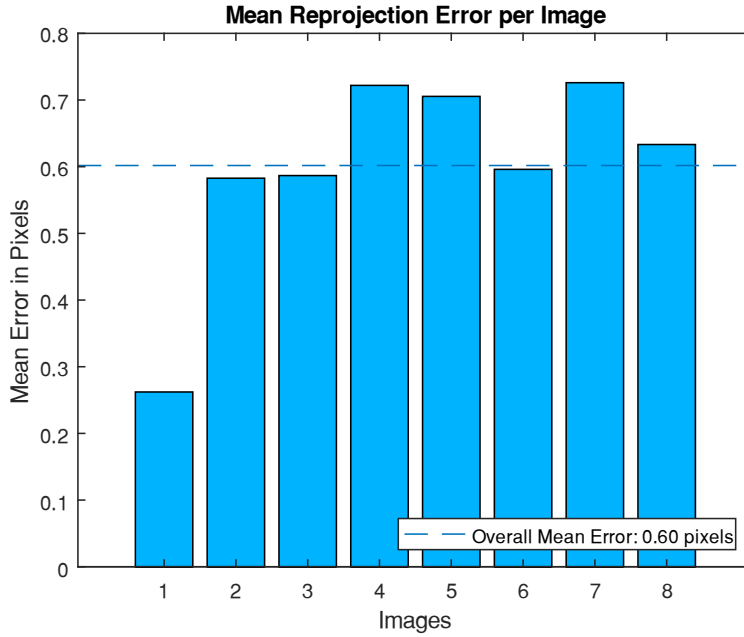
3.7. Araştırma Planı ve Takvimi

Araştırmanın ön hazırlık dönemi 2012-2016 yılları arasında yapılmıştır. Bu süreler aralığında yurt dışından geliştirme için gerekli ekipmanlar temin edilerek farklı yöntemler geliştirilmiştir. Yöntemlerin geliştirilmesi sırasında yapılan patent başvurusu ve gizlilik esasları nedeniyle ölçüm zamanına kadar geçen süre patent ile ilgili çalışmalara ayrılmıştır. Araştırma ölçümleri 2018 yılı aralık ayında yapılmıştır. Araştırma planı EK4. Araştırma Planı ve Takvimi'nde verilmiştir.

3.8. Verilerin Değerlendirilmesi

Katılımcılar toplamda üç kez sıçrama yapmıştır. Değerlendirme için katılımcıların PES ile ölçülen en iyi iki sıçraması değerlendirmeye alınmıştır.

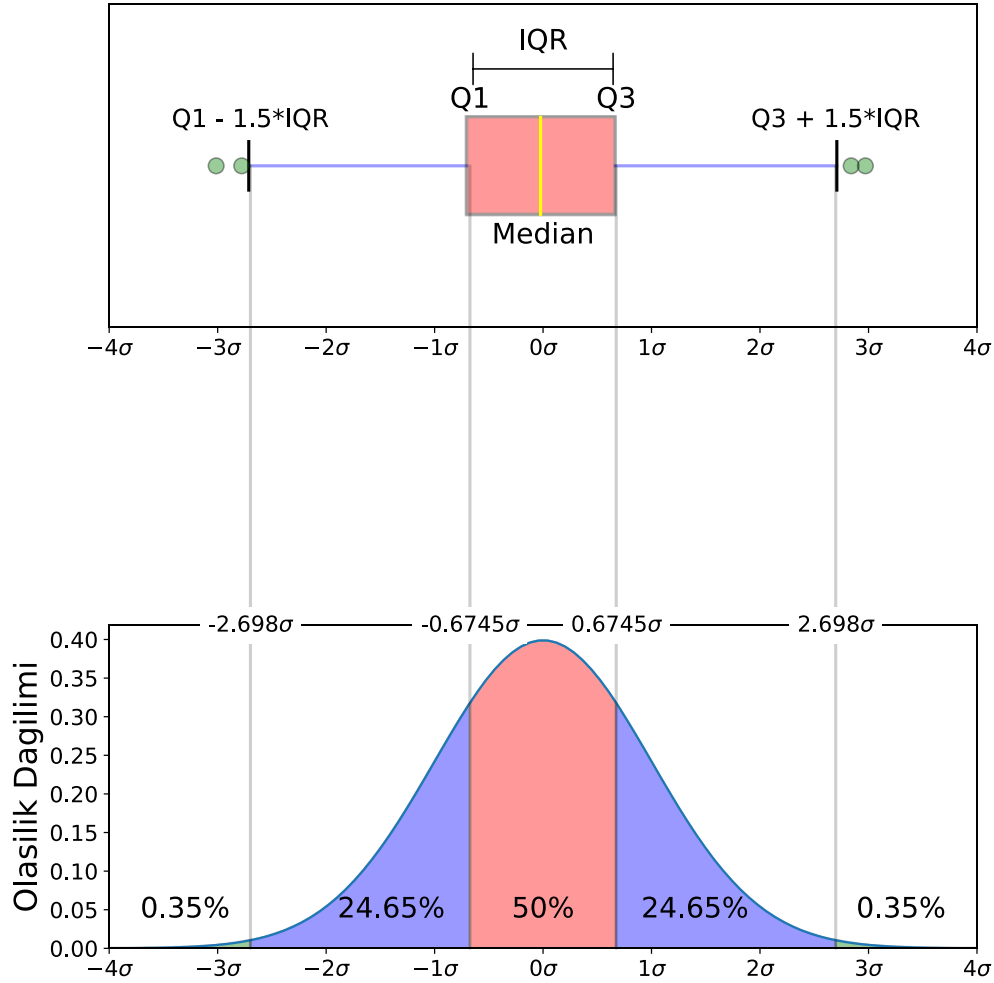
Kamera kalibrasyon işlemleri sırasında oluşabilecek hatalar hesaplanmış ve bu verilere dayanılarak $\pm 1.95\sigma$ ile %95 güven aralığı belirlenebilmiştir. Bu hesaplamalar ile kalibrasyon için kullanılan tüm görüntülerin hata grafikleri ve genel ortalama hataları şekil 21'de gösterilmiştir. Bu verilere dayanılarak kamera ile elde edilen görüntülerden yapılan ölçümlerin ortalamada ± 0.60 piksel hata aralığında olduğu görölmektedir.



şekil 21. Kalibrasyon Ortalama Hataları Dağılımı

Farklı yöntemler birbirleriyle tekrarlayan ölçümlerde ANOVA ile karşılaştırılmıştır.

Yaş, boy, ağırlık, Vücut kütle indeksi (Body Mass Index, BMI), vücut yağ yüzdesi (Body Fat Percentage, BFP) değerine ait dağılım, ortalama ve medyan değerleri hesaplanmış bu veriler kutu grafiği olarak gösterilmiştir.



Şekil 22. Kutu grafiği verilerin dağılımı gösterimi

Kutu grafiğinde verilerin gösterimi Şekil 22’de yer almaktadır.

Ölçümlerin referans yöntemler ile uyumunu göstermek için Blant Altman uyum grafiği çizilmiş, Değişim Katsayısı (Coefficient of variance, CV) aralarındaki ilişkiyi

göstermek için linear regresyon modellemesi yapılmış ve regresyon formülü gösterilmiştir.

Ölçümlerin referans ölçümler ile korelasyonları iki yönlü, rastgele, tek ölçümde, mutlak uyumu ICC (2,1) ile hesaplanmıştır. Korelasyonlar 0.75-1 aralığında yüksek, 0.4-0.74 aralığında orta, 0-0.39 aralığında ise düşük olarak değerlendirilmiştir[29].

Ölçümlerin hatalarının değerlendirilmesi için SEM (Standart Error of Measurement, Ölçümün Standart Hatası) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalara ilişkin formüller aşağıda verilmiştir[30].

$$SEM = SD\sqrt{1 - ICC}$$

Ölçümün Standart Hatası

3.9. Araştırmanın Sınırlılıkları

Araştırma ölçümleri sırasında geçerliliği ve güvenilirliğinin yüksek olduğu kabul edilen ForcePlatformun ölçümler için kullanılması planlanmış ancak Dokuz Eylül Üniversitesi Fizik Tedavi Yüksekokulu Biyomekanik laboratuvarına yer alan ölçüm sistemi arızalı olduğundan kullanılamamıştır.

3.10. Etik Kurul Onayı

Bu araştırma Dokuz Eylül Üniversitesi Girişimsel olmayan araştırmalar etik kurulu 2017/22-30 karar nolu etik kurul onayı sonrasında yapılmıştır. Etik kurul onay formu EK2. Etik Kurul onayı'nda gösterilmektedir.

Katılımcılara bilgilendirilmiş gönüllü onam formu verilmiş ve doldurmaları istenmiştir. Örnek form EK1 Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu'nda yer almaktadır.

4. **Bulgular**

Katılımcıların antropometrik özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2 Katılımcıların tanımlayıcı verileri

	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	SD
Yaş (yıl)	51	19	38	23.61	4.62
Boy (cm)	51	165	197	178.46	7.16
Ağırlık (kg)	51	53.6	129	78.55	12.39
BMI	51	18.8	42.4	24.86	4.29
BPF (%)	51	5.6	42.3	18.43	7.34

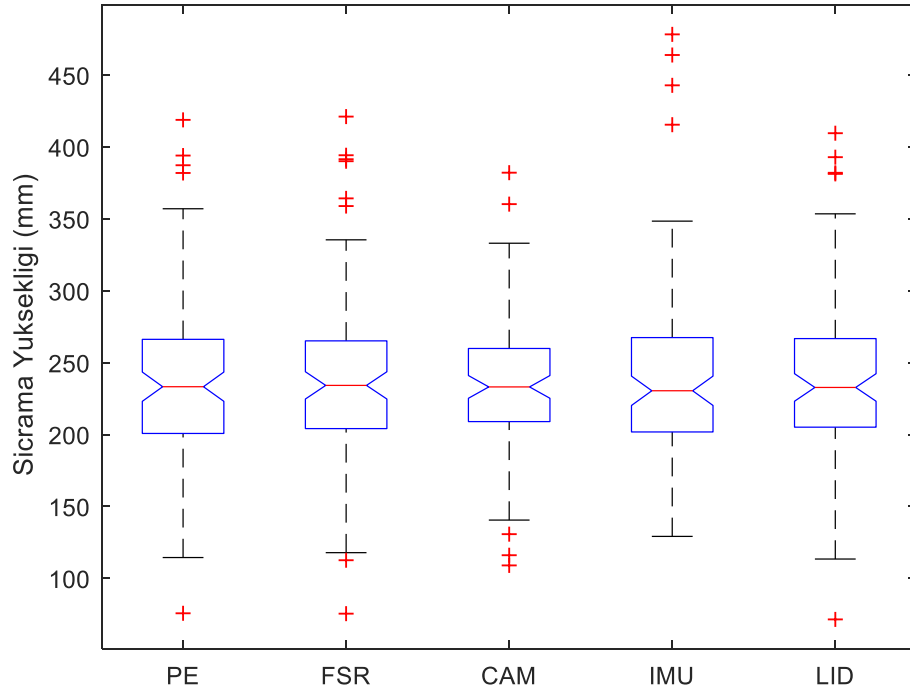
FSR, CAM, IMU ve LID ölçümleri referans ölçüm olarak kabul edilen PES ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada gruplar arasında fark bulunmamıştır, ($F(3,303) = 2.338$, $p = .074$). ANOVA testi için güç 0,685 olarak hesaplanmıştır.

Farklı yöntemler ile ölçülen sıçrama yüksekliklerine ait tanımlayıcı veriler Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3 Yöntemlerin tanımlayıcı verileri

	Min(mm)	Max(mm)	Ortalama(mm)	SE(mm)
PES	75.68	418.81	237.00	5.84
FSR	75.42	421.09	237.96	5.87
CAM	108.98	382.08	233.93	4.55
IMU	129.15	504.65	242.84	6.86
LID	71.43	409.56	237.06	5.78

Bu yöntemlerden elde edilen veriler detaylı olarak Şekil 23’de kutu grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 23. Sıçrama yükseklikleri kutu grafiği gösterimi

Yöntemlerin referans yöntem ile aralarındaki ilişki ICC (2,1) ile değerlendirilmiştir. Bu ilişkiye ait regresyon formülü ve r^2 değerleri ve regresyona ait P değeri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4 ICC ve Regresyon tablosu

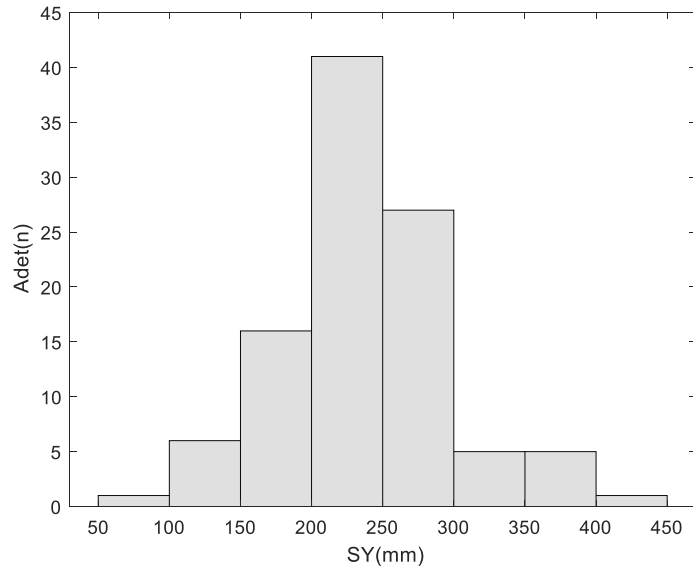
	ICC (2.1)	Regresyon Formülü	r^2	p
FSR	0.9992188	$0.99315x+0.667$	0.9971	<0.0001
CAM	0.9731	$1.2555x-56.7$	0.9573	<0.0001
IMU	0.9045	$0.76089x+54.4$	0.6858	<0.0001
LID	0.9978	$1.0079x-1.92$	0.9949	<0.0001

Farklı yöntemler ile yapılan ölçümlerin standart hatası (SEM), değişim katsayısı (CV), alt ve üst uyum sınırları (Limit of Agreement, LoA) değerleri Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 5 Ölçümün standart hatası ve değişim katsayısı tablosu

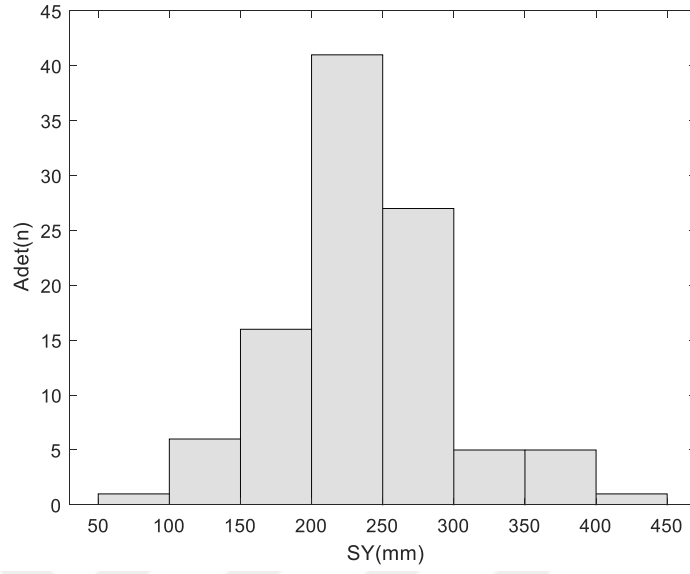
	SEM(mm)	CV	LoA-Alt(mm)	LoA-Üst(mm)
FSR	5.38	1.336612	7.2	5.3
CAM	28.2642	7.182422	30	36
IMU	62.0868	15.27137	74	68
LID	6.8695	1.785119	8.2	8.4

Referans yöntem olarak kabul edilen PES ile yapılan ölçümlerin histogramı
Şekil 24'de gösterilmiştir.



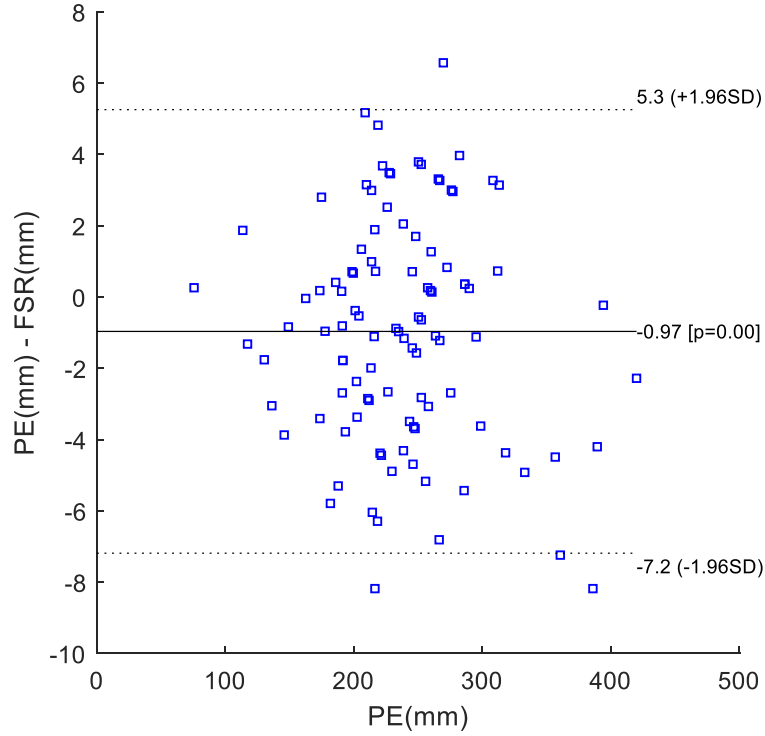
Şekil 24. PES ölçümleri histogramı

FSR ile yapılan ölçümlerin histogramı Şekil 25’de gösterilmiştir.



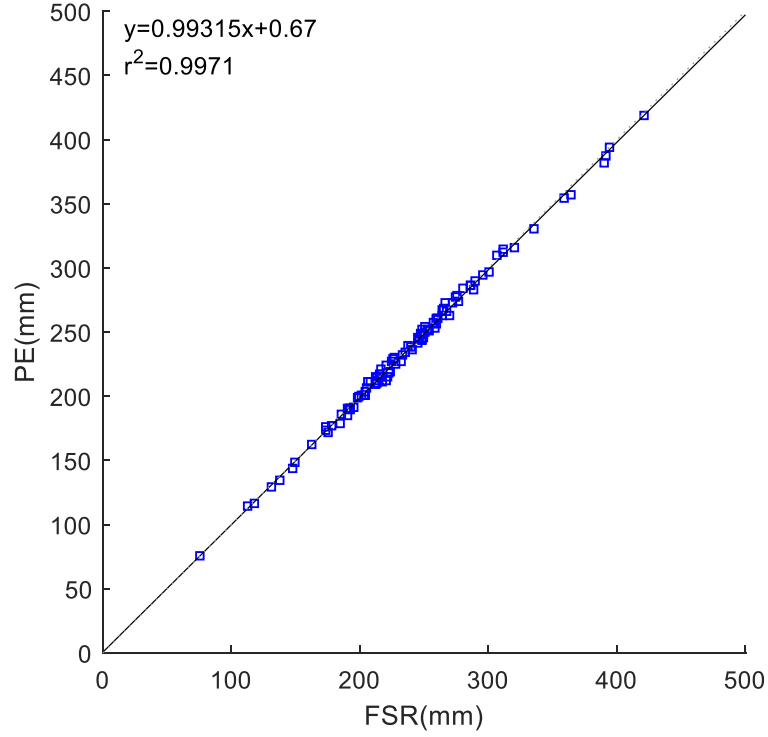
Şekil 25. FSR ölçümleri histogramı

FSR ile PES arasındaki uyum grafiği Şekil 26’da gösterilmiştir.



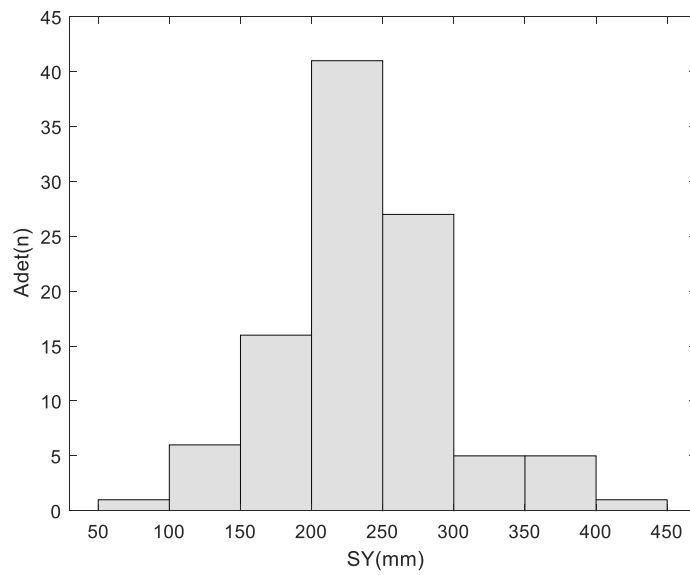
Şekil 26. PES-FSR Blant Altman Uzlaşım Grafiği

FSR ile PES arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği ve regresyon formülü Şekil 27’de gösterilmiştir.



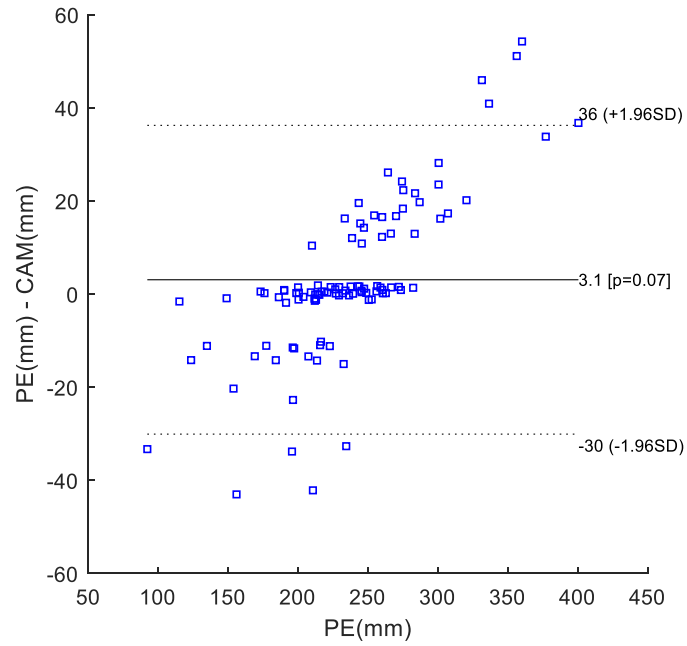
Şekil 27. PES-FSR grafiği ve regresyon formülü

CAM ile yapılan ölçümlerin histogramı Şekil 28’de gösterilmiştir.



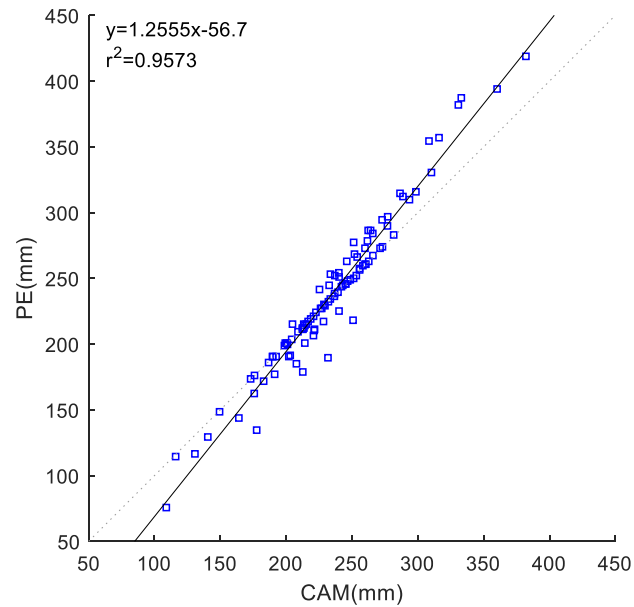
Şekil 28. CAM ölçümleri histogramı

CAM ile PES arasındaki uyum grafiği Şekil 29’da gösterilmiştir.



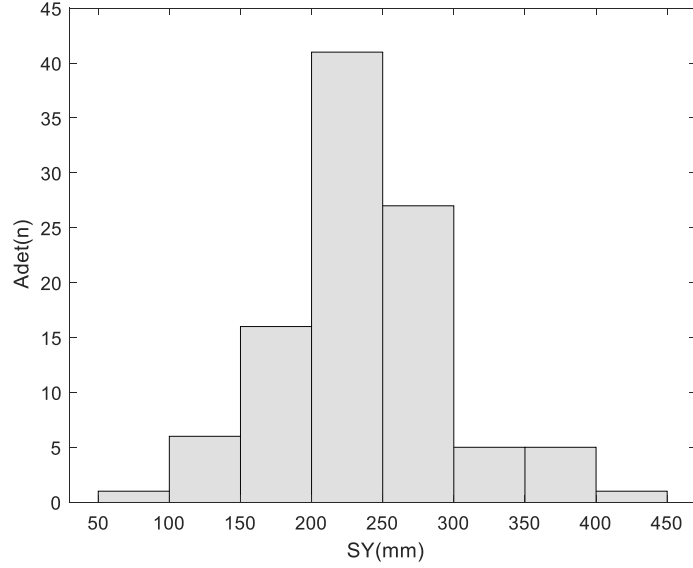
Şekil 29. PES-CAM Blant Altman Uzlaşım Grafiği

CAM ile PES arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği ve regresyon formülü Şekil 30’da gösterilmiştir.



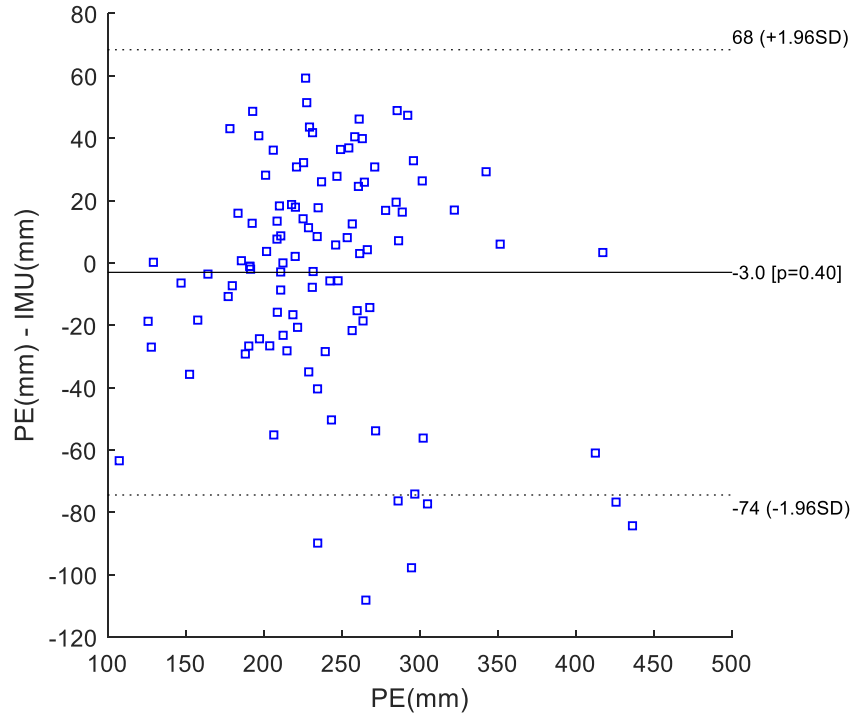
Şekil 30. PES-CAM grafiği ve regresyon formülü

IMU ile yapılan ölçümlerin histogramı Şekil 31’de gösterilmiştir.



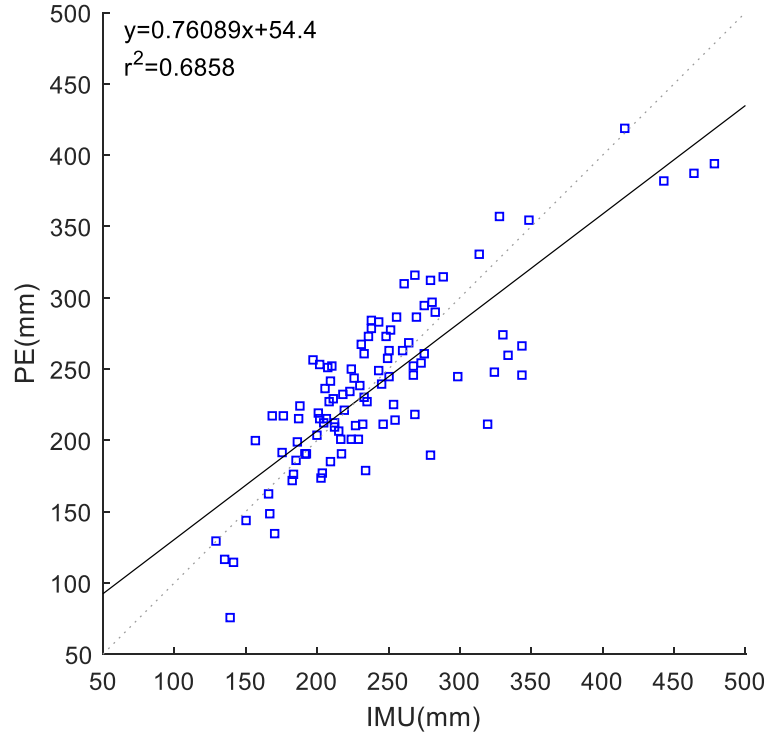
Şekil 31. IMU ölçümleri histogramı

IMU ile PES arasındaki uyum grafiği Şekil 32’de gösterilmiştir.



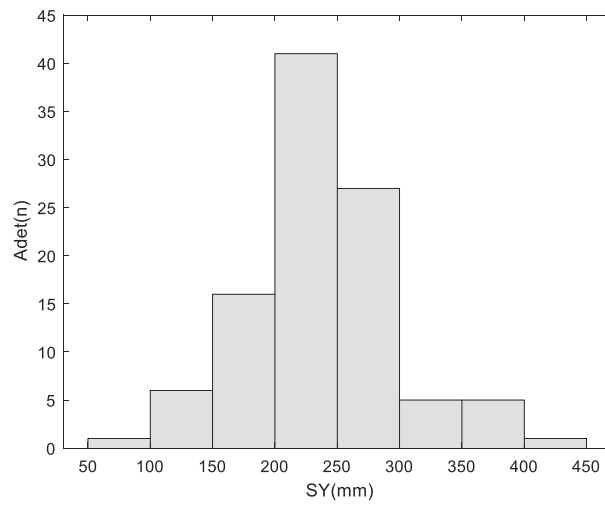
Şekil 32. PES-IMU Blant Altman Uzlaşım Grafiği

IMU ile PES arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği ve regresyon formülü Şekil 33’de gösterilmiştir.



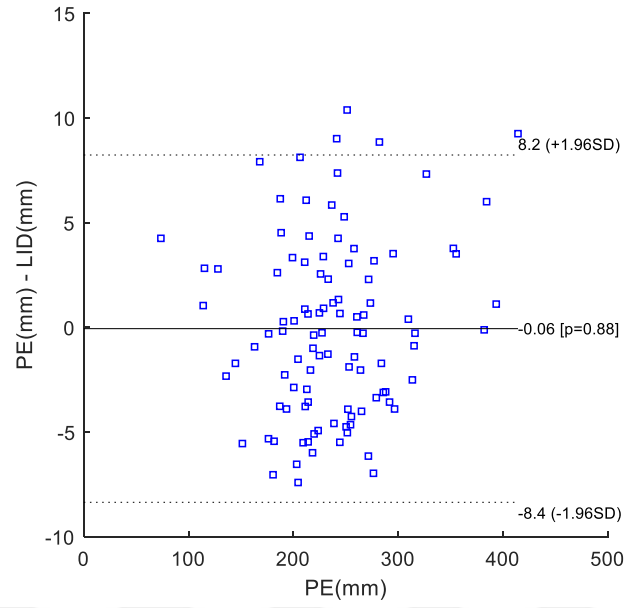
Şekil 33. PES-IMU grafiği ve regresyon formülü

LID ile yapılan ölçümlerin histogramı Şekil 34’de gösterilmiştir.



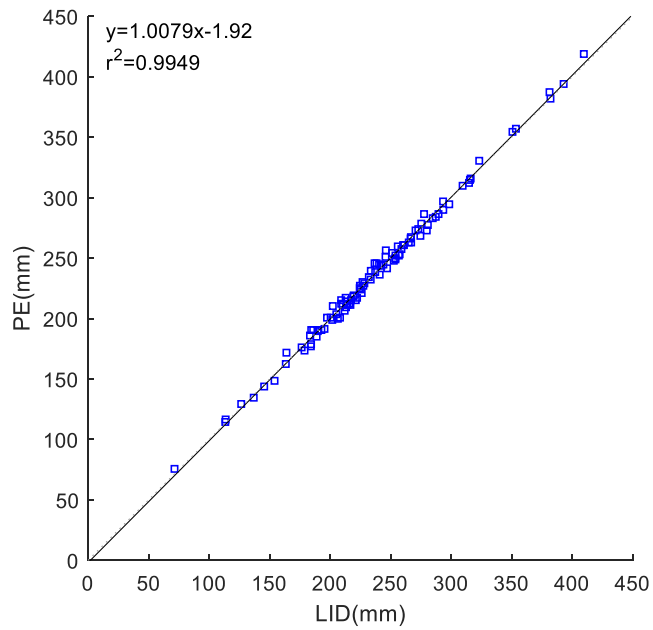
Şekil 34. LID ölçümleri histogramı

LID ile PES arasındaki uyum grafiği Şekil 35’de gösterilmiştir.



Şekil 35. PES-LID Blant Altman Uzlaşım Grafiği

LID ile PES arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği ve regresyon formülü Şekil 36’de gösterilmiştir.



Şekil 36. PES-LID grafiği ve regresyon formülü

5. Tartışma

Bu araştırmada FSR, IMU, CAM, LID ile referans yöntem olarak alınan PES kullanılarak sıçramaya ait veriler eşzamanlı olarak alınmıştır. Bu veriler karşılaştırılmış, ölçümlere ait SEM ve CV değerleri hesaplanmıştır. Bu karşılaştırma sonunda farklı yöntemler ile elde edilen sıçrama yükseklikleri arasında anlamlı bir farka rastlanmamıştır.

Ancak, ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması için bu tek başına yeterli değildir. Ölçmenin standart hatası açısından karşılaştırıldığında referans yöntem olan PES'e kıyasla en düşük değere ($SEM=5.38$) sahip olan yöntem FSR ile yapılan ölçümlerdir. Yine, ölçümler arasında en düşük değişim katsayısına sahip yöntem FSR olarak görülmektedir. Bunun diğer bir nedeninin FSR ile yapılan ölçümlerinin referans yöntemde olduğu gibi ToF üzerinden hesaplama yapmış ve ölçüm noktası olarak ayağın yer ile temasının kesildiği noktayı alması olduğu düşünülmektedir. Bu şekilde her iki yöntemde aynı hata faktörlerinden etkilendiğinden sonuçların yakınlığı bu şekilde yorumlanabilir.

SEM değerleri açısından referans yöntemine yakın ($SEM=6.8695$) diğer bir yöntem ise LID'dır. Bu ölçümler ölçüm noktası olarak başın alınması sıçrama sırasında diz açısının azalmasına karşı hassas olmaması ancak üst gövdenin açı değişimine hassas olması açısından farklı sonuçların beklenebileceği bir yöntemdir. Ancak katılımcıların büyük çoğunluğunun Spor Bilimleri fakültesi öğrenci olması, yapılan test ile ilgili bilgi sahibi olmaları ve sıçrama öncesindeki bilgilendirme nedeniyle bu hataların daha az ortaya çıkmasını sağlamış olduğu düşünülmektedir. Diğer bir faktör ise LID sisteminin yüksek hızda örnekleme yapması ve bu nedenle veri işleme hatalarına karşı daha güvenilir olduğu düşünülmektedir. Yine bu sistemde katılımcıların en iyi iki sıçramasının alınması katılımcının en yüksek performansı doğru sıçrama tekniği ile göstermesi ve buna bağlı olarak eklem açılarının değişiminden kaynaklanan hataların az olması şeklinde açıklanabilir.

CAM ve IMU ile yapılan ölçümlerdeki SEM değerleri FSR ve LID ile yapılanlara göre yüksek olduğu görülmektedir. IMU ve kamera için kullanılan aktif işaretleyici aynı noktaya yerleştirilmiştir. Bu durum yerleştirilen noktadan kaynaklanabilecek hatalarının

yüksek olması ile açıklanabilir. Diğer bir olası faktörde IMU yerleştirilirken üzerine aktif işaretleyicinin eklenmesi toplam ağırlığın artarak inersiyal etkinin artması nedeniyle sonuçlardaki hatayı arttırmış olduğu düşünülmektedir. Aynı durumun CAM üzerindeki etkisi işaretleyicinin düşey düzlemdeki açısının değişmesine rağmen odaklama düzlemi üzerindeki izdüşümünün göreceli daha az değişmesi CAM'deki SEM'in IMU'ya göre daha düşük olmasını ile açıklanabilmektedir.

Wang ve arkadaşlarının çalışmasında IMU ile yapılan ölçümler için yapılan ölçümler için ortalama fark değerleri 20-22mm aralığında görünmektedir. Bizim çalışmamızda ise ortalama fark değeri yaklaşık 5mm olarak görülmesine rağmen SEM 62.08mm olarak görünmektedir. Bu nedenle araştırmanın SEM ve CV değerini hesaplamamış olması nedeniyle sonuçların gerçekçi bir değerlendirmesi yapılamamaktadır. Wang ve arkadaşları araştırmada referans yöntem olarak hareket yakalama yöntemini kullanmışlardır. Ayrıca bu araştırmada IMU ayakkabı içine ve üzerine yerleştirilmiştir. IMU verilerini işleme algoritmalarına bakıldığında bir filtrelemeden bahsedilmemiştir. Araştırmalar arasındaki farklar nedeniyle araştırma sonuçları karşılaştırılamamıştır[29].

Nielsen ve arkadaşları araştırmalarında IMU ile sıçrama yüksekliğini tahmin etmeye çalışmış ve bunun için üç farklı yöntem kullanmışlardır. Bu yöntemler ivmenin çift integrali ile yer değiştirmenin hesaplanması, ToF bulunması ve Vto hesaplanması üzerinden sıçrama yüksekliklerini tahmin etmeye çalışmışlardır. IMU ile yapılan ölçümler referans ölçümlerden yüksek bulunmuştur. Bizim çalışmamızda da IMU ölçümleri benzer şekilde referans ölçümlerden yüksek bulunmuştur. Detaylı olarak bakıldığında LoA değerleri ToF üzerinden yapılan hesaplamalar için $\pm 92.7\text{mm}$ iken bizim araştırmamızda $-74, +68\text{mm}$ aralığındadır. Her iki araştırmada da IMU'lar 100hz'de örnekleme hızında çalıştırılmıştır. IMU verilerinin işlenmesinde benzer şekilde Low Pass Filter (LPF) uygulanmıştır. Farklı denemeler sonucunda 1.derece filtreleme yapılarak 6.5hz cutoff değeri kullanılmıştır. Bizim araştırmamızda ise filtreleme 4.derece ve 20hz ile yapılmıştır. Nielsen ve arkadaşlarının araştırmasında SEM ve CV değerleri hesaplanmadığı için ölçümün hatası değerlendirilememektedir[31].

Spanger ve arkadaşları araştırmalarında IMU ile ölçümler yapmış ve bu ölçümleri değerlendirmek için referans olarak hareket yakalama yöntemini kullanmışlardır[5]. Bu araştırmada sıçramaları yoğunluklarına göre 3 grupta toplamış ve her grup için değerlendirmeleri ayrıca hesaplamışlardır. Buna göre daha yüksek sıçrama grubunda hata oranının daha fazla olduğu görülmüştür. Benzer sıçrama yüksekliklerindeki gruplara ait değerler karşılaştırıldığında LoA -62.4,15.6 aralığında iken bu araştırmada -74 ile +68mm aralığında bulunmuştur. CV değeri ise bu araştırmada 6.8 bizim araştırmamızda ile 15.27 olarak bulunmuştur. Bu araştırmada filtreleme olarak bizimkine benzer şekilde 4.derece Butterworth filtresi kullanılmış ve cutoff frekansı olarak 10hz alınmıştır. Değerler oldukça benzer olmasın karşın aradaki fark Spanger ve arkadaşlarının referans yöntem olarak kamera yöntemini almaları olabilir. Buna ek olarak referans yöntem örnekleme hızı 200hz olarak belirlenmiştir. Bizim araştırmamızda kameranın örnekleme hızı 1000hz'dir. Ayrıca Spanger ve arkadaşlarının araştırmasında kullanılan IMU ürününe ait teknik özellikler belirtilmemiş ve sıçrama yüksekliği üretici firmanın yazılımı ile yapılmıştır. Bu nedenle üretici firmanın bunu nasıl hesapladığına dair bir bilgi yer almamaktadır[5].

Rantalainen ve arkadaşları araştırmalarında IMU ile ölçümler yapmış ve bunu referans ölçüm olarak sıçrama matını alarak değerlendirmişlerdir. Bu araştırmada IMU 256hz'de örneklenmiştir. Bizim araştırmamızda ise örnekleme hızı 100hz olarak belirlenmiştir. Bu araştırmada bizim araştırmamızıdakine benzer olarak yerçekimi ivmesi çıkarılmış ve 4.derece filtreleme 40hz cutoff frekansı ile uygulanmıştır. Bizim araştırmamızda ise cutoff frekansı 20hz olarak belirlenmiştir. Bu araştırmada ToF ve Vto üzerinden sıçrama yükseklikleri hesaplanmıştır. LoA -22, +89mm iken bizim araştırmamızda bu değer -74 ile +68mm aralığındadır. Bu araştırmada ICC ile yöntemler arasındaki korelasyona bakıldığında 0.57 ile orta derecede bir korelasyon bulunurken bizim araştırmamızda bu değer 0.68 olarak bulunmuştur[32].

Cruvinel ve arkadaşları mobil telefonlar üzerindeki ivmeölçeri kullanarak sıçrama yüksekliğini hesaplayan "My Jump App" yazılımı ile sıçrama matı kullanarak yapılan ölçümleri karşılaştırmıştır. Bu araştırmada katılımcıların (73.2 ± 6.4 yaş) sıçramaları çok yüksek oranda eşdeğer bulunmuştur($r=0.99$). Bu araştırma sırasında

kullanılan ölçüm cihazının vücut üzerinde nerede konumlandırıldığı ve nasıl sabitlendiği belirtilmemiştir.

Casateli ve arkadaşları araştırmalarında içinde ivmeölçer bulunan Myotest cihazı ile sıçramaları değerlendirerek referans yöntem olarak PES kullanmışlardır. Bu araştırmada ivmeölçer verilerinden iki farklı yöntem ile sıçrama yükseklikleri hesaplanmıştır. Bu yöntemlerden ilki ToF üzerinden diğeri ise Vto üzerinden yapılan hesaplamalar üzerinden bulunan sıçrama yükseklikleridir. Araştırmada durarak sıçrama, CMJ ve tekrarlayan sıçramalar yaptırılmıştır. CMJ ile yapılan sıçramaların sonuçlarına bakıldığında ToF ile yapılan ölçümler için ICC=0.96 Vto ile hesaplanan ölçümlerde ise ICC=0.89 olarak bulunmuştur. Bu değerler çalışmamızdakiler ile benzerlik göstermektedir (ICC=0.90). Bu araştırmada varyansın değişkenliği (CV) değeri ise 3.62mm olarak bulunmuştur. Bu değer araştırmamızda bulunan 15.27mm değerine göre daha düşüktür. Bu farklılık ölçümde elde edilen verilerin işlenmesi sırasında kullanılan filtreleme ve ölçüm algoritmalarından kaynaklanıyor olabilir. Araştırmada kullanılan Myotest sistemindeki verilerin işlenmesi ile ilgili bir detay bulunmamaktadır. Buna ek olarak sıçrama sırasında ivmeölçerin yerleşimi bel hizasında vücudun yan tarafına elastik bir kemer üzerine yerleştirilmiştir. Burada kullanılan Myotest ünitesinin ağırlığı 58gr'dır. Bizim araştırmamızda kullanılan IMU 3.8gr üzerine sabitlenen işaretleyici ile 38gr ağırlığındadır. Sıçrama sırasında sporcunun ellerinin ivmeölçer yerleşimine oldukça yakın olması sensör ile etkileşimi olabileceğinden sıçrama ölçümlerinin farklı olmasının nedeni olarak düşünülebilir[14].

MacDonald ve arkadaşlarının çalışmasında ise IMU ile elde edilen veriler işlenerek kinematik verilere dönüştürülmüş ve sıçrama yüksekliği bu şekilde hesaplanmıştır. Sonuçlar kamera ile hareket analizi verileri ile karşılaştırılmıştır. Sıçramalar maksimal ve submaksimal olarak sınıflandırılmış ve karşılaştırmalar bu şekilde yapılmıştır. Maksimal sıçramalar grubunda LOA -61 ve +98mm aralığında submaksimal sıçramalar içinse LOA -30 ve +112mm aralığında yer almıştır. Bu sonuçlar ile karşılaştırıldığında araştırmamızda elde edilen LOA -74 ve +68mm aralığı ile benzer bulunmaktadır.

6. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak bu araştırmada kullanılan yöntemler birbirleri yerine kullanılabilir olarak değerlendirilebilmesine karşın farklı özelliklere göre değerlendirildiğinde yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları olduğu söylenebilir.

Burada düşük ölçüm hatasına sahip FSR ve LID yöntemleri ön plana çıkmaktadır. Özellikle FSR ile geliştirilebilecek ayakkabı tabanına entegre giyilebilir ürünler sadece tekil sıçramaların değil sıçrama komponenti olan karmaşık hareketlerinde değerlendirilmesi için kullanılabilir. Ucuz ve taşınabilir ve sahada kullanılabilecek bu sistem sıçramanın yanı sıra koşular için adım frekanslarının takibi açısından değerlendirilebilir. FSR içeren sistemlerde FSR'lerin ağırlık limitlerinin artması durumunda meydana gelen yüklerin ne kadar bir zaman aralığında meydana geldiği değerlendirilerek yüklenme hızı ve kümülatif yükler belirlenerek antrenman planlama süreçlerinin bir parçası olabilir.

Sportif performansın değerlendirilmesi konusunda LIDAR kullanarak yapılan bir yayına rastlanmamıştır. Bu nedenle bu araştırma LIDAR kullanıldığı ve sportif performansın değerlendirildiği ilk araştırmadır. LIDAR ucuz, stabil ve yüksek örnekleme hızına sahip bir mesafe ölçerdir. Bu çerçevede sadece sıçrama yüksekliği ölçümünde değil kısa mesafe koşularının detaylı incelenmesi gibi alanlarda da kullanılabilir.

IMU giyilebilir ürünlerin yaygınlaşması ile ucuz, giyilebilir ve sahada rahat kullanılabilen, ambulator ölçüm yapılabilen bir yöntem olarak dikkati çekmektedir. IMU'lar ile sadece ivmelenme verileri değil bu verilerin çift entegrasyonu gibi yöntemlerden hareket ile hareket yakalama sistemleri geliştirilmiştir. IMU'lar kullanılarak farklı vücut segmentlerinde meydana gelen yüklenmeler tespit edilerek uzun süreli izlemeler yapılabilmektedir. Ancak gerek bu çalışmada gerek literatürdeki benzer çalışmalarda yüksek SEM değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle IMU ile yapılacak ölçümlerde IMU'nun yerleşimi, ağırlığının yumuşak dokuya olan inersiyal etkileri, filtreleme yöntemleri ve veri işleme algoritmaları konusunda gelecek araştırmalara gerek olduğu söylenebilir.

7. **Kaynaklar**

1. Sargent, D.A.J.A.p.e.r., The physical test of a man. 1921; 26(4): 188-194.
2. Yahya, U., S.M.N.A. Senanayake, and D. Lai, An EMG Knowledge-Based System for Leg Strength Classification and Vertical Jump Height Estimation of Female Netball Players. Intelligent Information and Database Systems, Aciids 2016, Pt II, 2016; 9622: 733-741.
3. Garcia-Lopez, J., ve ark., The Type of Mat (Contact Vs. Photocell) Affects Vertical Jump Height Estimated from Flight Time. J Strength Cond Res, 2013; 27(4): 1162-1167.
4. Moir, G.L., Three Different Methods of Calculating Vertical Jump Height from Force Platform Data in Men and Women. Meas Phys Educ Exerc, 2008; 12(4): 207-218.
5. Spangler, R., ve ark., Inertial Sensors are a Valid Tool to Detect and Consistently Quantify Jumping. Int J Sports Med, 2018; 39(10): 802-808.
6. O'Donnell, S., ve ark., The validity and reliability of the GymAware linear position transducer for measuring counter-movement jump performance in female athletes. Meas Phys Educ Exerc, 2018; 22(1): 101-107.
7. Moran, K.A. and E.S. Wallace, Eccentric loading and range of knee joint motion effects on performance enhancement in vertical jumping. Hum Movement Sci, 2007; 26(6): 824-840.
8. Gheller, R.G., ve ark., Effect of squat depth on performance and biomechanical parameters of countermovement vertical jump. 2014, 2014; 16(6): 11 %J Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance.
9. Padulo, J., ve ark., EMG amplitude of the biceps femoris during jumping compared to landing movements. Springerplus, 2013; 2.
10. Bosco, C., P.V. Komi, and A.J.A.P.S. Ito, Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. 1981; 111(2): 135-140.
11. Laffaye, G., P.P. Wagner, and T.I. Tombleson, Countermovement jump height: gender and sport-specific differences in the force-time variables. J Strength Cond Res, 2014; 28(4): 1096-105.
12. Dal Pupo, J., ve ark., Stiffness, intralimb coordination, and joint modulation during a continuous vertical jump test. Sport Biomech, 2013; 12(3): 259-271.
13. Isaacs, L.D., Comparison of the Vertec and Just Jump Systems for measuring height of vertical jump by young children. Percept Motor Skill, 1998; 86(2): 659-663.
14. Casartelli, N., R. Muller, and N.A. Maffiuletti, Validity and Reliability of the Myotest Accelerometric System for the Assessment of Vertical Jump Height. J Strength Cond Res, 2010; 24(11): 3186-3193.
15. Glatthorn, J.F., ve ark., Validity and Reliability of Optojump Photoelectric Cells for Estimating Vertical Jump Height. J Strength Cond Res, 2011; 25(2): 556-560.
16. Rantalainen, T., ve ark., Concurrent validity and reliability of torso-worn inertial measurement unit for jump power and height estimation. J Sport Sci, 2018; 36(17): 1937-1942.

17. Street, G., ve ark., Sources of error in determining countermovement jump height with the impulse method. 2001; 17(1): 43-54.
18. *PASS 13 Power Analysis and Sample Size Software (2014)*. 2014, NCSS, LLC. : Kaysville, Utah, USA.
19. Muller, K.E., ve ark., Power Calculations for General Linear Multivariate Models Including Repeated Measures Applications. J Am Stat Assoc, 1992; 87(420): 1209-1226.
20. Naik, D.N. and S.S. Rao, Analysis of multivariate repeated measures data with a Kronecker product structured covariance matrix. J Appl Stat, 2001; 28(1): 91-105.
21. LIDAR-Lite V2 Sensor Datasheet, <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/lidarlite2DS.pdf>. Erişim Tarihi: [02.12.2018].
22. Lidar Lite V2 Overview, https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/lidarlite2_overview.pdf. Erişim Tarihi: [02.12.2018].
23. XL-MaxSonar EZ4 Datasheet, https://www.maxbotix.com/documents/XL-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf. Erişim Tarihi: [02.12.2018].
24. Sharp 2Y0A02 Datasheet, https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Infrared/gp2y0a02yk_e.pdf. Erişim Tarihi: [02.12.2018].
25. Interlink Electronics 1.5" Square 20N FSR DataSheet, https://www.phidgets.com/productfiles/3103/3103_0/Documentation/3103_0_interlink-fsr-user-guide.pdf. Erişim Tarihi: [02.12.2018].
26. *Matlab 2018a*. 2018, The MathWorks, Inc.: Natick, Massachusetts, United States.
27. Zhang, Z.Y., A flexible new technique for camera calibration. Ieee T Pattern Anal, 2000; 22(11): 1330-1334.
28. Lu, P.P., Q. Liu, and J.M. Guo, Camera Calibration Implementation Based on Zhang Zhengyou Plane Method. Proceedings of the 2015 Chinese Intelligent Systems Conference, Vol 1, 2016; 359: 29-40.
29. Wang, J.R., J.K. Xu, and P.B. Shull, Vertical Jump Height Estimation Algorithm Based on Takeoff and Landing Identification Via Foot-Worn Inertial Sensing. J Biomech Eng-T Asme, 2018; 140(3).
30. Weir, J. Quantifying Test-Retest Reliability Using The Intraclass Correlation Coefficient and the SEM. Vol. 19. 2005; 231-40.
31. Toft Nielsen, E., ve ark., Validation of an inertial measurement unit to determine countermovement jump height. Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology, 2018.
32. Rantalainen, T., ve ark., Validity of hip-worn inertial measurement unit compared to jump mat for jump height measurement in adolescents. Scand J Med Sci Spor, 2018; 28(10): 2183-2188.

8. Ekler

EK.1 Bilgilendirilmiş gönüllü olur formu

GÖNÜLLÜ BİLGİLENDİRME VE ÇALIŞMAYA KATILMAK İÇİN OLUR FORMU

Bu çalışma anaerobik güç ölçümü için kullanılan sıçrama yüksekliği testlerinde kullanılabilmek için ucuz ve kolay uygulanabilir yeni bir ölçüm metodu geliştirmeyi hedeflemektedir.

Çalışmalar DEÜ Tıp Fakültesi Egzersiz Fizyolojisi Laboratuvarında gerçekleştirilecektir. Her çalışmada gönüllülerin sağlık durumlarını takip etmek üzere bir doktor hazır bulunacaktır.

Bu çalışma sırasında uygulanacak testlerin ve araştırma ile ilgili gerçekleştirilecek diğer işlemlerin masrafları size veya güvencesi altında bulunduğunuz resmi ya da özel hiçbir kurum veya kuruluşa ödetilmeyecektir.

Gönüllü bu çalışmaya katılmayı reddetme ya da araştırma başladıktan sonra devam etmeme hakkına sahiptir. Araştırmacı da gönüllünün kendi rızasına bakmadan, olguyu araştırma dışı bırakabilir.

Bu çalışmada yer aldığınız süre içerisinde kayıtlarınızın yanı sıra ilişkili sağlık kayıtlarınız kesinlikle gizli kalacaktır. Bununla birlikte kayıtlarınız kurumun yerel etik kurul komitesine ve Sağlık Bakanlığına açık olacaktır. Hassas olabileceğiniz kişisel bilgileriniz yalnızca araştırma amacıyla toplanacak ve işlenecektir. Çalışma verileri herhangi bir yayın ve raporda kullanılırken bu yayında isminiz kullanılmayacak ve veriler izlenerek size ulaşılamayacaktır.

Yukarıda gönüllüye araştırmadan önce verilmesi gereken bilgileri okudum. Bunlar hakkında bana yazılı ve sözlü açıklamalar yapıldı. Bu koşullarla söz konusu klinik araştırmaya kendi rızamla, hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın katılmayı kabul ediyorum.

Adı Soyadı Adres Telefon Tarih İmza

Gönüllünün

Araştırmacının

Olur alma işlemine

tanıklık eden kuruluş görevlisinin

EK.2 Etik Kurul Raporu

A. KARAR BİLGİLERİ	Karar No:2017/22-30	Tarih:14.09.2017			
	Prof.Dr.B.Muammer KAYATEKİN'in sorumlusu olduğu "Saçrama Yüksekliği Ölçümünde Kullanılacak Yeni Bir Ölçüm Sistemi Geliştirilmesi" isimli klinik araştırmaya ait 12.09.2017 tarihli araştırıcı dilekçesine ilişkin olarak; -Çalışma süresinin Ekim 2011 - Ekim 2017 olarak uzatılması. -Çalışmaya Uzm.Fzt.Ata ELVAN, Araş.Gör.Sercin Kosova ve Öğr.Gör.Fırat Özdayan'ın dahil olması, ile ilgili belgeler incelenerek bilgi edinilmiş ve uygun bulunmuştur.				
ETİK KURUL BİLGİLERİ					
ÇALIŞMA ESASI	Dokuz Eylül Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu İşleyiş Yönergesi İy Klinik Uygulamaları Kılavuzu				
ETİK KURUL ÜYELERİ					
Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsi yet	Araştırma ile ilişkili mi?	İmza
Prof.Dr.Banu ONVURAL (Başkan)	Tıbbi Biyokimya	DEÜ Tıp Fakültesi Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı	Kadın	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Ş.Reyhan UÇKU (Başkan Yardımcısı)	Halk Sağlığı	DEÜ Tıp Fakültesi Halk Sağlığı A.D.	Kadın	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Nejat SARIOĞLU	Kalp Damar Cerrahisi	DEÜ Tıp Fakültesi Kalp Damar Cerrahisi Anabilim Dalı	Erkek	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Sevine İRASLAN	Endokrinoloji	DEÜ Tıp Fakültesi İç Hastalıkları Anabilim Dalı	Kadın	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Ayşe Aydan ÖZKUTUK	Tıbbi Mikrobiyoloji	DEÜ Tıp Fakültesi Tıbbi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı	Kadın	E ☐ H ☒	Katılamadı
Prof.Dr.Müge KIRAY	Fizyoloji	DEÜ Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı	Kadın	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Sevda ÖZKARDEŞLER	Anesteziyoloji	DEÜ Tıp Fakültesi Anesteziyoloji ve Reanimasyon A.D.	Kadın	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Sülen SARIOĞLU	Patoloji	DEÜ Tıp Fakültesi Tıbbi Patoloji A.D.	Kadın	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Bilge KARA	Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon	DEÜ Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksek Okulu	Kadın	E ☐ H ☒	
Prof.Dr.Sefa KIZILDAĞ	Tıbbi Biyoloji ve Genetik	DEÜ Tıp Fakültesi Tıbbi Biyoloji ve Genetik A.D.	Erkek	E ☐ H ☒	Katılamadı
Prof.Dr.Ayhan ABACI	Pediyatrik Endokrinoloji ve Metabolizma Hastalıkları	DEÜ Tıp Fakültesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı	Erkek	E ☐ H ☒	Katılamadı
Doç.Dr.M.Aylin ARICI	Tıbbi Farmakoloji	DEÜ Tıp Fakültesi Tıbbi Farmakoloji Anabilim Dalı	Kadın	E ☐ H ☒	Katılamadı
Doç.Dr.Murat BEKTAŞ	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği	DEÜ Hemşirelik Fakültesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği	Erkek	E ☐ H ☒	
Uzm.Dr.Ahmet Can BİLGİN	Hukuk	DEÜ Tıp Tarihi ve Etik A.D.	Erkek	E ☐ H ☒	
Meluhet Erhan ÖZKUL	Sağlık mensubu olmayan üye	D.E.U Tıp Fakültesi İdari Mali İşler	Erkek	E ☐ H ☒	

EK.3 Özgeçmiş ve yayın listesi



HİKMET GÜMÜŞ

Kişisel Bilgiler

İletişim Bilgileri

Kimlik Numarası	30001440956
Doğum Tarihi	10/05/1976
İletişim Adresi	Dokuz Eylül Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi
Telefon	(232) 412 97 24 (530) 938 83 83
E-posta	gumush@gmail.com
Web Adresi	www.gumus.com

Eğitim Bilgileri

31 Ağustos 1997 - 31 Ağustos 2001 (4 yıl 1 ay)
DİĞER (Dokuz Eylül Üniversitesi), TÜRKİYE
DİĞER, DİĞER
Diploma Numarası: 3209

Deneyim / İşyeri Bilgileri

01 Ocak 2011 - Şu Anda (8 yıl 1 ay) (Tam Zamanlı)
ÖĞRETİM GÖREVLİSİ (DR.), ÖĞRETİM GÖREVLİSİ (DR.), DİĞER (Dokuz Eylül Üniversitesi)

01 Ocak 2007 - 01 Ocak 2013 (6 yıl 1 ay) (Tam Zamanlı)
DANIŞMAN, ARAŞTIRMA GÖREVLİSİ (DR.), DİĞER (Devlet Tiyatroları Genel Müdürlüğü)

Yabancı Dil Bilgileri

İNGİLİZCE (Okuma: İyi, Yazma: İyi, Konuşma: İyi)

Bilimsel Teknolojik Faaliyet Alanları

Bilimsel Teknolojik Faaliyet Alanı Bilgileri

Sosyal ve Beşeri Bilimler -- Eğitim -- Spor Bilimleri ve Teknolojisi

Sağlık Bilimleri -- Tıp -- Temel Tıp Bilimleri -- Fizyoloji -- Spor Fizyolojisi

Anahtar Kelimeler

Spor Bilimleri
Spor Fizyolojisi
Biyomedikal Cihaz Teknolojileri
Biyomedikal Enstrümantasyon

Ar-Ge Yetkinlik

Makaleler

H. GUMUS, N. UYSAL, O. YUKSEL, S. KIZILDAG, Z. YUCE, A. KARAKILIC, G. GUVENDI, B. KOC, S. KANDIS & M. ATES, Regular aerobic exercise correlates with reduced anxiety and increased levels of irisin in brain and white adipose tissue, NEUROSCIENCE LETTERS, 2018, 0304-3940, 676, 92-97.

H. B. BAYKARA, B. BAYKARA, M. ATEŞ, İ. AKSU, M. KIRAY, N. UYSAL HARZADIN, A. TAŞ, H. GÜMÜŞ, C. ÇETİNKAYA, A. ŞİŞMAN, M. N. ARDA & D. ÖZDEMİR, The Role Of Serotonin And Serotonin 2a Receptor In The Anxiety Due To Traumatic Brain Injury In Immature Rats, Anadolu Psikiyatri Dergisi, 2018, 1302-6631.

M. TUNAR, C. GENÇOĞLU, B. ÜNAL, B. M. KAYATEKİN, H. GÜMÜŞ & C. ÇETİNKAYA, Reliability And Validity Of A Novel Soccer Specific Field Test, Journal of Athletic Performance and Nutrition, 2017, 2148-7448, 4, 1, 1-16.

M. TUNAR, C. GENÇOĞLU, B. ÜNAL, B. M. KAYATEKİN, H. GÜMÜŞ & C. ÇETİNKAYA, Development Of A New Field Test To Assessment Of Anaerobic Performance For Team Sports, Niğde Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 2016, 1307-6477.

B. BAYKARA, M. ATEŞ, İ. AKSU, M. KIRAY, H. GÜMÜŞ, C. ÇETİNKAYA, A. ŞİŞMAN & N. UYSAL HARZADIN, Anxiety Correlates To Decreased Blood And Prefrontal Cortex Igf 1 Levels In Streptozotocin Induced Diabetes, Neuroscience Letters, 2012, 0000-0000.

N. UYSAL HARZADIN, İ. AKSU, H. GÜMÜŞ, C. GENÇOĞLU, G. GÜVENDİ, A. ŞİŞMAN & M. KIRAY, Preliminary Results: Aerobic Exercise Increases Leptin Levels In White And Brown Adipose Tissues, Poster Sunumu, 22nd Annual Congress Of The European College Of Sport Science, 05 Temmuz 2017, 08 Temmuz 2017.

H. GÜMÜŞ, E. MANCI & B. M. KAYATEKİN, Giyilebilir Bioelektrik İmpedans Ölçüm Cihazının Geçerlilik Ve Güvenirliğinin Araştırılması, Poster Sunumu, The International Balkan Conference In Sport Sciences, 21 Mayıs 2017, 23 Mayıs 2017, 627 - 627.

H. GÜMÜŞ, S. KOSOVA, M. İ. TOK, P. TATLIBAL, F. ÖZDALYAN, M. TUNAR & M. KOCA, Türk Cimnastikçilerin Fiziksel Profillerinin Ve Dikey Sıçrama Yüksekliklerinin Başarı İle İlişkisi, Poster Sunumu, 14th International Sport Sciences Congress, 01 Kasım 2016, 04 Kasım 2016.

Bildiriler

Projeler

KURUMSAL (BAP V.B.), ARAŞTIRMACI, DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR ANALYSIS OF UNDERWATER MOTION ANALYSIS OF SWIMMING..., Yürütülen Kuruluş: KURULUŞ GÜNCELLENMESİ GEREKİYOR, 01 Mart 2013, 01 Eylül 2014.

KURUMSAL (BAP V.B.), ARAŞTIRMACI, SIÇRAMA YÜKSEKLİĞİ ÖLÇÜMÜNDE KULLANILACAK YENİ BİR ÖLÇÜM SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ..., Yürütülen Kuruluş: KURULUŞ GÜNCELLENMESİ GEREKİYOR, Destek Alınan Kuruluş: DİĞER (Dokuz Eylül Üniversitesi) (Yurt İçi) , 09 Şubat 2012, 09 Şubat 2014.

Patentler

Kablosuz Alıcı Ağlarının Senkronizasyonu, Kablosuz Alıcı Ağlarının Senkronizasyonu, Patent Başvurusu, Ulusal, Başvuru No: 2018/10007, 10 Ocak 2018

Gürültü Engelleyici Eeg Başlığı, Gürültü Engelleyici Eeg Başlığı, Patent Başvurusu, Ulusal, Başvuru No: 2017/22875, 29 Aralık 2017

TÜBİTAK Burs ve Destekleri

Panelistlik/İzleyicilik/Raportörlük Sayısı

Panelistlik/Dış Danışmanlık Sayısı	ARDEB/BİDEB 0	TEYDEB 0	Toplam 0
İzleyicilik/Danışmanlık Sayısı	ARDEB/BİDEB 0	TEYDEB 0	Toplam 0
Raportörlük Sayısı	ARDEB/BİDEB 0	TEYDEB 0	Toplam 0

EK4. Araştırma Planı ve Takvimi

	2012 (1-4)	2012 (5-8)	2012 (9-12)	2013 (1-4)	2013 (5-8)	2013 (9-12)	2014 (1-4)	2014 (5-8)	2014 (9-12)	2015 (1-4)	2015 (5-8)	2015 (9-12)	2016 (1-4)	2016 (5-8)	2016 (9-12)	2017 (1-4)	2017 (5-8)	2017 (9-12)	2018 (1-4)	2018 (5-8)	2018 (9-12)
Literatür Taraması																					
LID Sistemi Tasarımı																					
LID Sistemi Malzemeleri Temini																					
LID Sistemi Test Süreci																					
CAM Sistemi Tasarımı																					
CAM Sistemi Malzemeleri Temini																					
CAM Sistemi Test Süreci																					
FSR Sistemi Tasarımı																					
FSR Sistemi Malzemeleri Temini																					
FSR Sistemi Test Süreci																					
IMU Sistemi Tasarımı																					
IMU Sistemi Malzemeleri Temini																					
IMU Sistemi Test Süreci																					
IR Sistemi Tasarımı																					
IR Sistemi Malzemeleri Temini																					
IR Sistemi Test Süreci																					
PES Sistemi Tasarımı																					
PES Sistemi Malzemeleri Temini																					
PES Sistemi Test Süreci																					
Sistemlerin Entegrasyonu																					
Patent Başvurusu Hazırlama																					
Patent Başvurusu																					
Ölçümlerin Yapılması																					
Tez Yazım Süreci																					

Parantez içindeki rakamlar ayları göstermektedir.