



**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANTRENMAN VE HAREKET ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DİKEY SIÇRAMA PERFORMANSINI
ÖLÇMEYE YÖNELİK
GİYİLEBİLİR BİR CİHAZ TASARIMI**

İlhan TİRE

**Aralık 2021
DENİZLİ**

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİKEY SIÇRAMA PERFORMANSINI
ÖLÇMEYE YÖNELİK
GİYİLEBİLİR BİR CİHAZ TASARIMI**

**ANTRENMAN VE HAREKET ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

İlhan TİRE

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet ALPTEKİN

Denizli, 2021

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

Öğrenci Adı Soyadı : İlhan TİRE

İmza :

ÖZET

DİKEY SIÇRAMA PERFORMANSINI ÖLÇMEYE YÖNELİK GİYİLEBİLİR BİR CİHAZ TASARIMI

İlhan TİRE

Yüksek Lisans Tezi, Antrenman ve Hareket ABD
Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Ahmet ALPTEKİN

Aralık 2021, 54 sayfa

Bu çalışmanın amacı, dikey sıçrama testlerinde havada kalma süresi yöntemiyle sıçrama yüksekliğini ölçmeyi sağlayan giyilebilir bir cihaz geliştirmektir. Çalışma kapsamında; yeni geliştirilen cihaza ait elektronik bir devre tasarımı yapılmış, cihazın mikrodenetleyici elemanı için bir gömülü yazılım ve cihazın akıllı telefonlar ile haberleşmesini sağlayan bir mobil yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen cihaz, eş zamanlı olarak kuvvet platformu ile test edilmiş ve her iki cihazdan elde edilen dikey sıçrama havada kalma süresi verileri karşılaştırılmıştır. Çalışmaya Pamukkale Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesinde öğrenim gören 10 gönüllü öğrenci (Yaş: $19,05 \pm 0,4$ yıl; Boy uzunluğu: $175,32 \pm 5,32$ cm; Vücut ağırlığı: $65,54 \pm 6,33$ kg) katılmıştır. Dikey sıçrama yüksekliği açısından, geliştirilen cihaz verilerinin kuvvet platformu verilerine en yakın sonuçları hangi bölgede verdiğini test etmek amacıyla, cihaz vücudun 4 farklı bölgesine yerleştirilerek ölçüm alınmıştır (1. bölge: bel; 2. bölge: ayakkabı bağcığı; 3. bölge: ayakkabı filetosu; 4. bölge: ayakkabı burnu). Gönüllüler, cihazın yerleştirildiği her bir bölge için 10'ar adet aktif sıçrama, toplamda 40'ar adet aktif sıçrama gerçekleştirmiştir. Yapılan istatistiksel analizler kuvvet platformundan elde edilen dikey sıçrama havada kalma süresi ile geliştirilen cihazdan 4. bölgede elde edilen havada kalma süreleri arasında çok yüksek ilişki (Pearson r : 0,984) ortaya koymuştur. Cohen d değeri (0,06) geliştirilen cihazın 4. bölgede elde edilen verileri ile kuvvet platformu verileri arasındaki farkın önem düzeyinin çok düşük olduğunu ortaya koymuştur. Bland-Altman uyum sınırları (%95 güven aralığı) geliştirilen cihazın 4. bölgeye yerleştirilerek ölçüm yapılması halinde havada kalma süresini kuvvet platformuna göre -5.1 ms ile 6.9 ms arasında farkla ölçeceğini göstermiştir. Sonuç olarak dikey sıçrama yüksekliğini ölçen bir cihaz geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktif sıçrama, skuat sıçrama, performans ölçümleri, ataletsel ölçüm birimi, kuvvet platformu.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A WEARABLE DEVICE TO EVALUATE VERTICAL JUMP PERFORMANCE

TİRE, İlhan
MSc. Thesis in Training and Movement
Supervisor: Assoc. Prof. Ahmet ALPTEKİN

December 2021, 54 pages

The aim of this study is to develop a wearable device that capable of measuring the jump height with the flight time method in vertical jump tests. In scope of the study; an electronic circuit design of the newly developed device has been made, an embedded software for the microcontroller of the device and a mobile application that enables the new device to communicate with smart phones have been developed. The new device was tested simultaneously with the force platform and the vertical jump performance data obtained from both devices were compared. 10 students studying at Pamukkale University Faculty of Sport Sciences (Age: 19.05 ± 0.4 years; Height: 175.32 ± 5.32 cm; Body weight: 65.54 ± 6.33 kg) has participated voluntarily. The new device was tested in 4 different regions on volunteers (1st region: waist; 2nd region: shoelaces; 3rd region: shoe fillet; 4th region: toe cap) in order to give the most similar results with the force platform in terms of vertical jump performance data. The volunteers performed 10 countermovement jumps (CMJ) for each region where the device was placed, and 40 CMJ in total. Statistical analyzes revealed a very high correlation (Pearson r: 0.984) between the vertical jump flight time obtained from the force platform and the flight time obtained from the new device in the 4th region. The Cohen d value (0.06) revealed that the difference between the data obtained in the 4th region of the developed device and the force platform data was very low. Bland-Altman agreement limits (95% confidence interval) showed that if the developed device is placed in the 4th region, it will measure the flight time with a difference between -5.1 ms and 6.9 ms compared to the force platform. As a result, the wearable device that measures the vertical jump height has been developed.

Keywords: Countermovement jump, squat jump, performance measurements, inertial measurement unit, force plate.

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim süresince her alandaki bilgi ve tecrübelerini paylaşan, tez çalışmamın hiçbir aşamasında desteğini esirgemeyen çok değerli hocam Doç. Dr. Ahmet ALPTEKİN'e,

Bilgi birikimi ve fikirlerinden faydalandığım Pamukkale Üniversitesi Biyomekanik Araştırma Grubu ekibine,

Yoğun çalışma sürecinde benden desteğini esirgemeyen, sabır ve anlayışı için eşim Arzu TİRE, kızlarım Ecrin ve Eylül'e,

Dualarıyla her zaman bana destek olan annem Saniye TİRE'ye teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ	vii
RESİMLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	4
2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1. Dikey Sıçrama	5
2.1.1. Dikey sıçrama hareketinin evreleri	6
2.1.2. Dikey sıçrama yüksekliği ölçüm yöntemleri	8
2.1.2.1. Kinematik yöntemler	8
2.1.2.2. Kinetik yöntemler	11
2.2. Atalet Sensörleri	12
2.2.1. İvmeölçer	13
2.2.2. Jiroskop	13
2.2.3. Manyetometre	14
2.3. Giyilebilir Teknolojiler	14
2.4. Hipotez	15
3. GEREÇ VE YÖNTEMLER	16
3.1. Çalışmanın Evreleri	16
3.1.1. Planlama evresi	16
3.1.2. Geliştirme evresi	17
3.1.3. Ön test ve düzeltme evresi	20
3.1.4. Karşılaştırmalı test evresi	20
3.2. Araştırma Grubu	20
3.3. Veri Toplama Araçları	21
3.3.1. Boy uzunluğu ve vücut ağırlığı ölçümleri	21

3.3.2. Dikey sıçrama performansı ölçüm cihazı	21
3.3.3. Kuvvet platformu	22
3.4. Verilerin Toplanması	22
3.4.1. Dikey sıçrama performansı ölçüm cihazının yerleşim bölgesi.....	23
3.4.2. Dikey sıçrama testi.....	25
3.5. Verilerin Analizi	26
4. BULGULAR	27
5. TARTIŞMA.....	33
6. SONUÇ.....	37
7. KAYNAKLAR.....	38
8. ÖZGEÇMİŞ	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kuvvet-zaman grafiği.....	6
Şekil 4.1 Kuvvet platformu (Kp) ve DSPC 1. Bölge Bland-Altman grafiği.	28
Şekil 4.2 Kuvvet platformu (Kp) ve DSPC 2. bölge Bland-Altman grafiği.	29
Şekil 4.3 Kuvvet platformu (Kp) ve DSPC 3. bölge Bland-Altman grafiği.	30
Şekil 4.4 Kuvvet platformu (Kp) ve DSPC 4. bölge Bland-Altman grafiği.	31



TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 4.1 DSPC'den 1. bölgede ölçülen dikey sıçrama havada kalma süresi verileri	27
Tablo 4.2 DSPC'den 2. bölgede ölçülen dikey sıçrama havada kalma süresi verileri	28
Tablo 4.3 DSPC'den 2. bölgede ölçülen dikey sıçrama havada kalma süresi verileri	29
Tablo 4.4 DSPC'den 4. bölgede ölçülen dikey sıçrama havada kalma süresi verileri	30
Tablo 4.5 Farklı yerleşim bölgelerinde elde edilen sıçrama yüksekliği ortalama ve farkları.	32



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 (a) Aktif sıçrama, (b) Skuat sıçrama.	5
Resim 2.2 Birinci tip atalet sensörü şeması.	12
Resim 2.3 İkinci tip atalet sensörü şeması.	13
Resim 3.1 GY-521 atalet sensörü.	18
Resim 3.2 Atmega88 mikrodnetleyici.	18
Resim 3.3 Dikey sıçrama hareketi algılama akış diyagramı.	18
Resim 3.4 JDY-08 bluetooth modülü.	19
Resim 3.5 Prototip cihaz devre tasarımı.	19
Resim 3.6 DSPC'nin devre kartı.	20
Resim 3.7 Mobil uygulama arayüzü.	20
Resim 3.8 DSPC.	22
Resim 3.9 Kuvvet Platformu.	22
Resim 3.10 1. Bölge yerleşimi.	23
Resim 3.11 1. Bölge ivmeölçer verisi.	23
Resim 3.12 2. Bölge yerleşimi.	24
Resim 3.13 2. Bölge jiroskop verisi.	24
Resim 3.14 3. Bölge yerleşim bölgesi.	24
Resim 3.15 3. Bölge jiroskop verisi.	24
Resim 3.16 4. Bölge yerleşimi.	25
Resim 3.17 4. Bölge jiroskop verisi.	25
Resim 3.18 Aktif sıçrama testi.	25

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

cm.....	Santimetre
DSPC.....	Dikey sıçrama performansı ölçüm cihazının
g.....	g-kuvveti (9,81 ms ⁻¹)
gr.....	Gram
Hz.....	Hertz
ICC.....	Sınıf içi korelasyon katsayısı (Intraclass correlation coefficient)
IMU.....	Ataletsel ölçüm birimleri (Inertial Measurement Units)
kB.....	Kilobyte
kg.....	Kilogram
Kp.....	Kuvvet platformu
m.....	Metre
mA.....	Miliamper
MEMS.....	Mikro elektromekanik sistemler (Micro-Electro-Mechanical Systems)
Mhz.....	Megahertz
mm.....	Milimetre
ms.....	Milisaniye
RAM.....	Rasgele erişimli bellek (Random Access Memory)
s.....	Saniye
3B.....	3 Boyutlu

1. GİRİŞ

Anaerobik performans, ani ve yüksek şiddetli güç oluşumuna ihtiyaç duyulan çoğu sportif aktivitede sporcu başarısı için önemli bir özelliktir. Sporcuların anaerobik performans düzeyinin tespit edilmesi, ihtiyaç duyulan antrenman programlarının hazırlanmasında antrenör ve çalıştırıcılara büyük fayda sağlar (Özkan vd 2010). Anaerobik güç ve kapasite, anaerobik performansın bileşenleridir ve bu bileşenleri doğrudan ölçebilmek mümkün değildir. Dolaylı yollarla ölçebilmek için ise çeşitli sportif testler geliştirmiştir (Yıldız 2012). Bu testlerden en eski olanı, ilk kez D.A. Sargent (1921) tarafından tanıtılan dikey sıçrama testidir.

Dikey sıçrama testi bireyin anaerobik güç düzeyi hakkında bilgi veren, pratik bir testtir. Bireyin atletik yeteneğini gözlemlene ve ön test son test ölçümlerinde antrenör ve spor bilimciler tarafından yaygın olarak kullanılır. Dikey sıçrama testlerinde ilgilenilen birincil kinematik parametre sıçrama yüksekliğidir. Sıçrama yüksekliği ile birlikte bireyin vücut ağırlığı matematiksel bazı eşitlikler ile hesaplanarak bireyin anaerobik güç düzeyi tahmin edilir (Fox vd 1989, Harman vd 1991, Sayers vd 1999).

Dikey sıçrama yüksekliğini ölçmek için pek çok yöntem ve araç geliştirilmiştir. Sargent'in düz bir duvar ve tebeşir tozu kullanarak uyguladığı yöntem uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bazı spor bilimciler bu yöntemin pratik olmasına karşın sıçrama yüksekliği sonuçları açısından yeterince geçerli ve güvenilir olmadığını ileri sürmüşlerdir. Sıçramanın en yüksek noktasında duvara dokunabilmenin tecrübe gerektirdiğini ve uzanma kolunun omuz pozisyonunun sıçrama yüksekliği sonucunu etkilediğini belirtmişlerdir (Aragon 2000, Klavora 2000, Buckthorpe vd 2012).

Teknolojik gelişmelerin spor bilimleri alanına etkisiyle birlikte sporcu performans ölçümlerinde doğru, tutarlı ve hassas ölçüm yapabilen cihazlar üretilmiştir. Spor bilimlerinde özellikle biyomekanik araştırmalarda yaygın olarak kullanılan kuvvet platformu ve 3 boyutlu (3B) hareket analizi sistemleri yüksek geçerlik ve güvenilirlik özellikleriyle kendilerini ispatlamış cihaz ve sistemlerdir. Kuvvet platformu ve 3B

hareket analizi sistemleri dikey sıçrama performansı ölçümlerinde altın standart olarak kabul edilmektedir (Drazan vd 2021, McMaster vd 2020). Kuvvet platformu ile sıçrama yüksekliğini ölçmek için havada kalma süresi, çıkış hızı ve iş-enerji yöntemleri kullanılır (Linthorne ve Nicholas 2001). Aragon (2000), kuvvet platformu kullanarak farklı yöntemleri karşılaştırdığı çalışmasında havada kalma süresi yöntemi ile hesaplanan sıçrama yüksekliği sonuçlarının daha güvenilir ve tutarlı olduğu belirtmiştir. 3B hareket analizi sistemleri ile sıçrama yüksekliğini hesaplamak için ise vücut ağırlık merkezinin dikey yönlü yer değişiminden faydalanılır. Yapılan çalışmalar 3B hareket analiz sistemi ile hesaplanan sıçrama yüksekliğinin havada kalma süresi yöntemi ile hesaplanan dikey sıçrama yüksekliğine göre yaklaşık 13 cm fazla olduğunu göstermektedir. Bu fark, sıçrama öncesi ayağın plantar fleksiyonu ile başlayan ve ayağın yerden kesildiği ana kadar gerçekleşen ağırlık merkezindeki yükselmeden kaynaklanmaktadır. (Aragon 2000, Pueo vd 2017). Altın standart sistemler, taşınabilir bir yapıya sahip olmaması, yüksek maliyeti ve kullanım için belirli bir uzmanlık gerektirmesi sebepleriyle saha testlerinde kullanım için pratik değildir.

Sıçrama matları, taşınabilirlik ve pratik kullanım gibi özellikleri ile saha testleri için uygun elektronik sistemlerdir. Sıçrama matı, dikey sıçrama yüksekliğini ölçmek için havada kalma süresi yöntemini kullanır. Whitmer (2015) çalışmasında kuvvet platformu ve sıçrama matı (Just Jump, Probotics, Inc., Huntsville, AL, USA) ile elde edilen dikey sıçrama yüksekliklerini karşılaştırmış ve sıçrama matı ile elde edilen yükseklik değerinin ortalama 14 cm fazla olduğunu ortaya koymuştur. Whitmer, bazı sıçrama matı markalarının sıçrama yüksekliği hesaplama algoritmasına +100 ms eklediklerini belirtmiştir. Eklenen bu fazladan sürenin sıçrama matı ile 3B hareket analizi sisteminin uyumlu sonuç vermesi amacıyla yapıldığını savunmuştur. Chronojump (Boscosystem İspanya), Ergo Tester (Globus Ergo Tester İtalya), Newtest (Newtest Premier 300 Finlandiya) gibi farklı markalara ait bazı sıçrama matları ile yapılan çalışmalar ise elde edilen dikey sıçrama yüksekliği verilerinin kuvvet platformu ile benzer olduğunu göstermektedir (Magnúsdóttir 2014, Pueo 2017).

Optik algılayıcılar ile donatılmış karşılıklı iki düz bardan oluşan Optojump (Microgate, Bolzano, İtalya) dikey sıçrama testlerinde son yıllarda kullanımı yaygınlaşan cihazlardan biridir. Taşınabilir yapısı ile saha koşullarında kullanıma uygun olarak tasarlanmıştır. Zemine yerleştirilmiş iki düz bar arasında yapılan dikey sıçramayı optik algılayıcıları ile algılayarak havada kalma süresi yöntemiyle sıçrama yüksekliğini hesaplar (Montalvo vd 2021). Optojump, kuvvet platformu kriter alınarak yapılan dikey sıçrama yüksekliği ölçümü çalışmasında yüksek güvenilirlik ve geçerlik ortaya koymuştur (Glatthorn vd 2011).

Donanım tabanlı cihazların yanı sıra özellikle akıllı telefonlara yönelik geliştirilen bazı yazılımlarla da dikey sıçrama yüksekliğini ölçmek mümkündür. İos işletim sistemli mobil cihazlar için geliştirilen MyJump uygulaması kaydedilen sıçrama videosu üzerinde belirli karelerin işaretlenmesi suretiyle havada kalma süresinden yola çıkarak sıçrama yüksekliğini ölçer. Balsalobre-Fernandez ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada MyJump uygulamasının kuvvet platformu ile çok düşük sistematik hata, yüksek güvenilirlik ve geçerlik değerleri elde etmiştir. Uygulamanın, sadece ios tabanlı mobil cihazlar üzerinde çalışması uygulama açısından bir kısıtlılık oluşturur.

Giyilebilir teknoloji, insanlar tarafından giyilebilen veya aksesuar olarak taşınabilen, farklı amaçlar için tasarlanmış sensörler barındıran ve akıllı cihazlar ile kablosuz iletişim kurabilen elektronik cihazlardır. 2000'li yıllardan sonra adı sıkça duyulan giyilebilir teknolojiler, spor, sağlık, askeri ve eğlence alanlarında kullanılmaktadır (Kılıç 2017). Atalet sensörleri, doğrusal ve rotasyonel hareketleri algılama özellikleri ile sportif etkinliklerde kullanılan cihazlarda karşımıza çıkmaktadır (Milosevic vd 2015). Dikey sıçrama yüksekliği ölçmek için tasarlanmış, piyasada ticari ürün olarak da yer alan atalet sensörü tabanlı cihazlar bulunmaktadır. Oldukça düşük maliyetli ve kolay kullanımlı özellikleriyle son kullanıcının dikkatini çeken bu cihazlara spor bilimciler tarafından geçerlik güvenilirlik testleri uygulanmaktadır. Castagna ve arkadaşları (2013) kuvvet platformunu kriter aldıkları çalışmada dikey sıçrama yüksekliği ölçümünde Myotest (Myotest SA, Sion, İsviçre) atalet sensör tabanlı cihazdan aldıkları sonuçları değerlendirmişlerdir. Havada kalma süresi yöntemi ile yaptıkları hesaplamada Myotest cihazı ile kuvvet platformundan elde edilen sıçrama yüksekliği arasında yüksek korelasyon (ICC; 0,88) ve $-3,1 \pm 2,1$ cm sistematik hata ölçmüşlerdir. Benzer bir çalışmada Mauch ve arkadaşları (2017) Myotest cihazı ve kuvvet platformu arasında $-4,4 \pm 2,6$ cm sistematik fark ve yüksek korelasyon (ICC; 0,91) gözlemlemiştir. McMaster ve arkadaşları (2020) Push Band 2.0 (Push 2.0 Strength Inc., Toronto, Kanada) atalet tabanlı cihaz ile kuvvet platformunu karşılaştırdıkları çalışmada 38 sporcu ile aktif sıçrama çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada Push Band 2.0 cihazı ile kuvvet platformu arasında aktif sıçrama için yüksek korelasyon (ICC; 0,89) ve $-6,0 \pm 0,02$ cm sistematik fark gözlemlemiştir. Brooks ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada Vert (VERT Classic; Mayfonk Athletic, Florida, ABD) atalet sensör tabanlı cihaz ile kuvvet platformu kullanarak elde edilen dikey sıçrama yüksekliği değerlerini karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada Vert cihazı ve kuvvet platformu ile elde edilen dikey sıçrama yükseklik ölçümleri arasında ortalama $-10,7$ cm fark tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmalar atalet sensörü tabanlı cihazlardan elde edilen dikey sıçrama yüksekliği ile altın standart kabul

edilen sistemlerle elde edilen sıçrama yüksekliği verileri arasında fark olduğunu ortaya koymaktadır. Troiano ve arkadaşları (2014) yaptıkları çalışmada 1980 ile 2013 yılları arasında yayınlanan spor ve fiziksel aktivitelerde atalet sensörü kullanımına yönelik makalelerin yıllara göre dağılımını incelemişlerdir. Bu çalışmada atalet sensörü konulu makalelerin sayısı, 1981 – 1996 yılları arasında yılda ortalama 10, 2003 – 2004 yılları arasında yılda ortalama 90 ve 2012 – 2013 yılları arasında yılda ortalama 600 makale olarak belirtilmiştir.

Troiano ve arkadaşlarının yaptığı çalışma spor bilimcilerin atalet sensörlerine olan ilgisinin her geçen yıl giderek arttığını göstermektedir. Atalet sensörlerine olan ilginin giderek artış göstermesi, teknolojik gelişmeler, yazılımsal ve donanımsal iyileştirmeler ile birlikte bu sensör ile geliştirilen cihazların gelecek yıllarda sporsal performans ölçümlerinde daha doğru ve tutarlı sonuçlar vereceği öngörülebilir.

1.1. Amaç

Dikey sıçrama performansının ölçülmesi için pek çok yöntem, cihaz ve ekipman geliştirilmiştir. Her bir yöntem ve cihaz kendi içinde avantaj ve dezavantajlar barındırmaktadır.

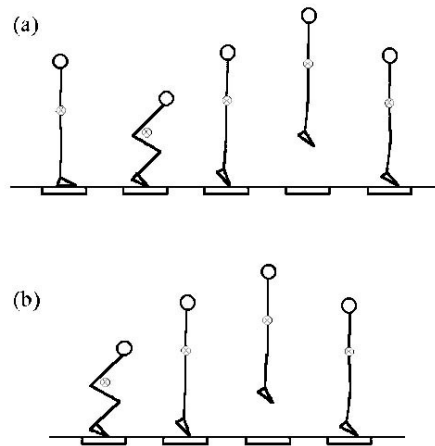
Bu çalışmanın amacı; mevcut yöntem ve cihazların eksikliklerini göz önünde bulundurarak dikey sıçrama yüksekliğini havada kalma süresini ölçerek hesaplayan atalet sensör tabanlı elektronik bir cihaz geliştirmektir.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Dikey Sıçrama

Sıçrama eylemi, alt ve üst vücut segmentleri arasında karmaşık motor koordinasyonu gerektiren, balistik bir harekettir. Sıçrama sırasında alt ekstremitelerde gerçekleşen dikey yönlü ani itme eylemi patlayıcı kuvvet özelliğinin bir göstergesidir (Markovic vd 2004).

Dikey sıçrama, sagittal düzlemde ve dikey ekseninde gerçekleşir. Sıçrama sırasında aktif olan ekstensör (Kuadriseps femoris) ve fleksör (Biceps femoris, semitendinosus, semimembranosus) kaslar elastik enerjinin depolanmasını sağlar. Depolanan enerji, zemine uygulanan itme ile birlikte açığa çıkarılarak yükselme gerçekleşir. Sıçrama yüksekliği, dikey sıçrama performansının değerlendirilmesinde kullanılan en önemli kinematik parametredir. Bireyin ayakta hareketsiz pozisyondaki vücut ağırlık merkezinin konumu ile sıçrama ile birlikte vücut ağırlık merkezinin eriştiği en yüksek konum arasındaki fark sıçrama yüksekliği olarak kabul edilir.

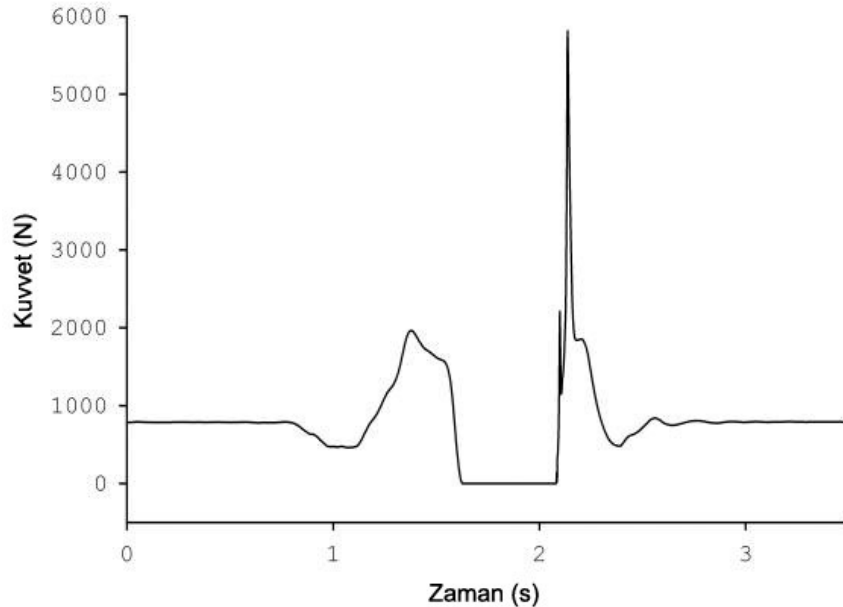


Resim 2.1 (a) Aktif sıçrama, (b) Skuat sıçrama.

Sargent'in (1921) düz bir duvar kullanarak uyguladığı dikey sıçrama protokolü spor çevrelerinde oldukça ilgi görmüş ve uzun yıllar kullanılmıştır. Bu geleneksel yöntemin dışında farklı dikey sıçrama protokolleri de geliştirilmiştir. Bu protokollerden en yaygın olanları aktif sıçrama ve skuat sıçramadır. Aktif sıçrama ayakta sabit bekleme pozisyonu ile başlar. Ardından aşağı yönlü hızlı bir çöküşün ardından zemine ayaklarla uygulanan maksimal itiş kuvveti ile birlikte yerden yükselme yani uçuş gerçekleşir. Skuat sıçrama, aktif sıçramadan farklı olarak ön gerilme ve amortizasyon evresi içermez. Bunun yerine dizlerin yaklaşık 90 derecelik fleksiyonunda ortalama 3 saniyelik bir bekleyiş ile başlar (Van Hooren vd 2017).

2.1.1. Dikey sıçrama hareketinin evreleri

1970'li yıllarda biyomekanik araştırmalarda kullanılmaya başlayan kuvvet platformları günümüze kadar önemini korumuş ve biyomekanik laboratuvarlarının en yoğun kullanılan ekipmanları arasında yer almıştır. Bu ekipman, dikey sıçrama testlerinin ise temel ölçüm aparatı haline gelmiştir (Ramey 1983). Kuvvet platformu, kuvvetin yönü ve miktarını 3 ayrı eksenle ölçebilir. Bu özelliği ile birlikte dikey sıçramanın evreler halinde incelenmesini sağlayan kuvvet-zaman grafiği elde edilmesine imkan tanır. Aktif sıçrama sırasında kuvvet platformundan elde edilmiş bir kuvvet-zaman grafiği Resim 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Kuvvet-zaman grafiği.

Aktif sıçrama hareketi aşağıdaki evrelerden oluşur;

- **Başlangıç evresi:** Sıçrama öncesi ayakta, hareketsiz ve dik pozisyonda bekleyiş evresidir. Bu aşamada kuvvet platformu ile ölçülen değer bireyin vücut ağırlığının Newton cinsinden karşılığıdır. Yer tepki kuvveti vücut ağırlığına eşittir. Bu evrede ölçülen kuvvet değeri, sıçrama yüksekliğinin impuls-momentum yöntemiyle hesaplanması durumunda eşik değer olması açısından önemlidir (McMahon vd 2018).
- **Ön gerilim evresi:** Kalça ve dizin fleksiyonu ile birlikte vücut ağırlık merkezi aşağı çekilmeye başlanır. Eğer uygulanan teknik, kollar salınımlı aktif sıçrama ise omuzlar hiperekstensiyon gerçekleştirir. Alt ve üst vücut segmentlerinin kombine hareketi ile potansiyel enerji elde edilir (McGinnis 2013).
- **Frenleme evresi:** Ön gerilim evresiyle başlayan vücut ağırlık merkezinin aşağı yönlü ilerlemesi karşı hareket ile birlikte durdurulur. İlgili kasların eksantrik kasılmasıyla birlikte gerilme-kısalma döngüsünün (stretch-shortening cycle) gerilme fazı başlar. Vücut ağırlığının altına inen yer tepki kuvveti tekrar eşik noktasına doğru yükselmeye başlar.
- **İtme evresi:** Vücut ağırlık merkezini yükseltmek için zemine ayaklarla uygulanan kuvvet ilgili kaslarda konsantrik kasılmanın başlamasına sebep olur. Kaslardaki kısalma ile gerilme-kısalma döngüsü tamamlanır. Diz ve kalça eklemleri tam ekstensiyona geçerken ayak bileği maksimum açıyla plantarfleksiyon gerçekleştirir (Bartlett 2014). Kuvvet platformu ile ölçülen yer tepki kuvveti maksimum seviyeye çıkar. Bu evre ayakların zeminden ayrılması ile son bulur.
- **Yerden ayrılma evresi:** Zeminle temasın kesilmesi ile birlikte kuvvet platformu ile ölçülen değer 0 Newton seviyesindedir. Sıçrama yüksekliğinin havada kalma süresi yöntemi ile hesaplandığı durumlarda bu evre havada kalma süresinin başlangıç zamanı olarak alınır.
- **Uçuş evresi:** Sıçrama sırasında havada geçirilen evredir.
- **Yere inme evresi:** Uçuş evresinin ardından tekrar ayakların zeminle temas etmesiyle başlayan evredir. Sıçrama yüksekliğinin havada kalma süresi yöntemi ile hesaplandığı durumlarda havada geçirilen sürenin bitiş zamanı olarak alınır.

Skuat sıçrama protokolü, aktif sıçramanın ilk 3 evresini içermez ve itme evresiyle başlar. Hareketin karşı hareket içermemesi için bireyin itme evresinde yaklaşık 3 saniye beklemesi gerektiği belirtilmiştir (Van Hooren vd 2017).

2.1.2. Dikey sıçrama yüksekliği ölçüm yöntemleri

Ölçme, bir değerlendirme eylemidir ve değerlendirilen özelliğin miktarı sayısal verilerle ifade edilir. Ölçüm sonucunda elde edilen veriler bir referansa göre yorumlanır. Bu referans, bağıl veya mutlak olabilir (Morrow 2015). Ölçme eyleminde kullanılan ölçeğin standardize olabilmesi ve sonrasında uygun bilgiler üretme yeteneğine sahip olması için güvenilirlik ve geçerlik olarak nitelendirilen iki özelliğe sahip olması beklenir. Güvenirlik, ölçeğin tekrarlı ölçümlerde kararlı sonuçlar vermesiyle ilgilidir. Geçerlik ise ölçülmek istenilen özelliğin doğru olarak ölçülmesini ifade eder (Ercan ve İsmet 2004).

Atletik performansın ayrılmaz bir parçası olan anaerobik gücü belirlemek için kardiyovasküler, nöromüsküler ve metabolik bileşenleri içeren fizyolojik bir ölçüm gereklidir. Anaerobik güç testleri hem laboratuvar hem de saha ortamlarında uygulanmaktadır ve sporcunun kısa sürede veya kısa bir mesafede hem güç hem de hız üretme kapasitesini göstermektedir (Stauffer 2005).

Dikey sıçrama testleri zaman ve maliyet açısından ekonomik, uygulama açısından pratik, fizyolojik açıdan ise minimum yorgunluk ve sakatlık riski içeren testlerdir. Dikey sıçrama ölçümlerinde ilgilenilen birincil parametre sıçrama yüksekliğidir. Sıçrama yüksekliği ve bireyin vücut ağırlığını içeren hesaplamalar ile sıçrama sırasında ortaya çıkan güç tahmin edilmeye çalışılmıştır (Fox vd 1989, Harman vd 1991, Sayers vd 1999).

Dikey sıçrama yüksekliğini ölçmek için kullanılan ekipman ve yöntemler mekaniğin temel konuları olan yer değiştirme, zaman, kuvvet ve hız verilerinden yararlanır (Linthorne 2001).

2.1.2.1. Kinematik yöntemler

Kinematik, hareketin zamana bağlı olarak konum, hız ve ivme gibi nicelik özelliklerini inceler (Fishbane vd 2003). Dikey sıçrama yüksekliğini hesaplamının en pratik ve en eski yöntemi Sargent'in (1921) spor bilimleri dünyasına kazandırdığı yöntemidir. Bu yöntemde göre bireyin düz bir duvarın önünde ayakta sabit dururken eliyle erişebildiği nokta ile sıçrayarak erişebildiği en yüksek nokta arasındaki mesafe sıçrama yüksekliği kabul edilir. Yaygın olarak kullanılan bu yöntemi daha pratik hale getirmek için Vertec (Sports Imports, Columbus, OH, ABD) adıyla bilinen bir dikey

sıçrama sehpası geliştirilmiştir. Vertec; boyu ayarlanabilir bir teleskopik demir bara 1,27 cm aralıklar üst üste sıralanmış yatay hareketli plastik çubuklardan oluşur. Dikey sıçrama yapan birey en yüksek noktadaki çubuklara eliyle dokunarak çubukları hareket ettirmeye çalışır (Leard vd 2007). Sargent yöntemi ve Vertec dikey sıçrama sehpası sıçra-eriş testleri olarak tanımlanmaktadır.

Sıçra-eriş testleri bireyin dikey yönlü el konumuna bağlı olduğu için geçerlik ve güvenilirlik sorunu barındırır. Vücut kütle merkezi ise sıçrama yüksekliği ölçümünde konum bilgisine en fazla güvenilebilecek bölgedir. Video kameralarla kaydedilen dikey sıçrama görüntüsü, hareket analizi yazılımları yardımı ile analiz edilir. Hareket analizi yazılımı ile vücut kütle merkezi tespit edilerek konumundaki değişim yani sıçrama yüksekliği hesaplanır (Eşitlik 2.1). Hareket analizi yöntemi dikey sıçrama performans değerlendirmelerinde sunduğu yüksek güvenilirlik ve geçerlik sebebiyle altın standart sistemlerden biri olarak kabul edilir.

$$h = COM_f - COM_i \quad (E.2.1)$$

Eşitlik 2.1'de; h dikey sıçrama yüksekliğini, COM_f sıçrama sırasında vücut kütle merkezinin en yüksek konumunu, COM_i sıçrama öncesi ayakta hareketsiz bekleme anı vücut kütle merkezi konumunu ifade eder.

Dikey sıçrama yüksekliğini hesaplamanın en yaygın yöntemlerinden bir diğeri sıçrama sırasında ayakların yerden kesilmesiyle başlayıp ayakların tekrar yere temasıyla sona eren havada kalma süresi yöntemidir. Bu yöntemde göre; bireyin yerle temasının kesilmesi ile sıçramanın en yüksek noktasına varma zamanı arasında geçen süre toplam havada kalma süresinin yarısına eşit olduğu varsayılır.

$$v_{çıkış} = g \frac{t_{uçuş}}{2} \quad (E.2.2)$$

Eşitlik 2.2'de; $v_{çıkış}$ dikey sıçrama çıkış hızını, g yer çekimi ivmesini ($9,81ms^{-2}$), $t_{uçuş}$ sıçrama anında havada kalma süresini ifade eder.

Sıçramanın en yüksek konumunda bireyin dikey hızı $0 ms^{-1}$ olur. Dolayısıyla sıçrama yüksekliğini bulmak için çıkış hızı ile en yüksek konumdaki hızın ortalaması ve toplam havada kalma süresinin yarısı alınır (Eşitlik 2.3).

$$h = \frac{(v_{çıkış} - v_f)}{2} \frac{t_{uçuş}}{2} \quad (E.2.3)$$

Eşitlik 2.3'te; h dikey sıçrama yüksekliğini, $v_{çıkış}$ çıkış hızını, v_f sıçramanın en yüksek konumundaki hızını (0 ms^{-1}), $t_{uçuş}$ sıçrama anında havada kalma süresini ifade eder.

Dikey sıçrama yüksekliği ölçümü için tasarlanmış pek çok ekipman ve yazılım havada kalma süresi yöntemini kullanır.

Sıçrama matları, mat içine monte edilmiş kuvvete duyarlı sensörler barındırır. Bu sensörler sıçrama sırasında bireyin ayak temasını algılayarak havada kalma süresini tespit eder (Aragon 2000).

Optik algılayıcı sistemler kızılötesi ve lazer sistemlerinden faydalanır. Verici sensörden çıkan farklı frekanstaki sinyallerin kesintiye uğramadan alıcı sensöre iletilmesi gerekir. Dikey sıçramada bireyin ayaklarının zeminle temasına göre alıcı ve verici sensörler arasındaki sinyal kesilme zamanları havada kalma süresinin hesaplanmasını sağlar (Glatthorn vd 2011).

Atalet sensörleri, doğrusal ve rotasyonel hareketleri algılayabilen sistemlerdir. Doğrusal hareketlerin algılanmasında ivmeölçerler, rotasyonel hareketlerin algılanmasında jiroskoplar kullanılır. Dikey sıçrama sırasında farklı segmentlerde gerçekleşen doğrusal ve rotasyonel hareketler atalet sensörleri ile algılanarak havada kalma süresi tespit edilir (Grainger vd 2020).

Son yıllarda mobil teknolojilerdeki ilerleme tablet ve telefon gibi akıllı cihazların yüksek hızda video kaydedebilmesine imkan tanımıştır. Mobil cihazlar için geliştirilen bazı yazılımlar ile dikey sıçrama videosu kaydedilerek hareketin analizi yapılabilmektedir. Yazılımlar, sıçrama sırasında ayağın yerden kesildiği zamanı ve yere iniş zamanını işaretleyerek havada kalma süresinin ölçülmesini sağlamaktadır (Balsalobre-Fernandez vd 2015).

Kuvvet platformu, dikey sıçrama yüksekliği ölçümünde en güvenilir yöntemlerden biridir. Video hareket analiz sistemleriyle birlikte bir diğer altın standart sistem olarak kabul edilir. Kuvvet platformu dikey sıçrama yüksekliğini havada kalma süresi yöntemi kullanarak ölçmek için düşey yönlü kuvvet verisindeki değişimden faydalanır. Kuvvet verisinin belirli bir eşik değer altına düştüğü zaman dilimi havada kalma süresi olarak kabul edilir. Bu eşik değer genellikle 10 Newton olarak kabul edilir.

2.1.2.2. Kinetik yöntemler

Kinetik, cismin hareket durumunu veya cismin yapısını değiştiren sebepleri inceler (Fishbane 2003). Kinetik yöntemler dikey sıçrama sırasında gelişen yerin reaksiyon kuvvetinden faydalanır. Kuvvet platformu 3 eksenle kuvvet verisi toplayabilme özelliği ile dikey sıçrama yüksekliğinin kinetik yöntemlerle hesaplamasında kullanılan en kullanışlı ekipmandır.

Dikey sıçrama yüksekliğini hesaplamada kullanılan iki kinetik yöntemden biri impuls-momentum yöntemidir. Momentum, kütle ve hız değişkenlerine bağlıdır. Bir nesnenin momentumu, nesnenin kütlesi ve hızının çarpımına eşittir. İmpuls (itme), cismin momentumundaki değişimini ifade eder (Eşitlik 2.4 ve 2.5).

$$p = m v \quad (E.2.4)$$

$$J = \int F dt = \Delta p \quad (E.2.5)$$

Eşitlik 2.4'te; p momentumu, m cismin kütlesini, v cismin hızını ifade eder. Eşitlik 2.5'te; J impulsu, F kuvveti, dt zaman aralığını, Δp momentumdaki değişimi ifade eder.

Sıçrama yüksekliğini hesaplayabilmek için bireyin kuvvet platformu üzerinde başlangıç evresi ile yerden ayrılma evresi arasında kaydedilen kuvvet verisinden faydalanılır (Eşitlik 2.6).

$$\int_{t_i}^{t_s} F_{YTK} dt - \int_{t_i}^{t_s} m g dt = J_{YTK} - J_{VA} = m v_{çıkış} \quad (E.2.6)$$

Eşitlik 2.6'da t_i sıçramanın başlangıç evresini, t_s yerden ayrılma evresini, F_{YTK} kuvvet platformu ile kaydedilen kuvvet verisini, dt frekans zaman aralığını, m kütleyi, g yerçekimi ivmesini ($9,81\text{ms}^{-2}$), J_{YTK} yerin tepki kuvvetinden kaynaklı impulsu, J_{VA} sıçrama yapan bireyin vücut ağırlığından kaynaklı impulsu, $v_{çıkış}$ sıçrama anında yerden ayrılış hızını ifade eder.

Dikey sıçrama yüksekliğini hesaplamak için kullanılan ikinci kinetik yöntem iş-enerji teoremi yöntemidir. Bu yöntem, kuvvetin toplam yer değişimine göre integralinin alınması yani vücudun kinetik enerjisindeki değişimine göre hesaplanır (Eşitlik 2.7 ve 2.8).

$$W = \int F dr = \Delta KE \quad (E.2.7)$$

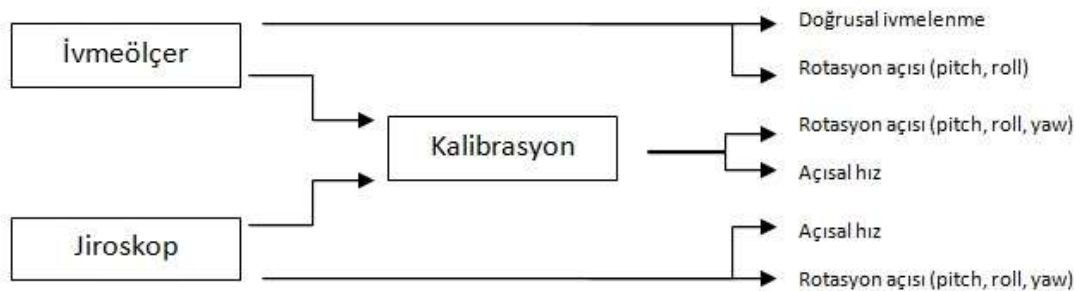
$$\int_{y_i}^{y_s} F_{YTK} dy - \int_{y_i}^{y_s} m g dy = W_{YTK} - W_{VA} = \frac{1}{2} m v_{çıkış}^2 \quad (E.2.8)$$

Eşitlik 2.7’de; W yapılan işi, F kuvveti, dr yer değiştirme miktarını, ΔKE kinetik enerjideki değişimi ifade eder. Eşitlik 2.8’de; y_i sıçramanın başlangıç evresinde vücut ağırlık merkezinin konumunu, y_s yerden ayrılma evresinde ağırlık merkezinin konumunu, F_{YTK} kuvvet platformu ile kaydedilen kuvvet verisini, dy vücut ağırlık merkezinin yer değiştirme miktarını, m kütleyi, g yerçekimi ivmesini ($9,81\text{ms}^{-2}$), W_{YTK} yerin tepki kuvvetinden hesaplanan iş miktarını, W_{VA} vücut ağırlığından hesaplanan iş miktarını, $v_{çıkış}^2$ sıçrama anında yerden ayrılış hızının karesini ifade edere.

2.2. Atalet Sensörleri

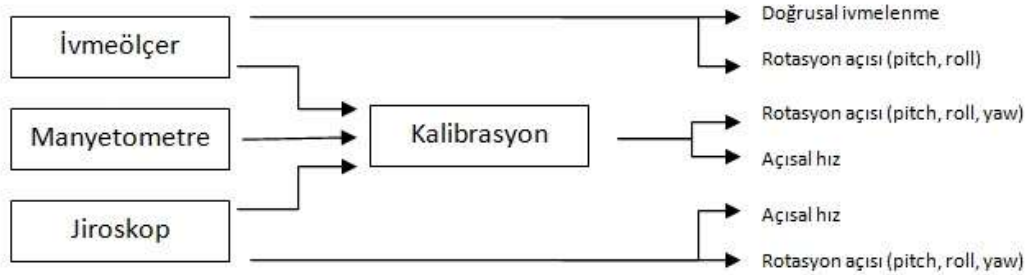
Ataletsel ölçüm birimleri (IMU), kendi 3 boyutlu koordinat sistemlerinde ivme, açısal hız ve manyetik alan ölçümleri yapabilen küçük boyutlu elektronik cihazlardır (Seel vd 2014). 1930’lu yıllarda hava araçlarının yön ve pozisyon bilgilerini elde etmek için kullanımına başlanan atalet sensörlerinin gelişen teknoloji ile birlikte son yıllarda pek çok alanda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Invensense, Honeywell, STMicroelectronics, Microstrain ve X-Sens gibi birçok üretici firma atalet sensörleri tasarımları üzerinde rekabet etmektedir. Bu üreticiler endüstriyel, askeri, robotik, artırılmış gerçeklik, sağlık ve spor gibi alanlarda kullanılan ürünler geliştirmektedir (Ahmad vd 2013).

Atalet ölçüm birimleri, iki tip sensör yapısında üretilmektedir. Birinci tip sensör; İvmeölçer ve Jiroskop birimlerine sahip olan yapıdadır (Resim 2.2).



Resim 2.2 Birinci tip atalet sensörü şeması.

İkinci tip sensör; ivmeölçer, jiroskop ve manyetik alan ölçer birimlerinin kombinasyonundan oluşan yapıdadır (Resim 2.3).



Resim 2.3 İkinci tip atalet sensörü şeması.

Sensör seçimi uygulama alanına göre değişmektedir. Yüksek hassasiyet gerektiren askeri ve robotik uygulamalar ikinci tip sensörleri kullanırken daha az hassasiyet gerektiren spor ve artırılmış gerçeklik uygulamalarında birinci tip atalet sensörleri tercih edilmektedir (Ahmad vd 2013).

2.2.1. İvmeölçer

İvmeölçer, bir objenin hızındaki değişim oranını yani ivmeyi ölçen elektromekanik bir cihazdır. Ölçüm birimi g-kuvveti olarak isimlendirilir. Dünyanın yer çekim kuvveti ile 1g yaklaşık $9,81\text{ms}^{-2}$ şeklinde ölçeklendirilir. İvmeölçerler; titreşimlerin, doğrusal ve rotasyonel hareketlerin algılanmasında kullanılır. Statik ve dinamik kuvvetler ivmeölçerin iç yapısında gerilim değişimine sebep olur. Bu milivolt düzeyindeki gerilim değişimleri sayısal değer olarak elde edilerek g-kuvvetine çevrilir. Statik durumda ivmeölçerin düşey yönlü eksenine etki eden kuvvet yer çekimi kuvvetidir ve yaklaşık 1g sayısal değer elde edilir. Tasarım özelliğine göre bir, iki veya 3 eksenli olarak üretilen ivmeölçerler telefon, tablet, akıllı saat gibi çeşitli cihazlarda yer alarak bu cihazların hareket durumlarına göre işlem yapmalarını sağlar.

2.2.2. Jiroskop

Jiroskop, 3 ayrı eksenle rotasyonel hareketleri algılayabilen bir cihazdır. Jirokoplarda ivmeölçerler gibi mikro düzeyli küçük elektromekanik donanımlı cihazlar olarak imal edilir ve mikro elektromekanik sistemler olarak (MEMS) adlandırılır. Monte edildikleri objenin rotasyonel hareketleri jiroskopun iç yapısında gerilim değişimine sebep olur. Bu gerilim değişimi sayısal veri olarak dışarı verilir. Tüm sayısal veriler

üreticinin teknik dokümanında belirtilen formül ile birlikte açısal değişim hızına dönüştürülür. Elde edilen veri jiroskopun açısal dönüş hızının saniyede kaç derece olduğudur.

2.2.3. Manyetometre

Manyetometre, (Magnometre) manyetik alanın yoğunluğunu ölçmeye yarayan bir araçtır. Manyetometre, ortamdaki demir cevheri oranına göre çalışır. Manyetometrelerin önemli kullanım alanlarından biri de dünyamızın manyetik alanının ölçülmesidir. Dünyanın manyetik alanındaki düzensizliği ile bir manyetometre demir, bakır cevheri gibi metal yeraltı kaynaklarının nerede olduğunu tespit edilebilir.

2.3. Giyilebilir Teknolojiler

Özellikle 2000'li yıllardan sonra teknolojiadaki hızlı ilerleme insanların ilgi ve ihtiyaçlarında da değişikliklere sebep olmuştur. Veri, hayatın her anında ve her ortamda erişilebilir hale gelmiştir. Veri kaynakları ise taşınabilir, her an erişilebilir ve aynı zamanda estetik yönüyle moda ve teknolojinin ortak noktada buluşmasını sağlamıştır (Kılıç 2017). Giyilebilir teknoloji, etrafındaki akıllı cihazlarla kablosuz olarak haberleşebilen, üretiliş amacı doğrultusunda kullanıcıya veri döndüren, vücudun belirli bir bölümünde taşınabilen dijital nesneleri tanımlar. Yüzük, akıllı saat, bilezik, akıllı gözlük gibi nesneler giyilebilir teknoloji ürünlerine örnek verilebilir.

Giyilebilir teknolojiler vücut üzerindeki konumlarına göre gruplandırılabilir.

- Baş bölgesi: Akıllı kasklar, askeri ekipmanlar, eğlence sistemleri
- Göz bölgesi: Akıllı gözlükler, artırılmış gerçeklik ve sanal gözlükler, akıllı lensler
- Kulak bölgesi: İşitme cihazları, akıllı küpeler, akıllı kulaklıklar
- Kol bölgesi: Tıbbi akıllı cihazlar, fiziksel aktivite takip cihazları, akıllı bileklikler, akıllı saatler
- Bacak bölgesi: Akıllı ayakkabılar, koşu analiz ekipmanları, askeri cihazlar
- Gövde bölgesi: Akıllı giysiler, kalp ritmi takip sistemleri, konum takip sistemleri (Yüce vd 2020).

2.4. Hipotez

Araştırmanın hipotezleri şu şekildedir:

1. Bu çalışma kapsamında geliştirilen cihaz ile kuvvet platformundan elde edilen dikey sıçrama hareketi havada kalma süresi verileri arasında ilişki vardır.
2. Dikey sıçrama performansı ölçümünde kullanılan giyilebilir teknoloji özellikli atalet sensörü tabanlı cihazların vücut üzerindeki konumlandırma bölgelerinin sıçrama yüksekliğini hesaplamada etkisi vardır.



3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

3.1. Çalışmanın Evreleri

Bu çalışmada, dikey sıçrama testi performansını değerlendirmek amacıyla giyilebilir teknoloji özellikleri taşıyan bir cihaz geliştirilmiştir. Çalışmada sırasıyla şu evreler takip edilmiştir.

- Planlama Evresi
- Geliştirme Evresi
- Ön Test ve Düzeltme Evresi
- Karşılaştırmalı Test Evresi

3.1.1. Planlama evresi

Geliştirilmesi planlanan dikey sıçrama performansı ölçüm cihazının (DSPC) özelliklerini belirlemek için çalışmaya geniş bir literatür taramasıyla başlanılmıştır. Dikey sıçrama performansını değerlendirmek amacıyla kullanılan mevcut teknolojilerin olumlu ve olumsuz yönleri tespit edilmiştir. DSPC'nin, mevcut teknolojilerin olumsuz yönlerini ortadan kaldıran veya en aza indiren nitelikte olması hedeflenmiştir. Literatür taraması sonucunda elde edilen bilgilere göre DSPC'nin şu özellikleri barındırması kararlaştırılmıştır.

- Düşük maliyetli
- Taşınabilir
- Kolay kullanılabilir
- Hem laboratuvar hem saha koşullarında kullanılabilir

Dikey sıçramanın balistik yapısı bazı vücut segmentlerinde ani doğrusal ve rotasyonel hareketlere sebep olmaktadır. Özellikle sıçramanın yerden ayrılma ve yere inme evresinde ayak bileğindeki açısal değişim ve ağırlık merkezindeki doğrusal ivmelenmeden kaynaklanan keskin hareketlerin bireyin havada kalma süresini ölçmede

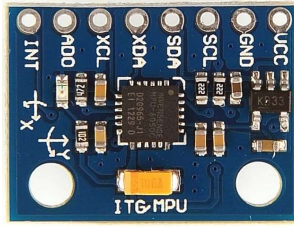
kullanılabileceği düşünülmüştür. Bu noktadan hareketle geliştirilecek cihazın atalet sensörü tabanlı olması ve dikey sıçrama yüksekliğini ölçmek için havada kalma süresi yöntemini kullanması kararlaştırılmıştır. Atalet sensörlerinin doğrusal ve rotasyonel hareketleri yüksek örneklem frekanslarında algılama özelliği, maliyetinin düşük olması ve oldukça küçük yapıları bu tercihte etkili olmuştur. Planlama sonucunda DSPC'nin şu donanımsal özellikleri taşıması hedeflenmiştir.

- Atalet sensörü tabanlı
- Kablosuz haberleşme
- Şarj edilebilir batarya
- Düşük güç tüketimi ile uzun süre kullanım

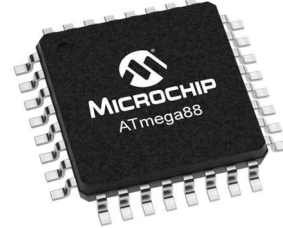
3.1.2. Geliştirme evresi

Geliştirme evresi, DSPC için donanım ve yazılım birimlerinin bu çalışma kapsamında tasarlanması ve geliştirilmesini içermektedir. Donanım biriminde; mikrodenetleyici, atalet sensörü, kablosuz iletişim modülü ve çeşitli elektronik devre elemanları (regülatör, kapasitör, direnç, led) yer almaktadır. Ayrıca donanım birimine ait elektronik bileşenleri bir arada tutan yeni ve özgün bir elektronik devre kartı tasarımı yapılmıştır. DSPC için iki ayrı yazılım geliştirilmiştir. Birinci yazılım; DSPC'nin mikrodenetleyici elemanı için geliştirilmiştir ve donanım birimlerinin idaresi, veri alışverişi ve dikey sıçrama algılama algoritmasında kullanılan C programlama dili kodlarını barındırır. İkinci yazılım; DSPC'nin ölçümlere ait verileri kullanıcıya sunmak için haberleşebileceği bir mobil yazılımdır. İkinci yazılım, android işletim sistemine sahip akıllı cihazlarda (cep telefonu, tablet) çalışabilecek yapıda Qt5-C++ programlama dili ile tasarlanmıştır. DSPC'nin geliştirme aşamasında ihtiyaç duyulan elektronik bileşenler ve gerekli ekipmanlar Türkiye içinde faaliyet gösteren elektronik parça satışı yapan firmalardan tedarik edilmiştir.

Hareket algılamada kullanılacak atalet sensörü olarak Invensense (San Jose, Kaliforniya, ABD) firması tarafından üretilen MPU6050 tercih edilmiştir. Bu sensör; 3 eksen ivmeölçer ve 3 eksen jiroskop özelliği olan, düşük güç tüketimi ve düşük maliyeti ile elektronik sektöründe pek çok alanda tercih edilmektedir. Geliştirme aşamasında kolay prototipleme amacıyla üzerinde MPU6050 barındıran GY-521 kartı kullanılmıştır (Resim 3.1).

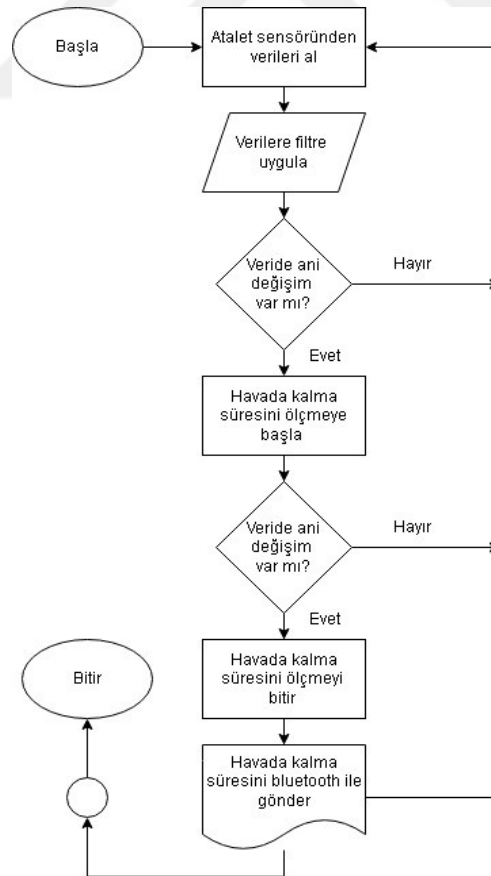


Resim 3.1 GY-521 atalet sensörü.



Resim 3.2 Atmega88 mikrodnetleyici.

MPU6050'den gelen verilerin işlenerek hareketlerin algılanabilmesi için programlanabilir bir mikrodnetleyici elemana ihtiyaç duyulur. Sistemin çalışma ve idaresinden sorumlu olacak mikrodnetleyici eleman olarak Atmel (Microchip, San Jose, Kaliforniya, ABD) firmasına ait Atmega88 tercih edilmiştir (Resim 3.2). Atmega88; 8 kB program belleği, 1 kB RAM ve 8 Bit veri yolu özellikleri ile sistem için yeterli görülmüştür. Mikrodnetleyici ile GY-521 kartından hareket verilerini almak için I2C (I^2C) protokolü kullanılmıştır. I2C haberleşmesi, SDA ve SCL pinleri üzerinden 400 Kilohertz hızında gerçekleştirilmiştir. Verilerin GY-521 kartından alınması ve sıçrama hareketinin tespit edilmesine ait algoritma mantığı Resim 3.3'te akış diyagramı ile gösterilmiştir.



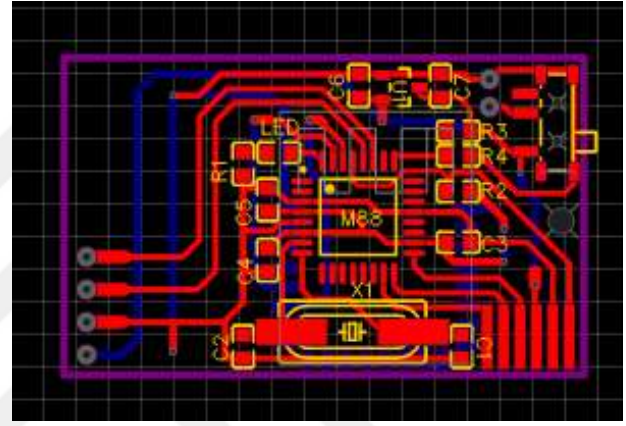
Resim 3.3 Dikey sıçrama hareketi algılama akış diyagramı.

Dikey sıçrama testlerinde havada kalma süresi milisaniyeler ile ifade edilir. Sıçrama yüksekliğinin doğru ölçülebilmesi için mikrodenetleyicinin zaman sayacının stabil çalışması gereklidir. Cihazın zaman ölçüm hassasiyeti için devreye 8 Mhz değerinde dış kristal bağlanmıştır.

Cihazın dış dünya ile kablosuz iletişimi için JDY-08 (Shenzhen, Çin) bluetooth modülü kullanılmıştır (Resim 3.3). JDY-08 bluetooth 4.0 özellikli düşük güç tüketimine sahip istikrarlı çalışan bir kablosuz iletişim modülüdür. Cihaz ile elde edilen havada kalma süresi verisi mobil yazılıma bluetooth aracılığı ile 9600 baud rate hızında iletilmiştir.



Resim 3.4 JDY-08 bluetooth modülü.



Resim 3.5 Prototip cihaz devre tasarımı.

Donanım birimini oluşturan elektronik devre kartının tasarımı için EasyEDA devre kartı tasarım programı kullanılmıştır. Devre kartı iki katmanlı olarak tasarlanmıştır (Resim 3.4). Lazer yazıcı ile bilgisayardan çıktı alınan kart çizimi çift taraflı bakır plakete üzerine aktararak hidrojen peroksit + tuz ruhu karışımından elde edilen asitte bekletilmiştir. Asit, tonersiz bakır yüzeyleri eriterek veri yollarının ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Elde edilen kart üzerine elektronik bileşenler lehimlenerek cihazın kart tasarımı tamamlanmıştır. Cihaz, şarj edilebilir bir 3,7 volt bataryadan gelen gerilim 3 volta regüle edilerek beslenmiştir. Kartı dış etkilerden korumak için 3 boyutlu yazıcı ile plastik bir kasa üretilmiş ve kart kasaya monte edilmiştir.



Resim 3.6 DSPC'nin devre kartı.



Resim 3.7 Mobil uygulama arayüzü.

3.1.3. Ön test ve düzeltme evresi

Bu aşamada cihazın atalet sensöründen elde ettiği verileri eksiksiz bir şekilde bluetooth aracılığıyla cep telefonuna aktarıp aktaramadığına dair testler yapılmıştır. Verilerin herhangi bir kayba uğramadan bluetooth ile cep telefonuna aktarım yapılabildiği gözlenmiştir. Çalışma boyunca geliştirilen farklı prototipler ile cihazın ergonomisine dikkat ederek boyutu ve ağırlığı düşürülmeye çalışılmıştır.

3.1.4. Karşılaştırmalı test evresi

Cihaz üzerindeki veri iletim sorunlarının giderilmesinin ardından kriter cihaz olan kuvvet platformu ile uyumu kontrol edilmiştir. Her iki cihazdan elde edilen havada kalma süreleri karşılaştırılmıştır.

3.2. Araştırma Grubu

Çalışmaya, Pamukkale Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesinde öğrenim gören 10 gönüllü öğrenci katılmıştır (Tablo 3.1). Gönüllülerin aktif sıçrama yapabilmesine engel bir sakatlık durumunun olmaması, çalışmaya katılabilme ön şartı olarak aranmıştır. Çalışma Helsinki Deklarasyonu'na uygun şekilde hazırlanmış ve Pamukkale Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırma Etik Kurulundan etik kurul izni alınmıştır (16.02.2021 tarih ve 04 sayılı kurul toplantı kararı, E-60116787-020-23373).

Tablo 3.1 Çalışmaya katılan gönüllülerin demografik özellikleri.

(n = 10)	Ortalama	Standart sapma
Yaş (yıl)	19,05	0,4
Boy (cm)	175,32	5,32
Vücut Ağırlığı (kg)	65,54	6,33

3.3. Veri Toplama Araçları

3.3.1. Boy uzunluğu ve vücut ağırlığı ölçümleri

Çalışmaya katılan sporcuların boy uzunlukları hassasiyeti $\pm 0,001$ m ve vücut ağırlıkları hassasiyeti ± 0.05 kg olan stadiometre (SECA 284, GmbH-Almanya) ile ölçülmüştür.

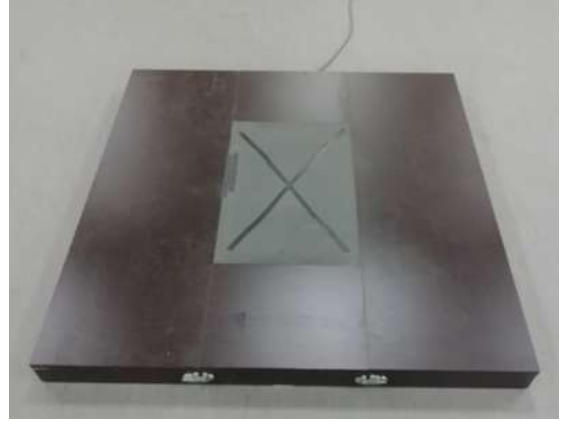
3.3.2. Dikey sıçrama performansı ölçüm cihazı

Geliştirilen prototip cihaz; 25 gr ağırlığında, 40x28x10 mm ebatlarındadır (Resim 3.7). Bluetooth 4.0 kablosuz haberleşme özelliğine ve 1000 Hz örneklem hızına sahiptir. 85 mA 3,7 volt şarj edilebilir batarya ile beslenen cihazın 20 mA akım çekerek tek şarj ile yaklaşık 4 saat çalıştığı test edilmiştir. Cihazın, hafif ve küçük yapısı ile sıçrama sırasında vücudun farklı bölgelerine yerleştirildiğinde rahatsızlık uyandırmadığı görülmüştür.

DSPC ile havada kalma süresini tespit edebilmek için MPU6050 den alınan ham verilerden faydalanılmıştır. Ham verilere 98 Hz kesme frekansı ile alçak geçiren filtre uygulanarak verideki gürültü azaltılmıştır. Filtrelenen veriler mikrodenetleyici için yazılan kod içindeki algoritma ile sıçramanın tespit edilmesi ve havada kalma süresinin ölçülmesinde kullanılmıştır.



Resim 3.8 DSPC.



Resim 3.9 Kuvvet Platformu.

3.3.3. Kuvvet platformu

Kriter cihaz olarak Pamukkale Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi performans laboratuvarında bulunan Bertec (FP4060-10, Columbus, ABD) marka kuvvet platformu kullanılmıştır (Resim 3.8). 1000 Hz örneklem hızına sahip olan bu cihaz 400x600x10 mm ölçülerindedir. Üzerine uygulanan kuvvet ile birlikte değişen gerilim değerini ölçmek için bir analog güçlendirici (AM6504 amplifikatör), analog verileri sayısal verilere dönüştürmek içinde analog sayısal dönüştürücü kart (Advantech) ve bir bilgisayar kuvvet platformu sistemini oluşturmaktadır.

Kuvvet platformu ile havada kalma süresini ölçebilmek için bilgisayara aktararak kuvvet verileri Matlab programı yardımıyla kaydedilmiştir. Kaydedilen kuvvet verilerinden havada kalma süresini tespit edebilmek için literatürle uyumlu olarak 10 newton eşiği kullanılmıştır. Bu eşik değeri altında gelen verilerin ayakların kuvvet platformu ile temas etmediği zaman dilimi olduğu varsayılmıştır.

3.4. Verilerin Toplanması

Ölçümler, Pamukkale Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi performans laboratuvarında gerçekleştirilmiş ve 2 gün sürmüştür. Birinci gün, boy uzunluğu ve vücut ağırlığı ölçümleri yapılmış, ölçüm prosedürü hakkında bilgi verilmiştir. İkinci gün, çalışmaya katılan her gönüllü öğrenciden DSPC'nin 4 ayrı yerleşim bölgesi için 10'ar adet (bir öğrenci her bir bölge için 10 adet sıçrama), toplamda 40 adet aktif sıçrama yapması istenmiştir. Sıçramalar öncesinde tüm gönüllülerin dahil olduğu 5 dakika koşu, 5 dakika kısa sprintleri takiben 5 tekrarlı aktif sıçrama ve yön değiştirmeli koşulardan oluşan ısınma prosedürü gerçekleştirilmiştir.

Ölçümlerde DSPC ve kuvvet platformundan eş zamanlı olarak elde edilen havada kalma süreleri milisaniye cinsinden kaydedilmiştir. DSPC sıçramalar sırasında gönüllünün farklı bölgelerine yerleştirilerek kuvvet platformu ile en iyi uyumu hangi bölgede sağlayacağı tespit edilmeye çalışılmıştır.

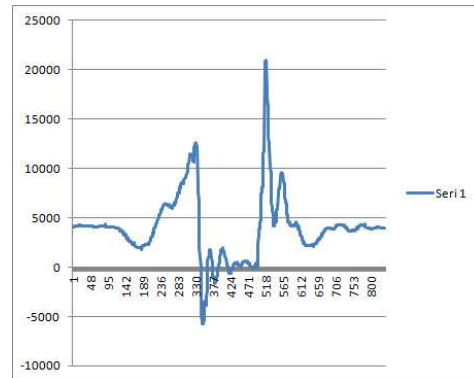
3.4.1. Dikey sıçrama performansı ölçüm cihazının yerleşim bölgesi

DSPC dikey sıçrama testlerinde bireye ait şu dört bölgeye yerleştirilerek aktif sıçrama ile test edilmiştir.

- **1. Bölge:** Cihaz, dikey sıçrama yapan bireyin ağırlık merkezine yakın bir bölge olan bel bölgesine, şort veya eşofman gibi giyim malzemelerinin kemer kısmına X eksen dikey doğrultuda olacak şekilde yerleştirilmiştir (Resim 3.10). Yapılan literatür taramasında, çalışmalarda muadil cihazların da bu bölgeye yerleştirildiği görülmüştür. Bu bölgede sıçrama anında kalça fleksiyon ve ekstensiyona bağlı açısal değişim ayrıca sıçramanın devamında dikey yönlü doğrusal ivmelenme gerçekleşmektedir. Doğrusal ivmelenme verilerinin açısal değişim verilerinden daha belirgin olması sebebiyle havada kalma süresinin ölçülebilmesi için X ekseninde gerçekleşen doğrusal ivmelenme verileri kullanılmıştır. Resim 3.11'de DSPC'den bir aktif sıçrama sırasında elde edilen ivme grafiği görülmektedir.



Resim 3.10 1. Bölge yerleşimi.



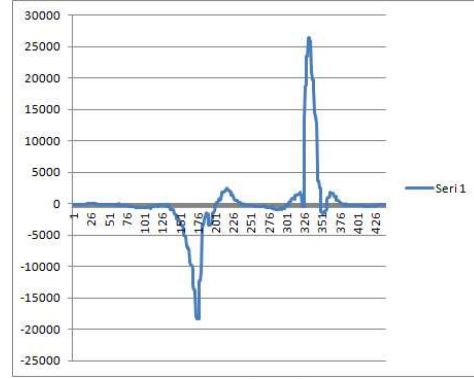
Resim 3.11 1. Bölge ivmeölçer verisi.

- **2. Bölge:** Cihaz, dikey sıçrama yapan bireyin ayakkabısının bağcığına X eksen ayak ucunu gösterecek şekilde yerleştirilmiştir (Resim 3.12). Bu bölgede havada kalma süresinin ölçülebilmesi için dikey sıçramanın yerden ayrılma ve yere inme evresinde ayakta meydana gelen plantar fleksiyon ve dorsal fleksiyon hareketlerinin sebep olduğu açısal değişimden faydalanılmaya çalışılmıştır.

Sıçrama algılama algoritması Y ekseninde gerçekleşen açısal değişim hızına bağlı olarak düzenlenmiştir. Resim 3.13'te DSPC'den bir aktif sıçrama sırasında elde edilen açısal değişim hızı grafiği görülmektedir.



Resim 3.12 2. Bölge yerleşimi.

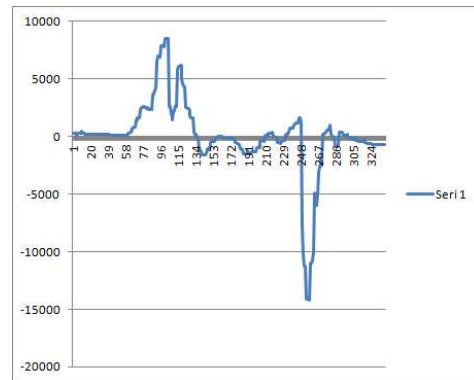


Resim 3.13 2. Bölge jiroskop verisi.

- **3. Bölge:** Cihaz, dikey sıçrama yapan bireyin ayakkabısının arka fileto tabir edilen bölgesine X eksenini düşey doğrultuda olacak şekilde yerleştirilmiştir (Resim 3.14). Bu bölgede havada kalma süresinin ölçülebilmesi için dikey sıçramanın yerden ayrılma ve yere inme evresinde ayakta meydana gelen plantar fleksiyon ve dorsal fleksiyon hareketlerinin sebep olduğu açısal değişimden faydalanılmaya çalışılmıştır. Sıçrama algılama algoritması Y ekseninde gerçekleşen açısal değişim hızına bağlı olarak düzenlenmiştir. Resim 3.15'te DSPC'den bir aktif sıçrama sırasında elde edilen açısal değişim hızı grafiği görülmektedir.



Resim 3.14 3. Bölge yerleşim bölgesi.

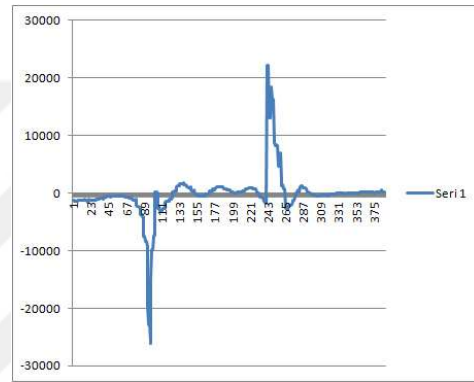


Resim 3.15 3. Bölge jiroskop verisi.

- **4. Bölge:** Cihaz, dikey sıçrama yapan bireyin ayakkabısının burun tabir edilen bölgesine X eksenini ayak ucunu gösterecek şekilde elastik kauçuk bir aparat yardımı ile yerleştirilmiştir (Resim 3.16). Bu bölgede havada kalma süresinin ölçülebilmesi için dikey sıçramanın yerden ayrılma ve yere inme evresinde ayakta meydana gelen plantar fleksiyon ve dorsal fleksiyon hareketlerinin sebep olduğu açısal değişimden faydalanılmaya çalışılmıştır. Sıçrama algılama algoritması Y ekseninde gerçekleşen açısal değişim hızına bağlı olarak düzenlenmiştir. Resim 3.17’de DSPC’den bir aktif sıçrama sırasında elde edilen açısal değişim hızı grafiği görülmektedir.



Resim 3.16 4. Bölge yerleşimi.



Resim 3.17 4. Bölge jiroskop verisi.

3.4.2. Dikey sıçrama testi

DSPC ile kuvvet platformu sonuçlarının karşılaştırılması için dikey sıçrama testlerinden kollar salınımlı aktif sıçrama protokolü tercih edilmiştir. DSPC’nin yerleştirildiği her bir yerleşim bölgesinde 100’er adet aktif sıçrama gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.18 Aktif sıçrama testi.

3.5. Verilerin Analizi

Dikey sıçrama testleri sonucunda her iki cihazdan elde edilen havada kalma sürelerine ait verilerin ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. DSPC'nin her bir yerleşim bölgesinde elde edilen havada kalma süreleri ve kuvvet platformu ile elde edilen havada kalma süreleri arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı kullanılarak incelenmiştir. Etki büyüklüğünü gözlemlemek için Cohen hesaplama yöntemi ile d değeri hesaplanmıştır. Her iki cihazdan elde edilen havada kalma süresi ortalamaları arasındaki farkın önem düzeyi için Cohen d değeri 0,2 den küçük ise çok zayıf, 0,2 - 0,49 arası ise zayıf, 0,5 - 0,79 arası ise orta ve 0,8 ve üzeri ise kuvvetli olarak kabul edilmiştir. DSPC'den elde edilen verilerin kuvvet platformundan elde edilen verilere yakınlığı Bland-Altman uyum sınırlarına göre %95 güven aralığında değerlendirilmiştir. Verilerin istatistiksel değerlendirmesi SPSS 21.0 paket programında yapılmıştır. Tüm analizlerde istatistiksel anlamlılık düzeyi 0,05 olarak belirlenmiştir.

4. BULGULAR

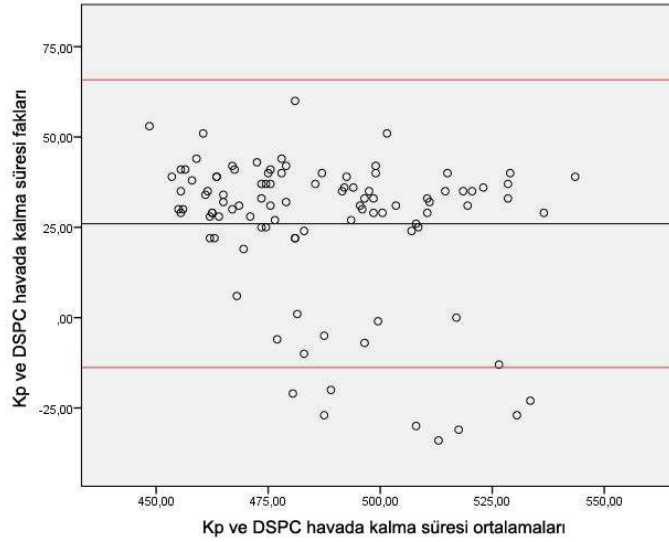
Kuvvet platformu ve bu çalışma kapsamında geliştirilen DSPC'den eşzamanlı olarak elde edilen dikey sıçrama hareketi havada kalma süresi verilerinin istatistiksel tanımlamaları ve karşılaştırmaları tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. DSPC'den 4 ayrı yerleşim bölgesinde elde edilen veriler birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4.1, DSPC'nin 1. bölge olan bel bölgesine yerleştirilmiş halde yapılan dikey sıçramaya ait veri ve istatistik sonuçlarını göstermektedir. İki cihazdan elde edilen sonuçlar arasında 0,692'lik yüksek korelasyon değeri görünse de 1,03'lük Cohen d değeri ortalamalar arasındaki farkın çok büyük olduğunu ortaya koymaktadır. Bland-Altman uyum sınırları prototip cihazın havada kalma süresini kuvvet platformuna göre %95 ihtimalle -13,8 ms ile 65,8 ms arasında farkla ölçeceğini göstermektedir.

Tablo 4.1 DSPC'den 1. bölgede ölçülen dikey sıçrama havada kalma süresi verileri.

	Kuvvet Platformu	DSPC
Ortalama $\pm$ SS (ms)	499,9 $\pm$ 22,4	473,9 $\pm$ 27,8
Veri aralığı (ms)	470 – 563	422 – 545
Pearson r		0,692
Cohen d		1,03
Bland-Altman alt ve üst sınırı (ms)		-13,8 – 65,8

p < 0.05, n = 100



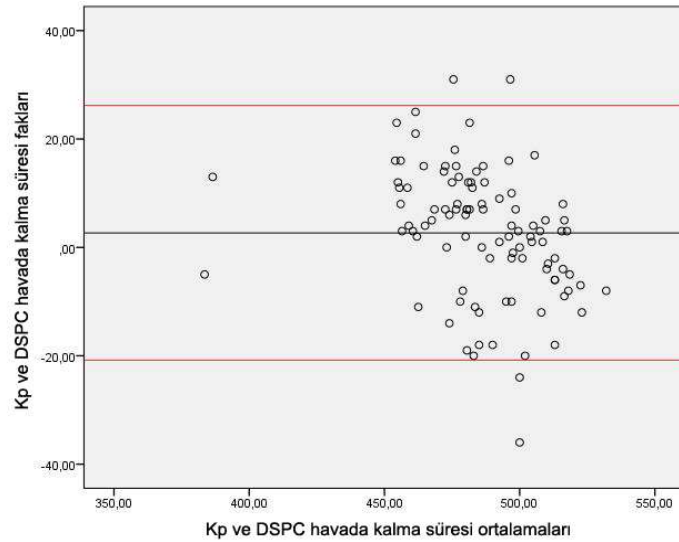
Şekil 4.1 Kuvvet platformu (Kp) ve DSPC 1. Bölge Bland-Altman grafiği.

Tablo 4.2, DSPC'nin 2. bölge olan ayakkabı bağcığı bölgesine yerleştirilmiş halde yapılan dikey sıçramaya ait veri ve istatistik sonuçlarını göstermektedir. 0,895'lik korelasyon değeri iki cihaz verileri arasında çok yüksek ilişki ve 0,11'lik Cohen d değeri ortalamalar arasındaki farkın çok küçük olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bölgede elde edilen ölçüm sonuçlarına ait istatistiki veriler iki cihazın yakın sonuçlar sergilediğini gösterse de Bland-Altman uyum sınırları DSPC'nin hata sınırlarının geniş bir aralıkta yer aldığını ortaya koymuştur. Bland-Altman analiz sonuçları DSPC'nin havada kalma süresini kuvvet platformuna göre %95 ihtimalle -20,8 ms ile 26,2 ms arasında farkla ölçeceğini göstermektedir.

Tablo 4.2 DSPC'den 2. bölgede ölçülen dikey sıçrama havada kalma süresi verileri.

	Kuvvet Platformu	DSPC
Ortalama $\pm$ SS (ms)	487,4 $\pm$ 22,8	484,8 $\pm$ 26,7
Veri aralığı (ms)	381 – 528	380 – 536
Pearson r		0,895
Cohen d		0,11
Bland-Altman alt ve üst sınırı (ms)		-20,8 – 26,2

p < 0.05, n = 100



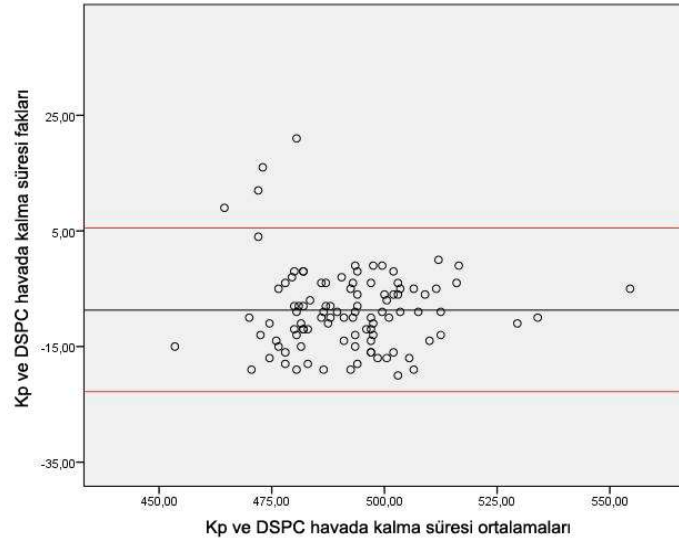
Şekil 4.2 Kuvvet platformu (Kp) ve DSPC 2. bölge Bland-Altman grafiği.

Tablo 4.3, DSPC'nin 3. bölge olan ayakkabı fileto bölgesine yerleştirilmiş halde yapılan dikey sıçramaya ait veri ve istatistik sonuçlarını göstermektedir. İki cihazdan elde edilen sonuçlar arasında 0,890'lık çok yüksek korelasyon ve 0,56'lık Cohen d değeri ortalamalar arasındaki farkın orta düzey olduğunu ortaya koymaktadır. Bland-Altman uyum sınırları DSPC'nin havada kalma süresini kuvvet platformuna göre %95 ihtimalle -22,8 ms ile 5,5 ms arasında fazla ölçeceğini göstermektedir.

Tablo 4.3 DSPC'den 2. bölgede ölçülen dikey sıçrama havada kalma süresi verileri.

	Kuvvet Platformu	DSPC
Ortalama $\pm$ SS (ms)	487,7 $\pm$ 15,2	496,4 $\pm$ 15,6
Veri aralığı (ms)	446 – 552	460 – 557
Pearson r		0,890
Cohen d		0,56
Bland-Altman alt ve üst sınırı (ms)		-22,8 – 5,5

p < 0.05, n = 100



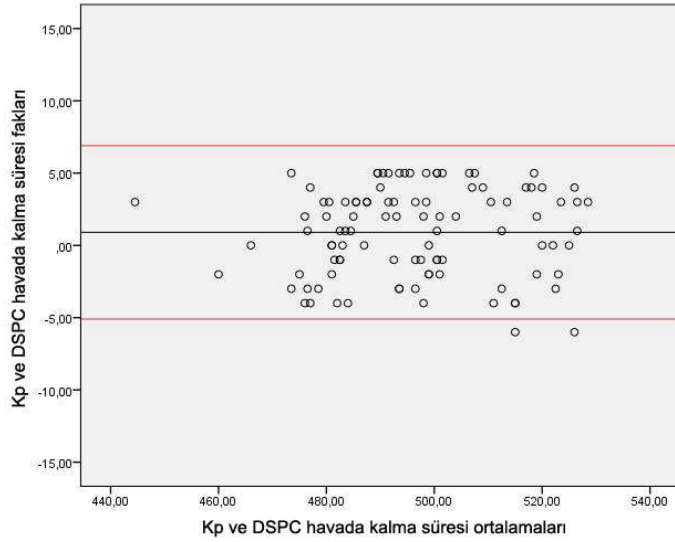
Şekil 4.3 Kuvvet platformu (Kp) ve DSPC 3. bölge Bland-Altman grafiği.

Tablo 4.4, DSPC'nin 4. bölge olan ayakkabı burun bölgesine yerleştirilmiş halde yapılan dikey sıçramaya ait veri ve istatistik sonuçlarını göstermektedir. İki cihazdan elde edilen sonuçlar arasında 0,984'lik çok yüksek korelasyon ve 0,06'lik Cohen d değeri ortalamalar arasındaki farkın çok küçük olduğunu ortaya koymaktadır. Bland-Altman uyum sınırları DSPC'nin havada kalma süresini kuvvet platformuna göre %95 ihtimalle -5,1 ms ile 6,9 ms arasında farkla ölçeceğini göstermektedir.

Tablo 4.4 DSPC'den 4. bölgede ölçülen dikey sıçrama havada kalma süresi verileri.

	Kuvvet Platformu	DSPC
Ortalama $\pm$ SS (ms)	496,9 $\pm$ 17,0	496,0 $\pm$ 17,0
Veri aralığı (ms)	446 – 530	443 – 529
Pearson r		0,984
Cohen d		0,06
Bland-Altman alt ve üst sınırı (ms)		-5,1 – 6,9

p < 0.05, n = 100



Şekil 4.4 Kuvvet platformu (Kp) ve DSPC 4. bölge Bland-Altman grafiği.

İki cihaz arasındaki uyumun daha detaylı incelenebilmesi amacıyla istatistiksel değerlendirmeler milisaniye düzeyinde havada kalma süresi üzerinden yapılmıştır. Tablo 4.5, DSPC'nin farklı yerleşim bölgelerinde elde edilen havada kalma süresinin kinematik eşitlik ile sıçrama yüksekliğine dönüştürülmüş sonuçlarını metrik olarak göstermektedir.

Tablo 4.5 dikey sıçrama yükseklikleri açısından kuvvet platformu ile DSPC arasındaki en büyük farkın 1. bölge olduğunu göstermektedir. Ortalama 3,1 cm sistematik farkın yanında bu farkın %95 ihtimalle -1,7 cm ile 8,1 cm arasında değişeceği istatistiksel olarak hesaplanmıştır. 2. bölgede ortalama 0,4 cm sistematik farka rağmen alt ve üst limitler -2,3 cm ile 3,3 cm olarak hesaplanmıştır. 3. bölgede DSPC'nin kuvvet platformuna göre sıçrama yüksekliğini fazla ölçtüğü görülmüştür. Ortalama -1,1 cm sistematik fark ile birlikte alt ve üst limitler -2,7 cm ve 0,7 cm olarak hesaplanmıştır. 4. bölgede kuvvet platformunu ile DSPC arasındaki sistematik farkın 0,1 cm ve muhtemel ölçüm farkının -0,6 cm ile 0,8 cm arasında değişeceği istatistiksel olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.5 Farklı yerleşim bölgelerinde elde edilen sıçrama yükseği ortalama ve farkları.

	Kuvvet platformu (cm)	Prototip cihaz (cm)	Sistematiik fark (cm)	Bland-Altman alt ve üst limitleri (cm)
1. Bölge	30,7	27,6	3,1	-1,7 – 8,1
2. Bölge	29,1	28,7	0,4	-2,3 – 3,3
3. Bölge	29,1	30,2	-1,1	-2,7 – 0,7
4. Bölge	30,3	30,2	0,1	-0,6 – 0,8

n = 100



5. TARTIŞMA

Bu çalışmada dikey sıçrama performansını ölçmek amacıyla giyilebilir bir cihaz tasarlanmıştır. Tasarlanan dikey sıçrama performansı ölçüm cihazıyla (DSPC) ölçülen dikey sıçrama verileri kuvvet platformu ile eşzamanlı olarak ölçülen sıçrama verileri ile karşılaştırılmıştır. DSPC'den elde edilen verilerin kuvvet platformundan elde edilen verilere benzer sonuç verdiği bölgeyi tespit edebilmek için DSPC 4 ayrı vücut bölgesinde konumlandırılarak test edilmiştir. DSPC ve kuvvet platformundan ölçülen havada kalma süresi verileri incelendiğinde, iki ölçüm arasındaki farkın en küçük olduğu bölgenin 4. bölge (ayakkabı burunu) olduğu gözlemlenmiştir.

DSPC'nin yerleştirildiği 1. bölge, bireyin ağırlık merkezine yakın bir bölge olan bel bölgesi, şort veya eşofman gibi giyim malzemelerinin kemer kısmı olarak belirlenmiştir. DSPC 1. bölgeye yerleştirilmiş halde kuvvet platformu üzerinde dikey sıçrama gerçekleştirilerek iki cihaz ile eş zamanlı olarak bireyin havada kalma süresini ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları, DSPC'nin bu bölgede havada kalma süresini kuvvet platformuna oranla ortalama $26 \pm 20,3$ ms, metrik olarak ise ortalama 3,1 cm eksik hesapladığını göstermektedir. %95 güven aralığında hesaplanan Bland-Altman uyum sınırları iki cihaz arasındaki dikey sıçrama yüksekliği ölçüm farkının -1,7 ile 8,1 cm değerleri arasında değişeceğini ortaya koymuştur. DSPC'nin ölçüm sonuçlarını eksik hesaplaması, dikey sıçrama hareketi sırasında ayağın yerden kesilme zamanının ve iniş sırasında ayağın yerle temas zamanının atalet sensörü tarafından geç algılanmasından kaynaklanmıştır. Cihaz yazılımında yapılan düzenlemeler ile sıçrama yakalama algoritmasında hem ivmeölçer hem de jiroskop verileri denenmiştir. Jiroskop ile havada kalma süresini hesaplamak için kalçada gerçekleşen fleksiyon hareketinin sebep olduğu açısal değişimden faydalanılmıştır. İvmeölçer ile havada kalma süresini hesaplamak için ise dikey sıçramada yerden ayrılma ve yere iniş anlarında meydana gelen titreşimlerden faydalanılmıştır. Açısal değişime bağlı olarak jiroskop ile elde edilen havada kalma süresi verilerinin kuvvet platformu ile ölçülen verilerden oldukça farklı olduğu görülmüştür. İvmeölçer ile elde edilen havada kalma süresi verileri ise jiroskoptan elde edilen verilere oranla kuvvet platformu verilerine daha yakın değerler

olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle sıçramanın yere iniş evresinde ayakların yerle temas anında dikey doğrultuda gerçekleşen titreşimin ivmeölçer ile daha kolay tespit edildiği görülmüştür. Bunun yanında, sıçramanın yerden ayrılma evresinde ayakların yerle temasının kesilme zamanını ivmeölçerin geç algıladığı görülmüştür. Algılamadaki bu gecikmeler DSPC'nin havada kalma süresini kuvvet platformuna göre eksik ölçmesine sebep olmuştur.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde atalet sensörü tabanlı muadil cihazların bel bölgesine elde edilen dikey sıçrama performans sonuçlarının kuvvet platformundan farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Castagna ve arkadaşları (2013) kuvvet platformu ve Myotest cihazından aldıkları dikey sıçrama performansı sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada Myotest cihazının sıçrama yüksekliğini kuvvet platformundan ortalama $3,1 \pm 2,1$ cm fazla ölçtüğü belirtilmiştir. Benzer bir çalışmada Mauch ve arkadaşları (2017) Myotest cihazının sıçrama yüksekliğini kuvvet platformundan ortalama $4,4 \pm 2,6$ cm fazla ölçtüğünü belirtmişlerdir. McMaster ve arkadaşları (2020) Push Band 2.0 cihazı ile kuvvet platformunu karşılaştırdıkları çalışmada Push Band 2.0'in sıçrama yüksekliğini $6,0 \pm 0,02$ cm fazla ölçtüğünü gözlemlemişlerdir. Brooks ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada Vert atalet sensör tabanlı cihaz ile kuvvet platformu kullanarak elde edilen dikey sıçrama yüksekliği değerlerini karşılaştırmışlar ve Vert cihazının ortalama $10,7$ cm fazla ölçtüğünü belirtmişlerdir. Atalet sensörü tabanlı cihazlar ile kuvvet platformunun dikey sıçrama yüksekliği değerleri açısından ölçüm farklarının iki sebepten dolayı farklı çıktığı düşünülmüştür. Bel bölgesine konumlandırılan cihazların sıçrama sırasında kuvvet platformuyla ayak temasının kesildiği anı algılayamaması birinci sebep olarak görülmüştür. İkinci sebep olarak ise cihaz geliştiricilerinin sıçrama yüksekliği hesaplama sonucuna eklediği fazladan değer olduğu düşünülmüştür. Brooks ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Vert cihazının sıçrama yüksekliğini kuvvet platformundan ortalama $10,7$ cm fazla ölçmesi Whitmer'in (2015) çalışmasında belirttiği gibi cihazın algoritmasına eklenen $+100$ ms fazla değerden kaynaklandığı düşünülebilir. Eklenen fazla değer ile birlikte cihaz tarafından ölçülen sıçrama yüksekliğinin kuvvet platformu ile değil 3B hareket analizi sistemi ile elde edilen sıçrama yüksekliğine benzer sonuç elde edilmesi amaçlandığı düşünülmektedir.

DSPC'nin yerleştirildiği 2. bölge, dikey sıçrama yapan bireyin ayakkabı bağcığı olarak belirlenmiştir. DSPC, ayakkabı bağcığına bir klips ile tutturulmuştur. Bu bölgenin tercih edilme sebebi, dikey sıçrama sırasında ayak bileğinde meydana gelen açısız değişimlerden faydalanmak olmuştur. Dikey sıçramanın yerden ayrılma evresinde ayakta oluşan plantarfleksiyon ve yere inme evresinde ayakta oluşan dorsifleksiyon DSPC'nin sıçrama yakalama algoritmasında jiroskop verileri ile tespit edilmiştir. Bu

bölgede DSPC ile kuvvet platformunun havada kalma süreleri açısından ortalama 2,7 ms gibi oldukça küçük bir fark ölçülmüştür. Ortalama farkın küçük olmasına rağmen $\pm 11,9$ ms standart sapma değeri iki cihazın ölçüm sonuçlarının yaygınlığını ortaya koymaktadır. Sıçrama yüksekliği verilerinin Bland-Altman uyum sınırlarına göre -2,3 cm ile 3,3 cm olarak hesaplanması iki cihaz arasındaki ölçüm farkının muhtemel aralığını belirtmektedir. Bu bölgede iki cihaz arasında ortaya çıkan ölçüm farklarının sebebi DSPC'nin yerleşim yeri olduğu tespit edilmiştir. DSPC'nin, ayakkabı bağcığının ayakkabı burnuna yakın bölgelerine yerleştirilerek yapılan ölçümlerde iki cihazdan elde edilen verilerin benzer olduğu görülmüştür. DSPC'nin, ayakkabı bağcığının ayak bileğine yakın bölgelerine yerleştirilerek yapılan ölçümlerde ise iki cihaz verilerinin ortalama 4 cm'ye kadar farklı ölçüm yaptığı görülmüştür. Yapılan literatür taramasında, atalet sensörü tabanlı dikey sıçrama performansı ölçüm cihazlarından ayakkabı bağcığına konumlandırılmasına rastlanılmamıştır.

DSPC'nin yerleştirildiği 3. bölge, dikey sıçrama yapan bireyin ayakkabısının arka fileto olarak adlandırılan bölgesi olarak belirlenmiştir. DSPC'nin, 2. bölge olan ayakkabı bağcığı bölgesinde konumlandırılma kaynaklı ölçüm farkı sorununu standart bir konumlandırma ile çözmek amacıyla arka fileto bölgesi tercih edilmiştir. Yapılan ölçümlerde DSPC'nin havada kalma süresini kuvvet platformuna göre ortalama $8,69 \pm 7,2$ ms fazla ölçtüğü görülmüştür. Bland-Altman uyum sınırları sıçra yüksekliği değerlerini -2,7 cm ile 0,7 cm olarak hesaplanmıştır. Bu bölgede yapılan ölçümlerde DSPC'nin sıçrama yüksekliğini 3,5 cm'ye kadar farkla fazla hesapladığı sonuçlar görülmüştür. Dikey sıçramanın itme evresinde bireyin topuğunda meydana gelen yükselmeye bağlı olarak ayak bileği açısındaki değişimin DSPC'nin sıçrama algılama algoritmasının erken devreye girmesine sebep olduğu görülmüştür. Sıçrama yapan bireyin ayaklarının kuvvet platformu ile teması devam ederken DSPC'nin havada kalma süresini ölçmeye başlaması iki cihaz arasındaki ölçüm farkının sebebi olarak görülmüştür.

DSPC'nin yerleştirildiği 4. bölge, dikey sıçrama yapan bireyin ayakkabısının burun olarak adlandırılan bölgesi olarak belirlenmiştir. DSPC'nin bu bölgede sabit durabilmesi için elastik kauçuk bir aparat kullanılmıştır. Ölçümler sonucunda her iki cihaz arasında havada kalma süresi farkının ortalama $0,9 \pm 3,1$ ms, dikey sıçrama yüksekliği farkının ortalama 0,1 cm olduğu görülmüştür. Bland-Altman uyum sınırları iki cihaz arasındaki muhtemel ölçüm farkının -0,6 cm ile 0,8 cm arasında yer alacağını hesaplamıştır. Bu bölge, DSPC'nin test edildiği diğer üç bölge içinde kuvvet platformu ile dikey sıçrama performans verileri açısından en benzer verilerin elde edildiği bölge olmuştur. DSPC'nin yerleşim bölgesi, dikey sıçramanın yerden ayrılma evresinde

bireyin ayağının kuvvet platformu ile temasının en son kesildiği noktaya yakın olması her iki cihazın da neredeyse aynı zaman diliminde havada kalma süresini ölçmeye başlamasını sağlamıştır. Benzer şekilde sıçramanın yere iniş evresinde ayağın kuvvet platformuna ilk temas ettiği bölgenin DSPC'nin konumlandırıldığı bölgeye yakın olması havada kalma süresi ölçümünün her iki cihazda yakın zaman diliminde sonlandırılmasını sağlamıştır.



6. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, dikey sıçrama performans ölçümlerinde kullanılması amaçlanan giyilebilir bir cihaz geliştirilmiştir. Geliştirilen cihaz, kuvvet platformu ile eş zamanlı olarak test edilerek her iki cihazdan elde edilen dikey sıçrama havada kalma süreleri karşılaştırılmıştır. İstatistiksel bulgular, geliştirilen cihazın kuvvet platformu ile havada kalma süresi farkının -5,1 ms ile 6,9 ms arasında olacağını göstermiştir. Sıçrama yüksekliği olarak ele alındığında ise bu sınırlar -0,6 cm ve 0,8 cm olarak hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçların, eşdeğer cihazların önceki çalışmalarda belirtilen sonuçlarına oranla kuvvet platformu ile daha yakın olduğu görülmüştür.

Çalışma kapsamında geliştirilen cihaz bir prototip niteliğindedir. Cihazın ticari bir ürün haline getirilip son kullanıcıya sunulabilmesi için görsel ve işlevsel bir takım geliştirmeler gerekmektedir.

7. KAYNAKLAR

Ahmad N, Ghazilla RAR, Khairi NM, Kasi V. Reviews on various inertial measurement unit (IMU) sensor applications. **International Journal of Signal Processing Systems** 2013; 1(2): 256-262.

Aragón LF. Evaluation of four vertical jump tests: Methodology, reliability, validity, and accuracy. **Measurement in Physical Education and Exercise Science** 2000; 4(4): 215-228.

Balsalobre-Fernández C, Glaister M, Lockett RA. The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. **Journal of Sports Sciences** 2015; 33(15): 1574-1579.

Bartlett R. Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns, **Routledge**, London, 2014, s.292.

Brooks ER, Benson AC, Bruce LM. Novel technologies found to be valid and reliable for the measurement of vertical jump height with jump-and-reach testing. **The Journal of Strength & Conditioning Research** 2018; 32(10): 2838-2845.

Buckthorpe M, Morris J, Folland JP. Validity of vertical jump measurement devices. **Journal Of Sports Sciences** 2012; 30(1): 63-69.

Castagna C, Ganzetti M, Ditroilo M, Giovannelli M, Rocchetti A, Manzi V. Concurrent validity of vertical jump performance assessment systems. **The Journal of Strength & Conditioning Research** 2013; 27(3): 761-8.

Drazan JF, Phillips WT, Seethapathi N, Hullfish TJ, Baxter JR. Moving outside the lab: Markerless motion capture accurately quantifies sagittal plane kinematics during the vertical jump. **Journal of Biomechanics** 2021; 110547.

Ercan İ, İsmet KAN. Ölçeklerde güvenirlik ve geçerlik. **Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi** 2004; 30(3): 211-216.

Fishbane PM, Gasiorowicz S, Thornton ST, Yalçın C, Türkoğlu Ü. Temel Fizik, Cilt 1. **Arkadaş**, Ankara, 2003, s.406.

Fox EL, Bowers RW, Foss ML. The physiological basis of physical education and athletics. **William C Brown Pub**, 1989, s.734.

Glatthorn JF, Gouge S, Nussbaumer S, Stauffacher S, Impellizzeri FM, Maffiuletti NA. Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. **The Journal of Strength & Conditioning Research** 2011; 25(2): 556-560.

Grainger M, Weisberg A, Stergiou P, Katz L. Comparison of two methods in the estimation of vertical jump height. **Journal of Human Sport and Exercise** 2020; 15(3): 623-632.

Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM, Kraemer WJ. Estimation of human power output from vertical jump. **The Journal of Strength & Conditioning Research** 1991; 5(3): 116-120.

Kılıç HÖ. Giyilebilir teknoloji ürünleri pazarı ve kullanım alanları. **Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi** 2017; 9(4): 99-112.

Klavora P. Vertical jump tests: A critical review. **Strength and Conditioning Journal** 2000; 22(5): 70-75.

Leard JS, Cirillo MA, Katsnelson E, Kimiatek DA, Miller TW, Trebincevic K, Garbalosa JC. Validity of two alternative systems for measuring vertical jump height. **The Journal of Strength & Conditioning Research** 2007; 21(4): 1296.

Linthorne NP. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. **American Journal of Physics** 2001; 69(11): 1198-1204.

Magnúsdóttir Á, Þorgilsson B, Karlsson B. Comparing three devices for jump height measurement in a heterogeneous group of subjects. **The Journal of Strength & Conditioning Research** 2014; 28(10): 2837-2844.

Markovic G, Dizdar D, Jukic I, Cardinale M. Reliability and factorial validity of skuat and countermovement jump tests. **The Journal of Strength & Conditioning Research** 2004; 18(3): 551-555.

Mauch M, Rist H, Kaelin X. Reliability and validity of two measurement systems in the quantification of jump performance. **Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie** 2014; 62: 57-63.

McGinnis PM. Biomechanics of sport and exercise. **Human Kinetics**, Champaign, 2013, s.443.

McMaster D, Tavares F, O'Donnell S, Driller M. Validity of vertical jump measurement systems validity of vertical jump measurement systems. **Measurement in Physical Education and Exercise Science** 2020; 25(2): 95-100.

McMahon JJ, Suchomel TJ, Lake JP, Comfort P. Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. **Strength & Conditioning Journal** 2018; 40(4): 96-106.

Montalvo S, Gonzalez MP, Dietze-Hermosa MS, Eggleston JD, Dorgo S. Common vertical jump and reactive strength index measuring devices: A validity and reliability analysis. **The Journal of Strength & Conditioning Research** 2021; 35(5): 1234-1243.

Morrow Jr JR, Mood D, Disch J, Kang M. Measurement and evaluation in human performance, **Human Kinetics**, Champaign, 2015, s.759.

Özkan A, Köklü Y, Ersöz G. Anaerobik performans ve ölçüm yöntemleri. **Gazi Kitapevi**, Ankara, 2010, s.89.

Pueo B, Lipinska P, Jiménez-Olmedo JM, Zmijewski P, Hopkins WG. Accuracy of jump-mat systems for measuring jump height. **International Journal of Sports Physiology and Performance** 2017; 12(7): 959-963.

Ramey MR. The use of force plates for jumping research. **ISBS-Conference Proceedings Archive** San Diego, 1983.

Sargent DA. The physical test of a man. **American Physical Education Review** 1921; 26(4): 188-194.

Sayers SP, Harackiewicz DV, Harman EA, Frykman PN, Rosenstein MT. Cross-validation of three jump power equations. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 1999; 31(4): 572-577.

Seel T, Jörg R, Thomas S. IMU-based joint angle measurement for gait analysis. **Sensors** 2014; 14(4): 6891-6909.

Stauffer KA. The comparison of the max jones quadrathlon with the vertical jump and wingate cycle tests as a method to assess anaerobic power in female division 1 college basketball players. Doktora Tezi, **University of Pittsburgh**, Pittsburgh, 2005, s.113.

Troiano RP, McClain JJ, Brychta RJ, Chen KY. Evolution of accelerometer methods for physical activity research. **British Journal of Sports Medicine** 2014; 48(13): 1019-1023.

Whitmer TD, Fry AC, Forsythe CM, Andre MJ, Lane MT, Hudy A, Honnold DE. Accuracy of a vertical jump contact mat for determining jump height and flight time. **The Journal of Strength & Conditioning Research** 2015; 29(4): 877-881.

Van Hooren B, Zolotarjova J. The difference between countermovement and skuat jump performances: a review of underlying mechanisms with practical applications. **The Journal of Strength & Conditioning Research** 2017; 31(7): 2011-2020.

Yıldız SA. Aerobik ve anaerobik kapasitenin anlamı nedir. **Solunum Dergisi** 2012; 14(1): 1-8.

Yüce A, Aydoğdu V, Katırcı H, Yüce SG. Giyilebilir teknolojik spor ürünleri kullanımı algısı ölçeği: Bir ölçek uyarlama çalışması. **Spormetre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi** 2020; 18(4): 113-124.