



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı
Beden Eğitimi ve Spor Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tez

**FUTBOLDA İÇ VURUŞ TEKNİĞİNDE EKLEM AÇILARI İLE ŞUT
PERFORMANSI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN AZURE KİNECT İLE KİNEMATİK
OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mustafa AYDIN
ORCID: [0009-0002-2294-8567]

Danışman
Doç. Dr. Kenan ERDAĞI
ORCID: 0000-0002-2338-6546

İkinci Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Serkan ÖRÜCÜ
ORCID: 0000-0001-9905-2908

Konya – 2026

ÖN SÖZ (TEŞEKKÜR)

Tez çalışmamın yürütülmesi ve tamamlanması süreçlerinde beni yönlendiren, ihtiyaç duyduğum her türlü katkıyı bilgisi, tecrübesi ve hoşgörüsüyle sağlayarak desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli tez danışmanım Doç. Dr. Kenan ERDAĞI'ya, çalışmamda önerileriyle katkı sunan ikinci tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Serkan ÖRÜCÜ'ye ayrıca sağladığı yardımlardan dolayı Doç. Dr. Bülent IŞIK'a,

Mesleki birikimini ve deneyimlerini benimle paylaşarak akademik gelişimime katkıda bulunan değerli meslektaşım Ömer BOZBIYIK'a

Tez sürecimin farklı aşamalarında görüş, öneri ve paylaşımlarıyla katkı sunan değerli zümrelerime,

Çalışma sürecimin farklı aşamalarında desteğini esirgemeyen Necmettin Erbakan Spor Şube Müdürü Mehmet BÜYÜKDEDE'ye,

Tez sürecimin en yoğun dönemlerinde bilgi ve desteğiyle yanımda olan, her an varlığını hissettiğim sevgili kızım Nurten AYDIN'a,

Bu uzun ve zorlu süreçte sabrı, anlayışı ve sevgisiyle bana güç veren, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli eşim Halime AYDIN'a,

Ve son olarak; bu çalışmanın her aşamasında manevi varlığını hissettiğim, tez yazım sürecinde ebediyete uğurladığım kıymetli annem Nurten AYDIN'a teşekkürü borç bilirim.

Mustafa AYDIN

KONYA 2026

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ (TEŞEKKÜR)	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU	vi
BİLİMSEL ETİK BEYANNAMESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Problem Durumu.....	2
1.2. Araştırmanın Amacı.....	3
1.3. Araştırmanın Önemi.....	3
1.4. Sayıtlılar (Varsayımlar).....	3
1.5. Varsayımlar	4
1.6. Sınırlılıklar.....	4
1.7. Tanımlar	5
1.8. Araştırma Planı ve Hipotez Oluşturma	7
2. GENEL BİLGİLER	8
2.1. Futbol Kavramı	8
2.2. Futbolun Doğuşu ve Dünya Çapındaki Genişlemesi	9
2.3. Türkiye’de Futbolun Tarihi	11
2.4. Futbolun Oyun Kuralları	13
2.5. Futbolda Teknik Beceriler (pas verme, top sürme ve şut)	14
2.5.1. Ayak içi vuruş	15
2.5.2. Ayak içi üst vuruş.....	15
2.5.3. Üst vuruş.....	16
2.5.4. Dış üst vuruş	16
2.6. Mor-Christian Şut Testi.....	18
2.7. Literatürde Hareket Analizi Ölçüm yöntemleri ve Azure Kinect Teknolojisi	19
2.7.1. Azure Kinect’in teknik özellikleri.....	21
2.7.2. Azure Kinect ve kinect tabanlı işaretleyicisiz hareket analizi sistemlerinin spor bilimlerindeki kullanımı	22
2.8. Biyomekanik.....	26
2.8.1. Biyomekanik ve futbolda vuruşun önemi.....	26

2.8.2. Vuruşun mekanik tanımı ve segmentel katkılar.....	26
2.8.3. Kavisli koşu yaklaşımı, gövde eğimi ve segmentel kinematik ilişkiler	27
2.8.4. Ayak-top temas mekaniği ve kinetik zincir etkileşimi	29
2.8.5. Segmentler arası enerji transferi ve kas momentleri	30
2.8.6. Kalça-omuz ayrımı ve destek ayağı kinetiği.....	32
2.9. Futbolcuların Topa Vuruş Kinematığı Üzerine Yapılan Araştırmalar.....	34
3. YÖNTEM.....	38
3.1. Araştırmanın Modeli	38
3.2. Araştırma Grubu	38
3.3. Araştırmanın Evren ve Örneklemi	38
3.4. Veri Toplama Araç ve/veya Teknikleri.....	39
3.5. Verilerin Toplanması.....	40
3.5.1. Vücut ağırlığı ve VKİ	40
3.5.2. Boy uzunluğu	40
3.5.3. Top basıncı ölçümü	41
3.6. Geliştirilen Veri toplama Sisteminin Bileşenleri, Kurulumu ve Çalışma Prosedürü ..	41
3.6.1. Azure Kinect'in çalışma prensibi.....	41
3.6.2. Sensör füzyonu.....	43
3.6.3. Butterworth filtresi	44
3.6.4. Double exponential smoothing filtresi	46
3.6.5. Azure Kinect'in kurulumu	47
3.6.6. Geliştirilen veri toplama sisteminin çalışma prosedürü	49
3.7. Katılımcı pozisyonu ve talimatlar	52
3.8. Eklem açıları ve ölçüm süreci.....	52
3.9. Isınma Protokolü	54
3.10. Mor-Christian Şut Testi.....	55
3.10.1. Amaç, geçerlilik ve güvenilirlik.....	56
3.10.2. Teçhizat ve alan.....	56
3.10.3. Hazırlık ve uygulama.....	57
3.10.4. Puanlama.....	57
3.11. Kaydedilen Verilerin Ayrıştırılması ve Analizi.....	59
3.12. İstatistiksel Analiz.....	60
3.12.1. Güç analizi raporu	61
4. BULGULAR	63
4.1. Katılımcıların Tanımlayıcı Özellikleri	63

5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER	70
5.1. Tartışma	70
5.1.1. Katılımcı özellikleri ve alt ekstremite kinematik değişkenlerinin genel değerlendirilmesi.....	70
5.1.2. Alt ekstremite eklemlerine ait açı değişimlerinin zaman evrelerine göre değerlendirilmesi	71
5.1.3. Kalça ve ayak bileği açılarının şut performansı ile ilişkisi: korelasyon bulgularının yorumlanması.....	73
5.1.4. Vuruş evrelerine göre şut performansını yordayan kinematik değişkenler	77
5.1.5. Hedef bölgelerine göre alt ekstremite kinematik farklılıklarının değerlendirilmesi	78
5.1.6. Bulguların genel yorumu: şut mekaniğinde kinetik zincirin rolü	80
5.1.7. Uygulama ve antrenman önerileri: kinematik bulgulara dayalı yaklaşım.....	81
5.2. Sonuç.....	82
5.3. Öneriler.....	83
6. ÇALIŞMANIN SINIRLILIKLARI VE GELECEK ARAŞTIRMA ÖNERİLERİ	84
KAYNAKLAR.....	85
EKLER	97

TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

“Futbolda İç Vuruş Tekniğinde Eklem Açıları ile Şut Performansı Arasındaki İlişkinin Azure Kinect ile Kinematik Olarak Değerlendirilmesi” başlıklı tez çalışmamın toplam **93** sayfalık kısmına ilişkin, **02/05/2026** tarihinde tez danışmanım tarafından **Turnitin** adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı **% 7** olarak belirlenmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Tez çalışması orijinallik raporu sayfası hariç
2. Bilimsel etik beyannamesi sayfası hariç
3. Önsöz hariç
4. İçindekiler hariç
5. Simgeler ve kısaltmalar hariç
6. Kaynaklar hariç
7. Alıntılar dahil
8. 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Necmettin Erbakan Üniversitesi Tez Çalışması Orijinallik Raporu Uygulama Esaslarını inceledim ve tez çalışmamın, bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranının (%30) altında olduğunu ve intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

02.05.2026

Mustafa AYDIN

Doç. Dr. Kenan ERDAĞI

BİLİMSEL ETİK BEYANNAMESİ

Bu tezin tamamının kendi çalışmam olduğunu, planlanmasından yazımına kadar tüm aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini, tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez hazırlama kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel kurallara uygun olarak atıf yapıldığını ve bu kaynakların kaynaklar listesine eklendiğini beyan ederim.

02.05.2026

Mustafa AYDIN

SİMGELER VE KISALTMALAR

ACL	: Anterior Cruciate Ligament (Ön Çapraz Bağ)
Azure Kinect DK	: Microsoft Derinlik Sensörü
DIBR	: Depth Image Based Rendering (Derinlik Görüntüsü Tabanlı Oluşturma)
FIFA	: Fédération Internationale de Football Association
FOV	: Field of View (Görüş Alanı)
HSD	: Honestly Significant Difference
ICC	: Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı
IFAB	: Uluslararası Futbol Birliği Kurulu
IMS	: Inertial Measurement System (Atalet Ölçüm Sistemi)
IMU	: Inertial Measurement Unit (Atalet Ölçüm Birimi)
MAS	: Microphone Array System (Mikrofon Dizi Sistemi)
NFOV	: Narrow Field of View (Dar Görüş Alanı)
PSU	: Power Supply Unit (Güç kaynağı Ünitesi)
RGB	: Red, green, blue
RMSE	: Kök Ortalama Kare Hata
ToF	: Time-of-Flight
Tracking SDK	: Body Tracking Software Development Kit (Vücut Takip Yazılım Geliştirme Kiti)
USB-C	: Universal Serial Bus Type-C
WFOV	: Wide Field of View (Geniş görüş alanı)
VAR	: Video Yardımcı Hakem

ÖZET

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü
Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı
Beden Eğitimi ve Spor Bilim dalı
Yüksek Lisans Tezi

FUTBOLDA İÇ VURUŞ TEKNİĞİNDE EKLEM AÇILARI İLE ŞUT PERFORMANSI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN AZURE KINECT İLE KİNEMATİK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Mustafa AYDIN

Bu araştırmanın amacı, amatör futbolcularda iç vuruş tekniği sırasında oluşan diz, kalça ve ayak bileği eklem açıları ile Mor-Christian Şut Testi'nden elde edilen şut performansı arasındaki ilişkinin incelenmesidir. Futbolda şut performansı, alt ekstremite eklemlerinin koordineli hareketine dayanan karmaşık bir motor beceri olup, şut başarısının yalnızca topa temas anındaki kuvvet üretimine değil, vuruş öncesi hazırlık ve vuruş sonrası denge fazlarında gerçekleşen biyomekanik hareketlere de bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle iç vuruş tekniği sırasında alt ekstremite eklem kinematığının incelenmesi, futbol performansının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Araştırmada nicel araştırma modeli kullanılmıştır. Çalışma grubunu, 2025 sezonunda amatör liglerde aktif olarak futbol oynayan, yaşları 13–14 arasında değişen ve son iki yıldır lisanslı olarak futbol oynayan 22 erkek futbolcu oluşturmuştur. Katılımcıların antropometrik ölçümleri alınmış ve şut performanslarını belirlemek amacıyla Mor-Christian Şut Testi uygulanmıştır. Test kapsamında her katılımcı dört farklı hedef bölgesine dörder kez olmak üzere toplam 16 iç vuruş gerçekleştirmiştir.

Kinematik verilerin elde edilmesi amacıyla Microsoft Azure Kinect kullanılarak geliştirilen işaretleyicisiz hareket analizi sistemi kullanılmıştır. İki adet Azure Kinect cihazı ile elde edilen üç boyutlu eklem koordinatları sensör füzyonu yöntemi ile birleştirilmiş, elde edilen veriler Butterworth filtresi ve Double Exponential Smoothing filtreleri kullanılarak gürültüden arındırılmıştır. Kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları vuruş öncesi, vuruş anı ve vuruş sonrası olmak üzere üç farklı zaman evresinde analiz edilmiştir. Verilerin analizinde tanımlayıcı istatistikler, Pearson korelasyon analizi, çoklu doğrusal regresyon analizi ve tekrarlayan ölçümlerde ANOVA testleri kullanılmıştır.

Araştırma bulgularına göre kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları vuruş evrelerine göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir. Kalça ve diz eklem açılarının vuruş öncesinden vuruş sonrasına doğru azaldığı, ayak bileği eklem açısının ise vuruş süreci boyunca arttığı belirlenmiştir. Mor-Christian Şut Testi puanları ile eklem açıları arasındaki ilişkiler incelendiğinde, kalça vuruş sonrası açısı ile şut performansı arasında pozitif yönde anlamlı bir ilişki bulunduğu, ayrıca ayak bileği vuruş öncesi açısının şut performansını anlamlı biçimde yordadığı belirlenmiştir. Diz eklem açıları ile şut performansı arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Regresyon analizi sonuçları, şut performansının vuruş öncesi evrede ayak bileği açısı ve vuruş sonrası evrede kalça açısı tarafından yordandığını göstermiştir.

Sonuç olarak, futbolcularda şut performansının yalnızca topa temas anındaki kuvvet üretimine değil, vuruş öncesi hazırlık fazındaki ayak bileği stabilizasyonu ve vuruş sonrası kalça kontrolü gibi hareketin farklı evrelerindeki kinematik koordinasyona bağlı olduğu belirlenmiştir. Bulgular, şut hareketinin kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin koordineli çalışmasına dayanan bir kinetik zincir hareketi olduğunu göstermektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan Azure Kinect tabanlı işaretleyicisiz hareket analizi sisteminin saha benzeri koşullarda futbol şut kinematığının analizinde kullanılabilir bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen bulguların futbol antrenmanlarında teknik gelişim, performans analizi ve kinematik temelli antrenman planlaması açısından katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Azure Kinect; Futbol biyomekaniği; Eklem açıları; İç vuruş tekniği; Şut performansı; Mor-Christian Şut Testi

ABSTRACT

Necmettin Erbakan University, Graduate School of Educational Sciences
Department of Physical Education and Sports
Physical Education and Sports Program
Master Thesis

KINEMATIC EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN JOINT ANGLES AND SHOOTING PERFORMANCE IN THE INSIDE KICKING TECHNIQUE IN FOOTBALL USING AZURE KINECT

Mustafa AYDIN

The aim of this study was to examine the relationship between knee, hip, and ankle joint angles occurring during the instep kick technique and shooting performance obtained from the Mor-Christian Shooting Test in amateur soccer players. Shooting performance in soccer is a complex motor skill based on the coordinated movement of lower extremity joints, and shooting success depends not only on force production at ball contact but also on biomechanical movements occurring during the pre-kick preparation and post-kick follow-through phases. Therefore, examining lower extremity joint kinematics during the instep kick technique is important for improving soccer performance.

A quantitative research model was used in this study. The study group consisted of 22 male soccer players aged 13–14 who actively played in amateur leagues during the 2025 season and had been licensed players for at least two years. Anthropometric measurements of the participants were taken, and the Mor-Christian Shooting Test was applied to determine shooting performance. Within the scope of the test, each participant performed a total of 16 instep kicks, four shots directed at each of four different target areas.

A markerless motion analysis system developed using Microsoft Azure Kinect was used to obtain kinematic data. Three-dimensional joint coordinates obtained from two Azure Kinect devices were combined using a sensor fusion method, and the obtained data were filtered using Butterworth and Double Exponential Smoothing filters to reduce noise. Hip, knee, and ankle joint angles were analyzed in three different phases: pre-kick, kick moment, and post-kick. Descriptive statistics, Pearson correlation analysis, multiple linear regression analysis, and repeated measures ANOVA were used in the analysis of the data.

According to the findings of the study, hip, knee, and ankle joint angles showed statistically significant differences across kick phases. Hip and knee joint angles decreased from the pre-kick phase to the post-kick phase, while the ankle joint angle increased throughout the kick motion. When the relationships between Mor-Christian Shooting Test scores and joint angles were examined, a positive and significant relationship was found between post-kick hip angle and shooting performance, and the pre-kick ankle angle was found to significantly predict shooting performance. No significant relationship was found between knee joint angles and shooting performance. Regression analysis results showed that shooting performance was predicted by the ankle angle in the pre-kick phase and the hip angle in the post-kick phase.

As a result, shooting performance in soccer players depends not only on force production at ball contact but also on kinematic coordination in different phases of the movement, such as ankle stabilization in the pre-kick phase and hip control in the post-kick phase. The findings indicate that the kicking motion is a kinetic chain movement based on the coordinated action of the hip, knee, and ankle joints. In addition, the Azure Kinect-based markerless motion analysis system used in this study was found to be a usable method for analyzing soccer kick kinematics under field-like conditions. The findings are expected to contribute to technical development, performance analysis, and kinematic-based training planning in soccer training.

Keywords: Azure Kinect, Soccer biomechanics, Joint angles, Instep kick technique, Shooting performance, Mor-Christian Shooting Test

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

Spor, bireylerin fiziksel kapasitelerini artırmayı amaçlayan oyunlar, müsabakalar ve mücadelelerin merkezde olduğu fiziksel aktiviteler bütünü olarak tanımlanabilir (Konter, 2010). Bireysel ya da takım oyunları şeklinde düzenlenen bu aktiviteler, genellikle rekabetçi bir ortamda gerçekleştirilen ve belirli kurallar çerçevesinde maddi bir beklenti olmaksızın icra edilen fiziksel hareketlerdir (Yetim, 2006). Spor, sosyal, kültürel ve ekonomik alanlarda önemli etkiler yaratırken, bireylerin bedensel ve zihinsel gelişimlerine de katkıda bulunur (Öztürk, 1998). Özellikle uluslararası spor etkinlikleri, ülkeler arasındaki ilişkileri geliştirme ve ulusal kimlikleri pekiştirme açısından kritik bir rol oynar. Bu organizasyonlar, düzenleyen ülkelere ekonomik faydalar sağlarken, spor kültürünün gelişmesine de katkıda bulunur. Kültürlerarası entegrasyonu destekleyen spor organizasyonları, aynı zamanda ulusal bilinç ve birlik duygusunu artırır (Özgür, 2018; Yiğit, 2018).

Sporun sosyal, kültürel, fiziksel ve ekonomik etkileri geniş kapsamlıdır; bu etkiler, sporun bireyler üzerinde bıraktığı izlenimlerle toplumsal düzeyde de gözlemlenebilir (Kuş, 2014). Spor, fiziksel aktiviteler ve motor becerilerin gelişimi açısından bireylerin kapasitelerini artırırken aynı zamanda rekabetçi ortamda bu yetenekleri test etmelerini sağlar (İkizler, 1994). Aynı zamanda, spor, uygulayan birey açısından fiziksel çaba gerektirirken, izleyici açısından estetik bir süreç ve rekabet unsurlarıyla bütünleşir (Şahan vd., 2008).

Futbol ise, bu etkilerin belirgin olarak gözlemlendiği spor dallarından biridir. Futbolun bireyler üzerindeki etkileri sadece fiziksel becerilerle sınırlı kalmaz; aynı zamanda zihinsel dayanıklılığı, stratejik düşünme yeteneğini ve takım çalışmasını da geliştirir. Oyuncular, futbol aracılığıyla disiplin, kararlılık ve liderlik gibi kişisel yetkinliklerini de güçlendirirler (Aşçı, 2009). Ayrıca, futbolun yaygın bir spor dalı olması, bu etkilerin geniş kitlelere ulaşmasını sağlar.

Dünya genelinde en popüler spor dallarından biri olarak kabul edilen futbol, hem oynayanlar hem de izleyiciler açısından büyük bir sosyal ve kültürel etkileşim ağı sunmaktadır. Çocukluk yaşlarından itibaren birçok kişi tarafından oynanan ve geniş bir kitle tarafından izlenen futbol, sosyal, kültürel ve ekonomik anlamda geniş bir etkileşim ağına sahiptir (Sever ve Zorba, 2017). Futbolun sosyal ve kültürel boyutları kadar, oyunun kendisi

de fiziksel ve teknik beceriler açısından büyük önem taşır. Oyuncuların bu becerileri geliştirmesi, oyunun dinamik yapısına ayak uydurmalarını sağlar.

Futbol, dünyada en çok oynanan spor dalı olup, ani hızlanmalar, yavaşlamalar, dönüşler ve şutlar gibi birçok teknik beceri gerektirir. Futbol oyununda başarılı olmak, fiziksel ve fizyolojik kapasitenin yanı sıra teknik becerilere de dayanır (Rösch vd., 2000). Teknik beceriler, özellikle pas, top sürme ve isabetli şut gibi unsurlar, maç sonucunu belirleyen en önemli faktörler arasında yer alır (Ali vd., 2007). Bu nedenle, modern futbolun gereksinimleri içinde teknik becerilerin önemi giderek artmaktadır (Anderson vd., 2008; Carling vd., 2008).

Özellikle vuruş kinematiği ve biyomekanik değişkenlerin oyun başarısına etkisi büyük öneme sahiptir. Yapılan araştırmalar, vuruş sırasında kullanılan pelvis rotasyonu, diz fleksiyonu ve bacak açısı gibi faktörlerin top hızını ve isabetliliği etkilediğini göstermektedir. Bu bulgular, futbolcuların teknik becerilerini geliştirirken, aynı zamanda biyomekanik açıdan da doğru vuruş tekniklerine odaklanmalarının önemini ortaya koymaktadır (Blair vd., 2018). Ayrıca, modern futbolun artan gereksinimleri doğrultusunda, bu biyomekanik ölçümlerin doğru ve güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için teknolojik araçların kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Blair ve arkadaşları (2018), bu tür teknolojik sistemlerin futbol gibi spor dallarında yüksek hızlı hareketlerin ölçümünde sağladığı avantajları ortaya koymuştur.

Biz de araştırmamız da, futbol oyuncularının isabetli şut atışlarındaki topa vuruş esnasında eklem açılarını belirlemeyi amaçlıyoruz. Bu doğrultuda, özellikle oyuncuların diz, kalça ve ayak bileği açılarının vuruşun başarısına etkisini inceleyeceğiz. Ölçümlerimizi gerçekleştirmek için Kinect Azure teknolojisini kullanarak, oyuncuların hareket kinematiğini yüksek doğrulukla analiz etmeyi planlıyoruz. Bu sayede, biyomekanik açıdan etkili şut tekniklerini daha iyi anlayarak, futbol oyuncularının performanslarını geliştirmeye yönelik veriler elde etmeyi hedefliyoruz.

1.1. Problem Durumu

Futbol oyununda şut performansı, oyuncuların yeteneklerini belirleyen önemli faktörlerden biridir. Vuruş tekniklerinin şut başarısı üzerindeki kinematik etkileri ve bu tekniklerin eklem açılarıyla ilişkili yönleri, üzerine daha fazla araştırma yapılması gereken bir konudur. Bu çalışma, futbolcuların Mor-Christian Şut Testi kapsamında gerçekleştirdiği iç vuruşlara ait diz, kalça ve ayak bileği eklem açılarını Microsoft Azure Kinect kullanılarak

geliştirilen veri toplama sistemi aracılığıyla ölçülüp veri ayrıştırma sistemi aracılığıyla da ayrıştırılarak, Mor-Christian Şut Testi puanları ile ilişkisi incelenecektir. Böylece eklem açıları ile şut puanları arasındaki ilişki incelenecektir. Böylece, iç vuruş tekniğinin biyomekanik yapısına ilişkin bilimsel verilere katkı sunulması hedeflenmektedir. Bu araştırma, futbol şut teknikleri arasında özellikle iç vuruş tekniğinin kinematik özellikleri ve şut performansı ile ilişkisine odaklanmaktadır.

1.2. Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın temel amacı, amatör futbolcularda iç vuruş tekniği sırasında ortaya çıkan diz, kalça ve ayak bileği eklem açıları ile Mor-Christian Şut Testi'nden elde edilen toplam şut puanları arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak incelenmesidir. Bu kapsamda Microsoft Azure Kinect kullanılarak geliştirilen veri toplama sistemi aracılığıyla eklem açıları ölçülmüş, vuruş öncesi, vuruş anı ve vuruş sonrası evrelere ait veriler ayrıştırılmış ve elde edilen kinematik veriler ile şut performansı arasındaki ilişkiler istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Araştırma, şut isabetliliğini etkileyen biyomekanik parametrelerin belirlenmesini amaçlamaktadır.

1.3. Araştırmanın Önemi

Futbolda şut isabetliliği ve vuruş kalitesi, maçların sonucunu doğrudan etkileyen beceriler arasındadır. Bu bağlamda diz, kalça ve ayak bileği eklem açıları, özellikle iç vuruş tekniklerinde şut performansını belirleyen başlıca değişkenlerdir. Bu çalışma, Microsoft Azure Kinect kullanılarak geliştirilen veri toplama sistemi ve veri ayrıştırma sistemi ile futbolcularda şut anına ait eklem kinematiğini analiz eden öncül nitelikte bir uygulama çerçevesi sunmaktadır. Ayrıca, antrenörlere ve spor bilimcilere performans analizi ve teknik gelişim açısından önemli geri bildirimler sağlayarak literatüre katkıda bulunması beklenmektedir.

1.4. Sayıtlar (Varsayımlar)

1. Katılımcıların, araştırma sırasında şut performanslarını en iyi şekilde sergilemeye çalıştıkları kabul edilmiştir.
2. Araştırma sırasında kullanılan Microsoft Azure Kinect'in, eklemlerin 3D konumlarını doğru ve güvenilir bir şekilde tespit ettiği varsayılmaktadır.
3. Mor-Christian Şut Testi'nin, futbolcuların şut performansını doğru ve geçerli bir şekilde değerlendirdiği kabul edilmektedir.

4. Katılımcıların, talimatları doğru şekilde anladıkları ve test sırasında tüm kurallara uyarak ölçümleri gerçekleştirdikleri varsayılmaktadır.
5. Kinect Azure teknolojisinin açık hava ve doğal ışık koşullarında ölçüm hassasiyeti azalabileceği için çalışmanın kapalı alanda gerçekleştirilmesi uygun kabul edilmiştir.
6. Kapalı alanda yapılacak ölçümler sırasında, katılımcıların çim saha yerine düz zeminde ve krampon yerine spor ayakkabısı giymeleri performansı anlamlı düzeyde etkilemeyeceği varsayılmaktadır.

1.5. Varsayımlar

1. Katılımcılar, herhangi bir sağlık sorunu yaşamadan şut testine tam katılım sağlamışlardır.
2. Araştırma boyunca ortam koşulları (saha, ışık, cihaz kalibrasyonu vb.) tüm katılımcılar için eşit olarak sağlanmış ve bu koşulların ölçüm sonuçlarına etkisi olmamıştır.
3. Azure Kinect'in fabrika öncesi kalibrasyon parametreleri kullanılarak farklı eklemelerin 3D konumlarını başarıyla tespit ettiği varsayılmaktadır.

1.6. Sınırlılıklar

1. Araştırma, belirli bir yaş ve deneyim grubundaki futbolcularla sınırlı kalmıştır. Bu nedenle, elde edilen bulgular tüm futbolculara genellenemeyebilir. Farklı yaş gruplarında ve yetenek düzeylerindeki sporcularla yapılacak çalışmalar, bulguların geniş bir kitleye uygulanabilirliğini artırabilir.
2. Microsoft Azure Kinect'in derinlik teknolojisi, doğru kalibrasyon yapıldığında güvenilir sonuçlar verse de, daha karmaşık veya yoğun saha koşullarında bazı sapmalar gözlemlenebilir.
3. Araştırma kontrollü bir ortamda yapılmış olup, gerçek maç koşullarındaki performansı tam olarak yansıtmayabilir. Maç sırasında yaşanan stres, rakip baskısı ve oyun temposu gibi faktörler, şut performansı üzerinde farklı etkiler yaratabilir.

4. Araştırmada belirli Şut teknikleri (i vuruş) incelenmiş olup, diŐer vuruş teknikleri bu çalışmaya dahil edilmemiştir. DiŐer tekniklerin de dahil edilmesi, futbolcuların genel Şut performansına dair daha kapsamlı veriler sağlayabilir.
5. Araştırmaya katılan futbolcuların mevcut antrenman düzeyleri ve Şut becerilerindeki gelişim durumu göz önünde bulundurulmamıŐtır. Katılımcıların Şut performansındaki bireysel farklılıklar, araştırma sonuçlarını etkileyebilir.
6. Ölçümler, açık alanda gün ıŐıĐının Kinect sensörünü etkileme riski nedeniyle kapalı ortamda gerçekleştirilmiştir. Bu durum, çim saha koşullarına göre farklılık yaratabilir.
7. Katılımcılar, kapalı ortamda gerçekleştirilen ölçümler sırasında krampon yerine spor ayakkabısı giymiştir. Bu durum, gerçek saha ayakkabılarının sağladığı zemin-tutunma etkisini yansıtmayabilir

1.7. Tanımlar

1. **Şut Performansı:** Futbolcularda topa isabetli ve güçlü bir Şekilde vurarak kaleye gönderme yeteneğini ifade eder. Şut performansı, oyuncunun teknik becerilerini, fiziksel kabiliyetini ve oyunun taktik gereksinimlerini karŐılayabilme becerisini kapsar.
2. **Kinematik Analiz:** Hareketin zamana bağlı olarak incelendiği analiz türüdür. Bu analiz, futbolcuların vuruş esnasındaki eklem açıları, hız, ivme ve pozisyon deĐiŐikliklerini kapsar. Futbolda Şut sırasında diz, kalça ve ayak bileği gibi eklemler üzerindeki etkiler bu analiz ile belirlenir.
3. **Microsoft Azure Kinect:** Microsoft tarafından geliştirilen, derinlik sensörü ve içerdiği diŐer bileŐenlerle, hareket algılama ve iskelet takibi amacıyla kullanılan sensör tabanlı bir cihazdır. Bu cihazda Time-of-Flight (ToF) teknolojisi kullanarak derinlik algılama yapılır ve insan hareketi algılama ve takibine imkan sağlayan derinlik verisi üretir. Bu cihaz, biyomekanik analizler, hareket takibi ve çeşitli alanlarda kullanılan gelişmiş bir hareket algılama teknolojisidir.

4. **Mor-Christian Şut Testi:** Futbolcuların şut performanslarını değerlendirmek için kullanılan bir testtir. Oyuncuların isabetli vuruşlarını ve şut tekniklerini ölçmek amacıyla tasarlanmış olup, futbol becerilerini puanlar ile değerlendirir.
5. **Eklem Açıları:** İki eklem arasında oluşan açının büyüklüğünü ifade eder. Eklem açıları, vücut hareketlerinin analizinde önemli bir biyomekanik parametredir ve hareketin doğruluğu, hızı ve koordinasyonu üzerinde belirleyici bir rol oynar.
6. **Time-of-Flight (ToF) Teknolojisi:** Kinect Azure'un derinlik algılamasında kullanılan bir teknolojidir. Bu teknoloji, bir nesneye gönderilen kızılötesi ışığın geri yansımaları için geçen süreyi ölçerek mesafe ve derinlik bilgisini oluşturur. ToF teknolojisi, hareket takibi, 3D modelleme ve çeşitli uygulamalarda derinlik verisi sağlamak için kullanılır.
7. **Pelvis Rotasyonu:** Kalça bölgesinde yapılan rotasyon hareketidir. Pelvis rotasyonu, vücut hareketleri sırasında uygulanan kuvvetin şiddetini ve hareketin doğruluğunu etkileyen önemli bir biyomekanik unsurdur.
8. **Diz Fleksiyonu:** Diz eklemine sagittal düzlemde bükülmesi hareketidir. Bu hareket, femur ve tibia arasındaki açı daraldıkça gerçekleşir ve günlük aktiviteler ile sportif performans sırasında bacak kaslarının etkinliğini artırmada önemli bir rol oynar. Diz fleksiyonu, vücut ağırlığını taşımak, denge sağlamak ve kas kuvvetini optimize etmek için kritik bir biyomekanik harekettir.
9. **İç Vuruş:** Futbolda ayağın iç kısmıyla yapılan vuruş tekniğidir. Genellikle kısa paslar ve isabetli şutlar için kullanılır, çünkü ayağın geniş yüzeyi daha fazla kontrol sağlar.
10. **Üst Vuruş:** Ayağın üst kısmı ile yapılan güçlü bir vuruş tekniğidir. Topa yüksek hız kazandırmak amacıyla tercih edilir ve genellikle uzun mesafeli şutlar için kullanılır.
11. **Biyomekanik Analiz:** İnsan hareketlerinin fiziksel ve mekanik prensipler doğrultusunda incelenmesidir.
12. **3D Derinlik Verisi:** Azure Kinect tarafından elde edilen ve derinlik kamerasının üç boyutlu bir uzayda nesnelere 3B koordinatlarını içeren veridir. Derinlik

sensörünün sunduğu bu veri özel geliştirilen yazılımlarla işlenerek eklem pozisyonları belirlenip, vücut hareketlerinin analizi mümkün hale gelir.

13. **Kalibrasyon:** Kinect Azure veya diğer sensör cihazlarının doğru ve güvenilir sonuçlar verebilmesi için yapılan ayar işlemidir. Kalibrasyon, özellikle hareket analizlerinde cihazın hassas ölçümler yapabilmesi için gereklidir.
14. **Şut Hızı:** Futbolcunun topa vurduğunda topun kazandığı hızdır. Şut hızı, vuruşun şiddetine, oyuncunun uyguladığı kuvvete ve topun teknik açıdan vuruluşuna bağlıdır.
15. **Şut Başarısı:** Şut sırasında topun hedefe isabet ettirilme oranıdır. Şut başarısı, teknik doğruluk, hız, topun kaleye isabeti ve vuruş esnasında eklem açıları (diz, kalça, ayak bileği) gibi biyomekanik faktörlerin etkisiyle değerlendirilir.

1.8. Araştırma Planı ve Hipotez Oluşturma

Bu çalışmanın amacı, Mor-Christian Şut Testi'nden futbolcularda iç vuruş sırasında elde edilen toplam puanlar ile Microsoft Azure Kinect kullanılarak geliştirilen veri toplama sistemi ile ölçülen diz, kalça ve ayak bileği eklem açıları arasındaki ilişkileri incelemektir. Bu doğrultuda, iç vuruş anındaki eklem kinematiği analiz edilerek, hangi eklemlerin şut isabetliliği üzerinde daha belirleyici olduğu değerlendirilecektir.

Ana Hipotez:

H1: Diz, kalça ve ayak bileği eklem açıları ile Mor-Christian Şut Testi toplam puanları arasında anlamlı düzeyde ilişki vardır.

Alt Hipotezler:

H2: İç vuruş sırasında elde edilen diz eklem açısı ile şut puanı arasında anlamlı bir korelasyon bulunmaktadır.

H3: İç vuruş sırasında elde edilen kalça eklem açısı ile şut puanı arasında anlamlı bir korelasyon bulunmaktadır.

H4: İç vuruş sırasında elde edilen ayak bileği eklem açısı ile şut puanı arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamaktadır.

BÖLÜM 2

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Futbol Kavramı

Futbol terimi, İngilizce'deki "foot" (ayak) ve "ball" (top) kelimelerinin birleşiminden türemiş olup, Türkçeye "futbol" veya "ayak topu" olarak geçmiştir (Arıkan, 2007). Futbol, iki takım arasında, on birer oyuncuyla oynanan ve belirlenmiş kurallar çerçevesinde yürütülen bir oyundur.

İnal'a (2013) göre futbol, geniş bir oyun alanında, çok sayıda oyuncunun katılımıyla oynanan, kurallarla belirlenmiş sınırlar içinde gerçekleştirilen ve sonucunun kalelere atılan veya yenilen gollerle belirlendiği bir spordur. Oyunda kaleciler dışındaki tüm oyuncular, topa vücutlarının el haricindeki kısımlarıyla müdahale edebilmektedir.

Futbolun öne çıkan diğer nitelikleri şunlardır:

- Futbol, iki takımın birbirine karşı oynadığı bir spor dalıdır.
- Oyun, vücut dengesinin önemli olduğu, atlama, sıçrama ve yön değiştirme gibi çeşitli hareketleri içermektedir.
- Anlık gelişen durumlara uygun alternatif kararlar alma gerekliliği bulunmaktadır.
- Oyun boyunca enerjinin verimli bir şekilde kullanılması, başarı için kritik öneme sahiptir.
- Topla yapılan hamlelerin yanı sıra, topsuz hareketlerle rakibin gol girişimlerini engellemek esastır.
- Rakip takım karşısında sayı üstünlüğü sağlama zorunluluğu vardır.
- Sahadaki oyuncuların ortak hedef doğrultusunda uyumlu davranışlar sergilemesi gerekmektedir.
- Oyuncular, zihinsel yetilerini kullanarak bireysel becerilerini oyuna entegre etmek durumundadır (İnal, 2013).

Futbolun tarihi ve toplumsal kimliği, günümüzde ulusal ve uluslararası arenada oynadığı rolle birlikte giderek daha da önem kazanmaktadır. Futbol, yalnızca bir spor karşılaşması olmanın ötesinde, fizyoloji, biyomekanik, spor hekimliği, psikoloji ve sosyoloji gibi farklı bilim alanlarıyla ilişkili çok disiplinli bir yapı göstermektedir. Bu nedenle futbol, spor bilimleri kapsamında farklı disiplinlerin bir arada incelendiği geniş bir araştırma alanı olarak değerlendirilmektedir (Reilly, 2003). Futbolda performansın ve hareket yapısının bilimsel olarak incelenmesi, özellikle hareket analizi ve performans analizi çalışmalarının gelişmesiyle birlikte spor bilimleri içerisinde önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir (Carling vd., 2008). Özellikle futbol vuruşlarının biyomekanik açıdan incelenmesi, alt ekstremité hareketlerinin koordinasyonu ve kinetik zincir yapısının anlaşılması açısından spor bilimleri literatüründe önemli bir yer tutmaktadır (Lees vd., 2010). Bu bağlamda futbolun bir bilim dalı olmaktan ziyade, spor bilimleri içerisinde farklı disiplinler tarafından bilimsel olarak incelenen geniş bir araştırma alanı olduğu ifade edilmektedir.

2.2. Futbolun Doğuşu ve Dünya Çapındaki Genişlemesi

Olimpiyat oyunlarının kökenine dair kesin bir bilgi olmamakla birlikte, bu oyunların başlangıcı hakkında çeşitli mitler, efsaneler ve rivayetler bulunmaktadır. Benzer şekilde, futbolun tarihi de birçok farklı millete dayandırılmakta ve bu sporun kökeniyle ilgili çeşitli iddialar öne sürülmektedir. Dünyanın farklı bölgelerinde, futbolun erken formlarının farklı şekillerde oynandığına dair kanıtlar bulunmaktadır (Yıldıran, 1997).

M.Ö. 2500’lü yıllarda Çin İmparatoru Huang-Ti’nin askerlerine, yere sabitlenmiş iki direk arasından bir topun geçirilmesi mantığına dayanan oyun ile çeviklik antrenmanı yaptırdığı bilinmektedir (Saçaklı vd., 1995). Modern futbolun ne zaman ve nerede ortaya çıktığına ilişkin ise farklı görüşler mevcuttur. Bazı kaynaklar, Roma İmparatorluğu döneminde askerler arasında oynanan “Harpastum” adlı oyunun modern futbolun temelini oluşturduğunu, bu oyunun da Yunanların “Episkyres” oyunundan esinlendiğini ileri sürmektedir (TFF, 1992).

Orta Çağ döneminde Romalı askerler ve Fransızlar tarafından oynanan “Le Soule” adlı oyunun, futbol ile büyük benzerlikler taşıdığı düşünölmektedir (İnal, 2013; Saçaklı vd., 1995). Futbolun kesin kökeni konusunda çeşitli tartışmalar olsa da, İngiltere’de XII. yüzyıldan itibaren futbolun oynandığı bilinmektedir. XVII. yüzyıla gelindiğinde futbol, İngiltere’de oldukça popüler bir hale gelmiş, hatta krallar dahi bu oyunu hem halka hem de soylulara

teşvik etmiştir. Futbolun yaygınlaşması sürecinde, 1314 yılında Kral III. Edward, futbolun yasaklanmasına dair bir ferman yayımlamıştır (İnal, 2013). Futbol, toplumsal yapıda denge unsuru olarak kabul edilmeye başlamış ve birçok anlatıya göre, insanlar zafer kazandıklarında futbol oynayarak bu başarılarını kutlamışlardır (Özmen, 2000).

16. yüzyılda İtalya’da “Calcio” adı verilen futbol benzeri bir oyunun oynandığı bilinmektedir. Futbolun İngiltere’de yaygınlaşmasında önemli bir rol oynayan hükümdar Kral II. Charles olmuştur. İtalya’ya sürgün edilen II. Charles ve beraberindeki soylular, geri döndüklerinde İtalya’da gördükleri “Giuocco del Calcio” oyununu İngiltere’de oynatmak ve bu oyunu ülke çapında yaygınlaştırmak için yoğun çaba sarf etmişlerdir. Futbolun kurallarının belirlenmesi ise 1848 yılında Cambridge’de gerçekleşmiştir (Aydın vd., 2008).

Erken dönem Türk kültür çevrelerinde top oyunları ile ilgili kaynaklar sınırlı olmakla birlikte, hem eski Çin kronikleri hem de Kaşgarlı Mahmud’un XI. yüzyıla ait eseri “Divan-ı Lûgat-it Türk” bu oyunların, eski Türk toplumunun sosyal yaşamını şekillendiren önemli unsurlardan biri olduğunu göstermektedir (TFF, 1992). Çin’de, M.Ö. 2000 yıllarındaki Sarı İmparator döneminden başlayarak IX. yüzyıla kadar oynanan ve futbol benzeri bir ayak topu oyunu olan “Tsuhs Kûh”, çeşitli dönemlere ait Çin kroniklerinde Proto-Türk boylarının büyük bir ustalıkla oynadığı bir oyun olarak anılmaktadır. Kaşgarlı Mahmud’un XI. yüzyılda yazdığı “Divan-ı Lûgat-it Türk”, Türk coğrafyasının spor, oyun ve eğlence hayatına dair zengin bilgiler sunmaktadır. Top oyunları ile ilgili olarak “Tepük”, “Çögen” ve “Top Yuvarlaşmak” gibi oyunlardan ve bunlara dair terimlerden bahsedilmektedir. Ancak, Tepük oyununun araçları ve oynanış şekli hakkında yeterli bilgi bulunmadığından, bu oyun hem dil bilimi çalışmalarında hem de Türk spor tarihi araştırmalarında çözülmesi gereken bir sorun alanı olarak kabul edilmektedir (Üçışık, 1999).

Futbol, tarihsel süreçte birçok önemli aşamadan geçerek günümüzde de etkisini sürdürmektedir. Toplumla iç içe geçmiş yapısıyla siyasi, sosyal, kültürel ve ekonomik gelişmeleri etkileyen futbol, bilimsel araştırmaların da konusu olmuştur. Türkiye’de futbol, spor organizasyonlarının başlangıcında olduğu gibi yapısal değişimlere öncülük etmesi bakımından önemli bir yere sahiptir. Modern futbolun bugünkü haline en yakın formu, XVII. yüzyılda İngiltere’de ortaya çıkmıştır. 1848’de “Cambridge Kuralları” ile standart hale getirilen futbol, 1857’de ilk futbol kulübü “Sheffield Club”ın kurulmasıyla büyük bir ivme kazanmıştır. 1863 yılında ise 11 kulüp temsilcisinin bir araya gelerek İngiltere Futbol Federasyonu’nu (Football Association) kurması, modern futbolun dönüm noktalarından

biridir. 1885'te futbolun profesyonellik statüsü kabul edilmiş, bu spor hızla Avrupa'ya ve ardından 1893'te Arjantin'de kurulan ilk futbol federasyonu ile Amerika kıtasına yayılmıştır. Dünya futbolunu yöneten Fédération Internationale de Football Association (FIFA), 21 Mayıs 1904'te Fransa, Belçika, Danimarka, Hollanda, İsveç ve İsviçre'nin katılımıyla Paris'te kurulmuş ve uluslararası futbol turnuvalarını küresel bir boyuta taşımaya hedeflemiştir (Tercüman Gazetesi, 1981). FIFA hareketine öncülük eden isimler, organizasyonun bir dönem başkanlığını üstlenen Fransız futbolcu Robert Guerin ve Hollandalı Hirschman olmuştur. FIFA'nın kuruluşunda yer almayan Britanya Futbol Federasyonları, 1906 yılında bu birliğe katılmışlardır (Durmuş, 1999). Dünya futbolunun yönetici kuruluşu olan FIFA, futbolda kuralların belirlenmesi ve değiştirilmesi, uluslararası maçlar ve turnuvaların düzenlenmesi konusunda en yetkili organ olarak kabul edilmektedir. Merkezi Zürih'te bulunan FIFA, 2002 yılı itibarıyla 202 üye ülkeye sahip olup, kendisine bağlı altı konfederasyonla faaliyet göstermektedir (Orta, 2001). 1950'lerde bazı Avrupa ülkelerinin futbol federasyonları, Avrupa Futbol Birliği'ni (UEFA) kurma fikrini ortaya atmıştır. Bu fikrin öncülüğünü İtalya Futbol Federasyonu'nun eski başkanı Ottorino Barassi, Fransa Futbol Federasyonu genel sekreteri Henry Delaunay ve Belçika Futbol Federasyonu başkanı Jose Crahay yapmıştır. İngiltere, Almanya gibi ülkelerin de desteğiyle Zürih, Helsinki ve Paris'te toplantılar düzenlenmiş, Güney Amerika'daki konfederasyon yapısı örnek alınarak UEFA'nın kurulması kararlaştırılmıştır. UEFA'nın merkezi İsviçre'nin Bern şehrine yerleşmiş ve 2 Mart 1955'te Viyana'da yapılan ilk kongrede Danimarkalı Ebbe Schwartz başkan olarak seçilmiştir (Tercüman Gazetesi, 1981).

2.3. Türkiye'de Futbolun Tarihi

Türkiye'de modern futbol, 19. yüzyılın sonlarına doğru yer bulmaya başlamıştır. Ancak, o dönemde bazı dini ve sosyal engeller, Müslüman Türkler arasında futbolun yaygınlaşmasını engellemiştir. Bu dönemde Osmanlı topraklarında yaşayan gayrimüslim topluluklar ve yabancı uyruklular ise futbolu kendi aralarında oynamaya başlamışlardır (Saçaklı vd., 1995); Acet, 1997). 1894 yılında İzmir'de, İngilizler tarafından "Football Club Smyrna" adıyla bir futbol kulübü kurulmuş, bu kulüp zamanla Rum gençlerin de katılımıyla Bornova'da futbol oynayan bir topluluğa dönüşmüştür (Müniroğlu ve Deliceoğlu, 2008).

Futbol, Osmanlı İmparatorluğu'nun Batı ile olan etkileşimlerinden etkilenmiş ve gayrimüslim topluluklar ile ülkeye yerleşen yabancıların katkılarıyla gelişim göstermeye başlamıştır. İzmir ve Selanik, bu dönemde futbolun ilk taraftar gruplarının ortaya çıktığı

şehirler olarak öne çıkmıştır (Acet, 1997; Taşğın, 2000). Türkiye’de futbolun gelişiminde önemli bir yere sahip olan La Fontaine ailesi, futbolun yaygınlaşmasına öncülük etmiştir. İzmir’de futbol, gençler arasında hızla popüler hale gelmiş ve yeni kulüplerin kurulmasıyla daha geniş bir tabana yayılmıştır. “Footbaland Rugby Club”, “Apollon”, “İskoç” ve “Midilli Karması” gibi kulüpler bu süreçte ortaya çıkmıştır. Ancak, futbolun Türk gençleri arasında benimsenmesi daha geç bir dönemde olmuştur. Yurt dışında eğitim alan Türk öğrenciler, futbolu orada tanıyarak Türkiye’ye döndüklerinde oynamaya başlamışlardır. Fakat bu gençler, o dönemin baskılarından kaçmak için isimlerini değiştirmek zorunda kalmışlardır. Bu dönemde futbol oynayan Türk gençler, isimlerini değiştirerek futbola katılım göstermişlerdir (Saçaklı vd., 1995). 1901 yılında kurulan Black Stocking Football Club, bu süreçteki ilk Türk futbol kulübü olmuştur ve onu 1903’te Beşiktaş, 1905’te Galatasaray ve 1907’de Fenerbahçe takip etmiştir (Müniroğlu ve Deliceoğlu, 2008). İstanbul’da ise futbol, 17 Mayıs 1903 tarihinde dört yabancı takımın katılımıyla kurulan İstanbul Futbol Birliği ile organize hale gelmiş ve bu lige daha sonra Türk takımları da dahil olmuştur. Daha sonraki yıllarda ise futbol ligi, “Cuma Ligi” ve “Pazar Ligi” olarak ikiye ayrılmıştır (Müniroğlu ve Deliceoğlu, 2008).

1905 yılında, Kadıköy Futbol Kulübü, İkinci Pazar Ligi şampiyonu olmuştur. Aynı yıl kurulan Galatasaray’ın Pazar Ligi’ne katılması ile birlikte bu lig daha geniş kitlelere ulaşmış ve 1907’de kurulan Fenerbahçe ile birlikte Türk futbolcular daha fazla görünürlük kazanmıştır (Saçaklı vd., 1995). 1908 yılında İkinci Meşrutiyet’in ilanı ile dernek kurma hakkının tanınmasıyla futbol kulüplerinin sayısında önemli bir artış yaşanmıştır. Türkiye Büyük Millet Meclisi’nin açılması ile birlikte Türk futbolu da önemli gelişmeler kaydetmiş ve 1923 yılında Türkiye İdman Cemiyetleri İttifakı kurulmuştur. Aynı yıl Türkiye Futbol Federasyonu’nun kurulmasıyla Türkiye, FIFA’ya üye olmuş ve uluslararası futbol sahnesinde yerini almıştır (Türkiye Futbol Federasyonu, 2024 (a)). 1950’li yıllardan itibaren İstanbul, Ankara ve İzmir’de profesyonel futbol ligleri kurulmuş ve kulüp sayısı ülke genelinde artmaya başlamıştır. Bu dönemde Galatasaray, Göztepe ve Fenerbahçe gibi kulüpler, Avrupa kupalarına katılarak başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca, bazı kulüpler yabancı oyuncularını kadrolarına katmaya başlamışlardır. 1962 yılında Türkiye’nin UEFA’ya üyeliği kabul edilmiştir ve bu tarihten itibaren Türk futbolu uluslararası alanda daha fazla görünürlük kazanmıştır (Babacan, 1993; Türkiye Futbol Federasyonu, 2024 (a)).

2.4. Futbolun Oyun Kuralları

Futbol, dünyanın en çok oynanan ve izlenen sporlarından biridir. Oyun, biri kaleci olmak üzere 11 oyuncudan oluşan iki takım arasında oynanır. Takımların amacı, topu rakip takımın kalesine göndererek gol atmaktır. Maçlar, hakem yönetiminde ve belirli kurallar çerçevesinde oynanır. Futbol sahası dikdörtgen şeklindedir ve her iki uçta birer kale bulunur. Kale direkleri arasındaki mesafe 7.32 metre olup, üst direğin yerden yüksekliği 2.44 metredir. Sahanın boyutları ise uluslararası standartlara göre belirlenmiş olup, uzunluğu 100 ila 120 metre, genişliği ise 45 ila 90 metre arasında değişir.

Maç süresi iki 45 dakikalık devreden oluşur ve arada 15 dakikalık bir devre arası bulunur. Maç, biri orta hakem olmak üzere dört hakem tarafından yönetilir. Orta hakeme yardımcı olan iki yardımcı hakem ve bir dördüncü hakem bulunmaktadır. Ayrıca, son yıllarda Video Yardımcı Hakem (VAR) teknolojisi de kullanılarak kritik pozisyonlar yeniden izlenip hakem kararlarına destek sağlanmaktadır.

Futbol oyununda en sık karşılaşılan kural ihlalleri, oyuncuların rakiplerine karşı yaptığı müdahalelerden kaynaklanır. İşte futbolun temel kurallarına göre faul sayılan 10 kusurlu hareket:

1. Rakibe tekme atmak veya tekme teşebbüsünde bulunmak.
2. Rakibe çelme takmak veya düşürmeye çalışmak.
3. Rakibe kasıtlı olarak çarpmak.
4. Rakibi itmek.
5. Topa elle müdahale etmek (kaleciler hariç).
6. Tehlikeli bir şekilde müdahale etmek (yüksekten ayak kaldırmak gibi).
7. Rakibi tutmak veya formasını çekmek.
8. Rakibi engelleyerek hareketini kısıtlamak.
9. Sportmenlik dışı davranışlar.
10. Ofsayt pozisyonunda topa müdahale etmek.

Bu ihlaller hakem tarafından serbest vuruş, penaltı veya kart cezası ile sonuçlanabilir. Özellikle tehlikeli müdahaleler ve sportmenlik dışı davranışlar sarı kart (uyarı) veya kırmızı kart (oyundan ihraç) ile cezalandırılır.

Futbolda önemli kurallardan biri de ofsayt kuralıdır. Bir oyuncu, top kendisine atıldığında rakip kale çizgisine en yakın oyuncu konumunda bulunuyorsa ve arada en az iki rakip oyuncu yoksa ofsayt pozisyonunda sayılır. Ofsayt, futbolun taktiksel yapısını büyük ölçüde etkileyen önemli bir kuraldır.

Futbolun temel kuralları, Uluslararası Futbol Birliği Kurulu (IFAB) tarafından belirlenir ve FIFA tarafından tüm dünyada uygulanır. Bu kurallar, oyuncuların güvenliğini sağlamak ve oyunun adil bir şekilde oynanmasını temin etmek için zaman zaman güncellenir. Futbol kurallarının evrensel olması, oyunun dünyanın her yerinde aynı standartlarda oynanmasına olanak tanır ve futbolun küresel anlamda birleştirici gücünü pekiştirir (TFF oyun kuralları, 2024 (b)).

2.5. Futbolda Teknik Beceriler (pas verme, top sürme ve şut)

Futbolda teknik beceriler, genel olarak toplu ve topsuz olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Toplu teknikler, oyuncunun top ile gerçekleştirdiği hareketleri içerir. Bu kapsamda, top sürme, top sektirme ve şut çekme gibi beceriler ön plana çıkar. Bu teknikler, bireysel ve takım performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olup, oyunun seyrini doğrudan etkileyebilir. Futbolun oyun kuralları kadar, oyuncuların sahip olduğu teknik beceriler de sahadaki başarıyı belirleyen en önemli unsurlardan biridir. Futbolda temel teknikler arasında pas, şut, top kontrolü ve top sürme gibi beceriler bulunur. Bu beceriler, oyunun temposunu ve akışını kontrol etmek ve taktiksel başarı sağlamak açısından büyük önem taşır (Bozkurt, 2009). Pas verme, futbolcunun maç esnasında topu takım arkadaşına etkili ve stratejik bir biçimde aktarması olarak tanımlanabilir. Futbolun temel unsurlarından biri olan bu eylem, takımın oyun kontrolünü elinde tutmasına ve rakip üzerinde baskı kurmasına olanak tanır (Taşkın, 2005). Top sürme, futbolcunun ayağın farklı yüzeylerini kullanarak topa kısa vuruşlar yapması ve bu sayede topu sahanın bir bölgesinden oyun açısından daha avantajlı bir bölgeye yönlendirmesi olarak tanımlanabilir (Vieira vd., 2019). Top sürme sırasında oyuncu, pas vermek, şut çekmek veya rakibini geçmek gibi farklı teknikleri kullanabilir. Bu beceri, topun kontrolünün kaybedilmemesi ve topun sürekli oyuncuda kalması açısından kritik öneme sahiptir. Başarılı bir top sürme, oyuncunun motor becerileri, koordinasyon yeteneği ve fiziksel

dayanıklılığı ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla, oyuncunun bu alanlarda gelişmiş olması, top sürme tekniğinin etkin bir şekilde uygulanmasını sağlar (İşbilir, 2010).

Futbolda uzmanlaşılması en zor tekniklerden biri, iyi bir vuruş yapma becerisidir. Bir oyunda vuruş fırsatları, farklı açılardan ve alanlardan, bazen oyuncunun kontrolü altında, bazen de dengesiz pozisyonlarda ve her iki ayakla da ortaya çıkabilmektedir (Blazevich, 2013). Bu bağlamda, vuruş teknikleri oyunun sonucunu belirleyebilecek kritik beceriler arasında yer alır ve farklı vuruş tekniklerinin doğru kullanımı, başarı üzerinde doğrudan etkili olabilir. Bu tekniklerden ilki, Ayak İçi Vuruş olup, özellikle pas vermede sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

2.5.1. Ayak içi vuruş

Ayak başparmağının alt kısmı ile topuk ve bileği kapsayan bölümle yapılır ve genellikle pas vermede tercih edilir. Bu teknik, ayağın geniş yüzeyinin topa temas etmesiyle isabet oranını artırır. Doğru uygulandığında, destek ayak topun yanında paralel olarak konumlanır ve vuran ayak, kalçadan başlayan bir hareketle topa vurur. Gövde hafif öne eğik tutulmalı ve kollar dengeyi sağlamak için açılmalıdır. Ayrıca, vuruş esnasında vücudun pozisyonu, topun gidiş yönünü belirler; belin geriye doğru bükülmesi, topun havalanma olasılığını artırırken, uyluğun vuruş anında topun üzerinde bulunması topun alçaktan gitmesini sağlar (Çetin, 2004, Skogvang vd., 2000). Şekil 2.1; Tablo 2.1).

2.5.2. Ayak içi üst vuruş

Özellikle korner ve serbest atışlarda tercih edilen bir tekniktir ve vuruşun, kalça ve diz hareketi ile uyumlu bir ritimde gerçekleştirilmesi önemlidir. Rakip oyuncunun pas yolunu kapattığı ya da topun havadan rakibin üzerinden gönderilmek istendiği durumlarda, bu teknik en uygun seçenek olarak öne çıkar. Vuruş esnasında vücut geriye yaslanır ve topun alt kısmına vurularak istenilen yükseklik elde edilir. Ayrıca, vuruş bacağı maksimum hız ve güçle savrulurken, hareketin devamında bacak olabildiğince yukarı kaldırılarak vuruş tamamlanır (Çetin, 2004); Skogvang vd., 2000; Hargreaves, 1990). Benzer şekilde, üst vuruş ve ayak dışı üst vuruş da farklı oyun durumlarında kullanılmak üzere geliştirilmiş tekniklerdir.

Tablo 2.1. Ayak içi vuruş tekniğinin fazları ve kullanım amaçları (Bauer, 1993; Sutliff, 1996; Luxbacher, 1996).

Geriyeye Savurma Hazırlık Fazı	İleri Savurma Fazı	Hareketin Devamı Fazı	Kullanım Amaçları	
			Uzun pas	x
1. Destek ayağı topun yanına konur ve parmak ucu hedefi gösterir.			Kısa pas	xxx
2. Destek ayağı hafifçe bükülür.	1. Vuruş ayak bileği sert bir şekilde sabitlenerek kilitlenir.	1. Vuruş sonrasında bacak düzgün bir şekilde vuruş yönünde hareket ettirilir.	Alçak pas	xxx
3. Omuzlar kare şeklinde ve hedefi gösterir.	2. Topun orta kısmına ayak içiyle vuruş yapılır.		Yüksek pas	xx
4. Vuruş bacağı geriye doğru hareket ettirilir, ayak 90° döndürülür ve ayak içi topa doğru yönlendirilir.			Falsolu vuruş	xx
			Sert gol vuruşu	x
			İsabetli gol vuruşu	xxx
			Direk pas	xxx

2.5.3. Üst vuruş

Topun alçaktan gitmesi nedeniyle gol vuruşları için en klasik ve etkili tekniklerden biridir (Hargreaves, 1990; Bauer, 1993). En güçlü vuruş türü olan bu tekniğin aşamaları ve kullanım alanları Tablo 2.2’de detaylandırılmıştır. Üst vuruş, hem hareket halindeki hem de duran toplar için etkili bir yöntemdir (Skogvang vd., 2000). Ayrıca, vuruşun şiddeti uygun şekilde ayarlandığında pas verme amacıyla da kullanılabilir (Bauer, 1993).

2.5.4. Dış üst vuruş

Genellikle sporcular tarafından 4-5 metre mesafedeki takım arkadaşlarına ani paslar atmak amacıyla tercih edilir. Bu teknik, hızlı bir vuruş olması nedeniyle rakip savunma oyuncularının müdahale şansını azaltır. Ayrıca, güçlü bir gol vuruşu için de kullanılabilen bu vuruş, serbest vuruşlarda veya uzun mesafeli paslarda da etkili bir seçenektir. Ayak bileği içe dönük şekilde topun dış üst kısmına vurularak gerçekleştirilen bu vuruş stili, hem pas hem de sert vuruşlarda etkili sonuçlar sağlar (Sutliff, 1996; Çetin, 2004). Bu farklı vuruş teknikleri, oyuncuların maç içinde karşılaşılabilecekleri farklı senaryolara uyum sağlamak adına önemli becerilerdir (Çetin, 2004; Şekil 2.1).

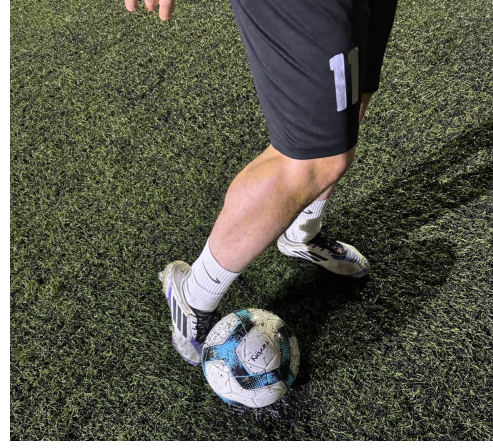
Tablo 2.2. Üst Vuruş Tekniğinin Fazları ve Kullanım Amaçları (Hargreaves, 1990; Bauer, 1993; Luxbacher, 1996; Sutliff, 1996; Skogvang vd., 2000).

Geriye Savurma Hazırlık Fazı	İleri Savurma Fazı	Hareketin Devamı Fazı	Kullanım Amaçları	
			Uzun pas	xxx
1. Topa karşı, dik bir şekilde yaklaşılır.			Kısa pas	xx
2. Topa yaklaşma anında son adım uzun atılır.	1. Vuruş bacağı ayak parmağı yere doğru bakar.	1. Vuruş eylemini izleyen aşamada ayak, vuruş yönünde gergin bir şekilde salınarak yönlendirilir.	Alçak pas	xxx
3. Omuz ve gövde öne gösterir.	2. Ayağın üstüyle (ayakkabının bağcık kısmı) topun merkezine doğru vuruş yapılır.		Yüksek pas	xx
4. Destek ayağı hafifçe bükülür.	3. Vuruş bileği sert bir şekilde sabitlenir.		Sert gol vuruşu	xxx
5. Destek ayağı topun yanına konur ve parmak ucu hedefi gösterir.			İsabetli gol vuruşu	xx
			Direk pas	x

Futbolda, maç sonucunu belirleyen en kritik vuruş tekniklerinden biri şut tekniğidir (Izovska vd., 2016). Şut, gol atma amacıyla kullanılan bir vuruş olup, topun hem isabetli hem de yüksek hızla hedefe ulaşmasını sağlar. Özellikle iç vuruş ve üst vuruş gibi teknikler, şut sırasında sıkça tercih edilen vuruş biçimleridir. Şutun başarı oranını ve hızını etkileyen başlıca faktörler arasında, destek bacağına konumu, dominant ayağın aktivasyonu, hareketin hızı ve topa temas noktası yer almaktadır (Lees vd., 2010). Şut sırasında gövdenin rotasyonu, vuruşun gücünü artırmak için büyük önem taşır. Bu aşamada core kaslarının stabilitesi şut tekniğinin doğruluğunu ve performansını doğrudan etkiler. Şutun ana amacı, topun hedefe isabetli bir şekilde yönlendirilmesidir (Minick vd., 2010).



İç vuruş



Üst vuruş



İç üst vuruş



Dış üst vuruş

Şekil 2.1. Futbolda vuruş teknikleri.

2.6. Mor-Christian Şut Testi

Futbolcuların teknik becerilerini ölçmek amacıyla farklı testler geliştirilmiştir. Bu testler, top sürme, pas verme ve şut atma gibi temel futbol yeteneklerini değerlendirmeyi amaçlar. Mor-Christian Şut Testi, futbolcuların özellikle şut isabetini ölçmek için uygulanan önemli bir değerlendirme aracıdır. Test, futbolcuların hedefe isabetli şut yeteneklerini ölçer ve geçerlilik katsayısı 0.91, güvenilirlik katsayısı ise 0.98 olarak belirlenmiştir. Üniversite öğrencileri üzerinde uygulanmış olan bu testin, farklı yaş gruplarında da başarılı bir şekilde kullanılabileceği rapor edilmiştir.

Test sırasında işaret konileri, şerit metre, futbol topları ve puanlama çizelgesi gibi ekipmanlar kullanılır. Test, 16 metre uzunluğunda ve 9 metre genişliğinde bir alan üzerinde yapılır. Kalede her biri 121 cm çapında dört hedef dairesi belirlenir ve bu hedefler sporcuların şut isabetlerini değerlendirmek için kullanılır. Şut çizgisi, kaleden 14.5 metre uzaklıkta işaretlenir. Sporcular, sabit bir noktadan hedeflere doğru şut çeker ve her sporcu dört hedefe

dörder kez olmak üzere toplam 16 deneme yapar. Puanlama sistemine göre, her hedefe doğru yapılan isabetli şutlar 10 puanla, yanlış hedeflere isabet eden şutlar ise 4 puanla değerlendirilir. Örneğin, bir futbolcunun üst köşeye isabet eden bir şutu 10 puan kazanırken, alt hedefe isabet eden şut 4 puan alır. Sonuç olarak, futbolcunun test boyunca 16 denemeden topladığı puanların toplamı üzerinden genel bir skor hesaplanır (Strand ve Wilson, 1993).

2.7. Literatürde Hareket Analizi Ölçüm Yöntemleri ve Azure Kinect Teknolojisi

Bilgisayarlı görme ve insan-makine etkileşimi alanlarında, tekniklerin iyileştirilmesi ve daha etkili mekanizmaların geliştirilmesine yönelik çalışmalar hızla yaygınlaşmaktadır. Tıp, spor, endüstri ve moda tasarım gibi çeşitli alanlarda bilgisayarlı görme uygulamalarında kullanılan ölçüm yöntemleri, Şekil 2.2’de gösterildiği üzere gözlemsel ve doğrudan ölçüm teknikleri olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir (Candra vd., 2024; Meredith vd., 2018; Sardari vd., 2023; Werdayani ve Widiaty, 2021; Örucü vd., 2020).



Şekil 2.2. Hareket analizi ölçüm yöntemleri.

Gözlemsel yöntemlerde, sporcunun antrenman performansı video veya fotoğraf kayıtları üzerinden açı tahmini yapılarak değerlendirilmektedir. Bu yöntem, sporcunun antrenmanını sınırlamadan veri toplanmasına olanak tanımakla birlikte, çok sayıda kamera kullanılması gerekliliği nedeniyle maliyetleri artırmaktadır (Prieto-Lage vd., 2018; Torres-Luque vd., 2018; Young vd., 2019). Doğrudan ölçüm yönteminde ise sporcunun antrenman verileri, vücuda doğrudan yerleştirilen sensörler aracılığıyla toplanmaktadır ve bu yöntem, optik, mekanik ve manyetik olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır (Faraway ve Reed, 2007; Polášek vd., 2015; Zhao vd., 2017). Optik sistemlerde, işaretleyicilerin

antrenman öncesinde doğru şekilde yerleştirilememesi, kayması veya sistem tarafından algılanamaması, izleme sürecinde hatalı sonuçlar doğurabilmektedir (Di Marco vd., 2016; Lim vd., 2015).

Manyetik ve mekanik sistemler, kablolama gereksinimi nedeniyle sporcunun hareketlerini sınırlayabilmekte (Allseits vd., 2018; El-Gohary ve McNames, 2012) ve antrenman sırasında oluşan terleme veya darbelere bağlı olarak sık sık kalibrasyon gerektirmektedir (Van der Kruk ve Reijne, 2018). Gerçek spor salonu ortamlarında, bu yöntemlerin kalibrasyon, kurulum süresi ve sensörlerin yerleştirilmesi, takılması, kablolama gibi ön hazırlık işlemlerinin zaman alması nedeniyle tercih edilmediği gözlemlenmektedir.

Azure Kinect kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde; Jo vd. (2022), Azure Kinect'in fizyoterapi uygulamalarında yaygın olarak kullanılan fonksiyonel hareketler sırasında, referans bir marker tabanlı hareket analiz sistemiyle olan uyumunu değerlendirmeyi amaçlamıştır (Jo vd., 2022). Çalışmaya katılan 12 sağlıklı birey; çömelme, lunge ve uzanma gibi toplam altı görev gerçekleştirmiştir. Hareketler eş zamanlı olarak Azure Kinect ve 12 kameradan oluşan optik bir sistemle kaydedilmiştir. Eklem açıları karşılaştırılırken Bland-Altman analizleri ve dağılım grafiklerinden yararlanılmıştır. Sonuçlar, Azure Kinect'in görünür vücut segmentlerinde orta ila yüksek düzeyde uyum gösterdiğini belirlemiştir.

Brambilla vd. (2023) ise Azure Kinect'in yürüyüş analizi uygulamalarında mekansal ve zamansal parametreleri ne derece doğru şekilde ölçtüğünü araştırmış ve bu amaçla Kinect V2 ve Vicon marker tabanlı sistemle karşılaştırmıştır (Brambilla vd., 2023). Beş sağlıklı birey, farklı hızlarda bir koşu bandı üzerinde yürümüş; adım uzunluğu, adım süresi, adım genişliği ve adım sıklığı gibi parametreler üç sistemle eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Elde edilen veriler arasındaki farklar kök ortalama kare hata (RMSE) ile değerlendirilmiştir. Bulgular, Azure Kinect'in özellikle mekansal ölçümlerde (adım uzunluğu ve genişliği) Kinect V2'ye göre anlamlı şekilde daha düşük hata oranına sahip olduğunu, zamansal ölçümlerde ise iki sistemin benzer doğrulukta olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, Azure Kinect'in gelişmiş donanımı ve derin öğrenmeye dayalı takip algoritmalarının, hareket analizinde önemli bir avantaj sağladığını göstermiştir.

Cerfoglio vd. (2024) ise Azure Kinect'in hem sağlıklı bireylerde hem de felç sonrası hemiplejik bireylerde yürüyüş parametrelerini doğru şekilde ölçüp ölçemeyeceği araştırmıştır (Cerfoglio vd., 2024). Katılımcılar, düz bir zemin üzerinde yürürken tek bir Azure Kinect

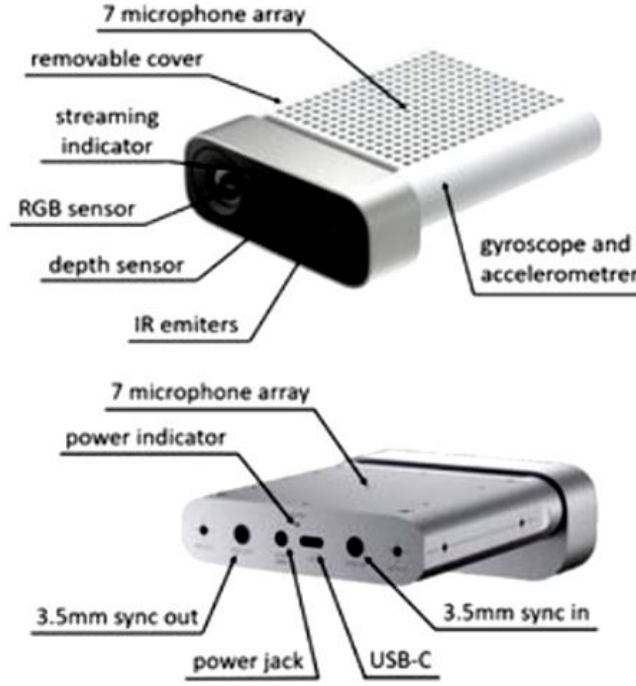
cihazı ile kaydedilmiş; elde edilen veriler aynı anda kullanılan bir marker tabanlı sistemle karşılaştırılmıştır. Çalışmada adım uzunluğu, yürüme hızı, adım süresi gibi spatiotemporal parametrelerin yanı sıra vücut ağırlık merkezinin (CoM) yer değiştirme düzlemleri de analiz edilmiştir. Elde edilen korelasyon katsayıları $r > 0.9$ olup, genel doğruluk %93'ün üzerinde rapor edilmiştir. Bu bulgular, Azure Kinect'in hem normal hem de patolojik yürüyüş paternlerinde yüksek düzeyde güvenilirlik sunduğunu ve özellikle klinik rehabilitasyon ortamlarında uygulanabilir bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Işık vd. (2025) ise Azure Kinect'in fonksiyonel hareketler sırasında eklem açılarını ölçmedeki doğruluğunu değerlendirmeyi amaçlamaktadır (Işık vd., 2025). Araştırmada, 12 milli kadın haltercinin humerus, önkol, tibia, trokanter-tibiale laterale uzunlukları ve omuz genişliği gibi antropometrik özellikleri, hem manuel hem de Kinect Azure derinlik sensörü ile ölçülmüştür. Ölçümler üçer kez tekrarlandıktan sonra ortalaması alınmış; karşılaştırma ise Bland–Altman grafikleri, Pearson korelasyon katsayıları ve ICC ile yapılmıştır. Kinect, tibia uzunluğu ölçümünde ICC = 0.918 gibi yüksek bir güvenilirlik; trokanter-tibiale laterale için ICC = 0.737 gibi orta düzeyde bir uyum sergilemiştir. Sonuç olarak, Azure Kinect'in sporcularda antropometrik parametrelerin hızlı, tekrar edilebilir ve tutarlı şekilde değerlendirilmesinde güvenilir ve pratik bir araç olarak öne çıkabileceği belirtilmiştir.

Sonuç olarak Azure Kinect sensörü, gözlemsel sistemler gibi çalışmakta olup, sağladığı veriler açısından doğrudan yöntemlere benzeyen 3D derinlik verileri sunmaktadır (Antico vd., 2024). Bu özellikleri, onu gözlemsel ve doğrudan ölçüm yöntemleri arasında bir alternatif olarak öne çıkarmaktadır.

2.7.1. Azure Kinect'in teknik özellikleri

Azure Kinect DK, Şekil 2.3.'de gösterildiği üzere Microsoft tarafından geliştirilen AI sensör kiti olarak, bilgisayarla görme (Sulla-Torres vd., 2024), konuşma algılama (Moniz vd., 2021), poz-gövde takibi (Giulietti vd., 2025; Aharony vd., 2024) ve spor performansının incelenmesi (Rebbouj vd., 2024; Zhao vd., 2023) alanlarında kullanıma yönelik entegre sensörlere sahiptir.



Şekil 2.3. Azure Kinect'in ön ve yan görünümü.

Cihaz, 1 MP çözünürlüklü bir Time-of-Flight derinlik kamerası, 12 MP RGB sensör, yedi mikrofonlu dairesel mikrofon dizisi ve bir yönelim (IMU) sensörü biriminden oluşur. Yaklaşık 126×103×39 mm boyutlarında, USB-C üzerinden hem veri hem güç sağlanabilen, ek bir PSU ile desteklenebilen taşınabilir bir kit olarak tasarlanmıştır. Azure Kinect farklı çekim modlarına sahiptir: NFOV (Dar görüş açısı) ve WFOV (Geniş görüş açısı), her biri 2×2 binned veya unbinned olarak ayarlanabilir. Örneğin NFOV unbinned, 640×576 çözünürlük, 75°×65° görüş açısı ve 0.5-3.86 m kapsama alanı sunarken; WFOV unbinned 1024×1024 çözünürlük, 120°×120° görüş açısı ve 0.25-2.21 m kapsar. Bu modlar, çözünürlük ile menzil arasında esnek seçim sağlar (Osmanoğlu vd., 2025). RGB kamerası, 12 MP çözünürlüğü destekler; 3840×2160, 2560×1440 ve 1920×1080 formatlarında 30 fps'e kadar kayıt yapabilir ve 90°×59° FOV sunar. Ayrıca cihazda yer alan 360° mikrofon dizisi, konuşma tanıma, sesli komut ve çevresel ses analizi için kullanılabilir (Işık vd., 2025).

2.7.2. Azure Kinect ve Kinect tabanlı işaretleyicisiz hareket analizi sistemlerinin spor bilimlerindeki kullanımı

Literatürde Azure Kinect ile yapılan çalışmalarda, çeşitli spor branşlarında teknik hareket analizlerinin güvenilir biçimde gerçekleştirildiği gösterilmiştir. Örneğin, haltercilerin sit and reach testi ile hareket aralığının ölçülmesinde, basketbolcuların atış performansının

incelenmesinde ve hentbol antrenman seviyesinin değerlendirilmesinde bu teknoloji başarıyla uygulanmıştır (Osmanoğlu vd., 2025; Pan vd., 2021; Zhao vd., 2025). Daha özel olarak ise Kinect teknolojisinin spor bilimleri alanında farklı uygulamalarda kullanıldığı; futbolcularda şut mekaniğinin incelenmesi (Pfister vd., 2014) ve sporcularda duruş analizinin yapılması (Clark vd., 2015) gibi çalışmalarda Kinect tabanlı sistemlerin dinamik hareketleri takip etmede ve biyomekanik parametreleri analiz etmede kullanılabilirliğini desteklediği görülmektedir.

Azure Kinect veya Kinect tabanlı sistemler ile yapılan çalışmalardan bazıları incelendiğinde ise Delasse ve arkadaşları (2022) iç mekân 3D rekonstrüksiyon üzerine yaptığı çalışmada, Azure Kinect'in yakın mesafe ölçümlerinde yüksek doğruluk ve hassasiyet sunduğu, elde edilen nokta bulutlarının mobil lazer tarayıcılarla karşılaştırıldığında ortalama farkın 8 mm'yi geçmediği belirtilmiştir (Delasse vd., 2022). Ayrıca, Azure Kinect'in mobil lazer tarayıcılar kadar güvenilir bir 3D ölçüm sistemi olarak kullanılabilceği vurgulanmıştır.

Kurillo ve arkadaşları yaptığı karşılaştırmalı çalışmada, Azure Kinect'in özellikle 2.5 metre ve üzeri mesafelerde hem zamansal hem de mekânsal doğruluk açısından Kinect V2'ye göre üstün olduğu gösterilmiştir (Kurillo vd., 2022). Ayrıca, optik eksene yakın ölçümlerde 2.5-3.5 metre aralığında Azure Kinect'in zamansal doğruluğunun da yüksek olduğu belirtilmiştir. Zeng ve arkadaşları yürüttüğü bir çalışmada, Azure Kinect ile elde edilen 3D insan iskeleti verileri kullanılarak yürüyüş (gait) analizi yapılmış ve elde edilen verilerin, hareket analizi alanında altın standart olarak kabul edilen Vicon sistemiyle karşılaştırıldığında geçerli ve güvenilir olduğu gösterilmiştir (Zeng vd., 2021). Eklem açılarına odaklanan çalışmalarda da Kinect tabanlı sistemlerin tutarlı sonuçlar verdiği bildirilmektedir. Kanko ve arkadaşları (2021), Kinect sisteminin diz ve kalça eklemlerinde yaklaşık $\pm 5^\circ$ hata aralığı içinde sonuçlar verdiğini ve bu düzeydeki sapmanın spor bilimleri ile rehabilitasyon çalışmaları için kabul edilebilir olduğunu belirtmiştir (Kanko vd., 2021). Xie ve arkadaşları yürüttüğü bir çalışmada ise, Azure Kinect'in derinlik haritalarının yazılım tabanlı derinlik tahmin yöntemlerine göre daha düşük hesaplama maliyetiyle ve özellikle düşük dokulu alanlarda daha iyi performans gösterdiği belirtilmiş, gerçek zamanlı uygulamalar için Azure Kinect'in uygunluğu vurgulanmıştır (Xie vd., 2021).

Armitano-Lago ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada tek bacak çömelme, sıçrama, düşme, yön değiştirme ve yürüyüş gibi temel hareket kalıplarının Kinect tabanlı sistemlerle analizi incelenmiştir (Armitano-Lago vd., 2022). Çalışmada, ön çapraz bağ (ACL)

yaralanmalarından sonra görülen yürüme ve sıçrama mekaniklerindeki değişimlerin bu tür sistemler aracılığıyla nicel olarak değerlendirilebileceği belirtilmiştir. Benzer şekilde; denge testleri (Star Excursion Balance Test), tek bacak sıçrama testleri ve iniş analizi gibi uygulamalarla stabilite düzeyleri ve potansiyel kompanzasyon mekanizmalarının detaylı şekilde ortaya konulabildiği de görülmüştür (Antico vd., 2021; Soussi vd., 2025).

Azure Kinect'in başlıca avantajları arasında, marker tabanlı sistemlere göre daha düşük maliyetli ve kolay taşınabilir olması, katılımcıya herhangi bir işaretleyici ya da sensör takılmasını gerektirmeyen temassız ölçüm imkânı sunması ve yazılımlar aracılığıyla ayrıntılı kinematik analiz ile gerçek zamanlı veri aktarımına olanak tanıyan işaretleyicisiz bir çözüm olması yer almaktadır (Örücü vd., 2025; Brambilla vd., 2023; Chavernac vd., 2025; Han vd., 2025).

Bununla birlikte, Azure Kinect'in performansının özellikle ortam aydınlatma koşulları gibi çevresel faktörlere duyarlı olduğu, oklüzyon/perdeleme sebebiyle veri kaybı yaşama ihtimali olduğu ve dış mekân uygulamalarında ise iç mekâna kıyasla daha fazla gürültülü ölçüm üretilebildiği gösterilmiştir (Romeo vd., 2021; Brambilla vd., 2023; Büker vd., 2024; Tölgyessy vd., 2021).

Bu nedenle, ölçümlerin gerçekleştirileceği ortamın (özellikle ışık düzeyi ve olası yansıtıcı yüzeyler bakımından), sensör kurulumunun (kamera–katılımcı görüş mesafesi gibi) ve kullanılacak sensör sayısının ölçüm amacına uygun şekilde dikkatle planlanması, Azure Kinect ile elde edilecek verilerin geçerlilik ve güvenilirliğini artırmak açısından zorunlu görülmektedir (Brambilla vd., 2023; Büker vd., 2024; Cerfoglio vd., 2024).

Bu bulgular bir arada ele alındığında, Azure Kinect'in futbol antrenmanlarında ve maç analizlerinde oyuncu pozisyonlarının ve hareketlerinin hassas bir şekilde üç boyutlu olarak kaydedilmesi için önceki nesil Kinect sensörlerine ve geleneksel iki boyutlu video tabanlı sistemlere kıyasla güçlü bir alternatif oluşturabileceğini düşündürmektedir. Kurillo vd. (2022) tarafından bildirilen, sensör-kamera mesafesi ölçüm sınırları dâhilinde arttığında dahi korunan mekânsal ve zamansal doğruluk, bu tezde uygulanan Mor-Christian şut testi protokolü gibi şut atma pozisyonlarında güvenilir ölçümler yapılabilmesi açısından özellikle önem taşımaktadır. Azure Kinect'in önceki nesil Kinect sensörlerine göre hem iç mekânda 3.5 m'ye kadar olan mesafelerde doğruluk ve tekrarlanabilirlikte sağladığı iyileşmeler (Tölgyessy vd., 2021) ve hem de özellikle 2.5–3.5 m mesafe bandında, optik eksene yakın ölçümlerde

Kinect v2'ye kıyasla gösterdiği daha yüksek mekânsal ve zamansal doğruluk (Kurillo vd., 2022), bu tezde kullanılan kısa mesafeli ve kontrollü şut pozisyonlarında oyuncu hareketlerinin ve iskelet yapısının daha doğru ve tutarlı şekilde izlenebilmesini mümkün kılmaktadır.

Xie vd. (2021) çalışmasında, Azure Kinect'in yazılım tabanlı derinlik tahmin yöntemlerine kıyasla çok daha düşük hesaplama maliyetiyle gerçek zamanlı derinlik haritaları sağlayabildiği ve bu nedenle gerçek zamanlı DIBR uygulamaları için uygun bir sensör olduğu gösterilmiştir. Bu özellik, futbol gibi hızlı hareketlerin analizini hedefleyen gerçek zamanlı uygulamalar açısından da potansiyel bir avantaj sunmaktadır. Benzer şekilde, Zeng vd. (2021), Azure Kinect ile elde edilen 3D iskelet verisine dayalı olarak kalça ve diz eklemleri üzerinden gait analizi yapmış ve açı-zaman eğrilerinin Vicon sistemiyle oldukça benzer olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, Azure Kinect'in alt ekstremite kinematiğinin laboratuvar koşullarında nicel olarak analizinde kullanılabilceğini ve bu yaklaşımın koşu ve yön değiştirme gibi futbola özgü hareketlere de dikkatli şekilde uyarlanabileceğini düşündürmektedir.

Armitano-Lago vd. (2022), Antico vd. (2021) ile Soussi vd. (2025)'in temel hareket kalıpları, denge ve tek bacak çömelme/sıçrama mekaniklerine ilişkin bulguları, Azure Kinect benzeri markerless sensörlerin futbolcularda alt ekstremite kinematiğini ve özellikle yaralanma riskiyle ilişkili biyomekanik parametreleri (örneğin dinamik diz valgusu, iniş ve denge stratejileri) nicel olarak değerlendirmek için kullanılabilceğini göstermektedir. Bu çalışmalar, benzer yöntemlerin koşu ve tek bacak sıçrama benzeri futbol özgül görevlerin laboratuvar koşullarındaki analizine de metodolojik bir çerçeve sunduğunu ve bu tür sistemlerin yaralanma riski izlemi ile performansın biyomekanik bileşenlerinin değerlendirilmesinde kullanılabilceğini düşündürmektedir. Bu bağlamda, oyuncu hareketlerinin ve iskelet yapısının doğru biçimde izlenmesi; sakatlıkların önlenmesi ve performansın artırılması açısından kritik önem taşımakta, ayrıca elde edilen nicel veriler taktiksel karar süreçlerinin de daha nesnel biçimde desteklenmesine dolaylı olarak katkı sağlayabilmektedir. Azure Kinect tabanlı sistemler, yalnızca performans analizleriyle sınırlı kalmayıp, rehabilitasyon süreçleri ve yaralanma öncesi risk analizleriyle de entegre biçimde kullanılabilir. Böylece, sakatlık sonrası sahaya dönüş süreci ve yüklenme planlaması daha bilimsel ve bireye özgü verilere dayalı olarak yürütülebilir. Bu bilgiler ışığında, bu tezde Azure Kinect teknolojisinin kullanılmasıyla, iç vuruş tekniğine ait eklemlerinin nicel

olarak analiz edilmesi ve literatüre katkı sunabilecek nitelikte özgün verilerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Literatür bulguları bir bütün olarak değerlendirildiğinde, Azure Kinect'in futbolcularda temel hareket paternleri ile sakatlık riski ve seçilmiş performans parametrelerinin ayrıntılı biçimde analiz edilmesi için kullanılabilir bir araç olduğunu desteklemektedir.

2.8. Biyomekanik

2.8.1. Biyomekanik ve futbolda vuruşun önemi

Biyomekanik teknikler, spora özgü motor becerilerin yapısını analiz etmek, bu becerilerin uygulanmasındaki mekanik verimliliği değerlendirmek ve performansı etkileyen temel faktörleri belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Milanovic vd., 2022); Lees vd., 2010). Bu analizler sayesinde, hem becerilerin öğrenilmesi kolaylaşmakta hem de bireysel ve takım performansının artırılması mümkün olmaktadır.

Futbolun dünya genelinde yaygın bir spor olması ve büyük ekonomik-sosyal etkiler yaratması, bu oyunun teknik eylemlerinin bilimsel temelde analiz edilmesini gerekli kılmaktadır. Modern teknolojik ilerlemelerle birlikte, futbolun rekabetçi doğası doğrultusunda vuruş gibi temel tekniklerin biyomekanik açıdan değerlendirilmesi, performans optimizasyonunun önemli bir parçası haline gelmiştir (Lees vd., 2010; Milanovic vd., 2022).

Futbolda gol atma eylemi genellikle ayakla yapılan vuruşlara dayandığı için, vuruş tekniği oyunun en temel becerilerinden biri olarak kabul edilmektedir (Ferasat, 2021; Katis vd., 2013; Rahnama vd., 2005; Nunome vd., 2006 (a)). Güncel literatürde ise vuruş becerisinin yalnızca alt ekstremitede değil, aynı zamanda pelvis, gövde ve destekleyici bacağın da katkısıyla şekillendiği görülmektedir (Riboli vd., 2023; Pajovic vd., 2023; Lees vd., 2010).

2.8.2. Vuruşun mekanik tanımı ve segmentel katkılar

Vuruş tekniği, biyomekanik prensipler çerçevesinde ele alınmaktadır. Lees (2007), etkili bir vuruş hareketinin beş temel ilkeye dayandığını ifade etmiştir: hareket aralığı, germe-kısaltma döngüsü, bitirme hızı, eylem-tepki kuvveti ve proksimalden distale enerji transferi. Bu ilkeler, vuruş hareketinin mekanik etkinliğini ve sporcunun verimini artırmayı amaçlayan temel yapı taşlarıdır.

Wickstrom'un (1975) tanımladığı olgun vuruş formu, hareketin proksimalden distale doğru gerçekleştiği bir zincirleme yapıyı içermektedir. Destek bacak, topun yanına ve biraz gerisine yerleştirilir; vuruş bacağı ise geriye alınır. Pelvis destek bacak etrafında dönerken uyluk öne getirilir, diz esner. Bu aşamadan sonra uyluk yavaşlamaya başlarken, diz hızla açılarak ayağın topa temas etmesi sağlanır. Takip fazında ayak genellikle kalça seviyesinin üzerine çıkar (Wickstrom, 1975).

Vuruş hareketi bu yönüyle, “atış benzeri” bir model olarak tanımlanabilir. Bu modelde, proksimal segmentlerin hareketiyle başlayan enerji transferi, distale doğru iletilir ve en uç segment olan ayak aracılığıyla topa aktarılır. Bu mekanizma, vuruş hızı ve topun doğruluğu açısından büyük önem taşır (Dörge vd., 2002; Lees ve Nolan, 1998).

Plagenhoef (1971) tarafından geliştirilen “kinetogram”, vuruş sırasında uyluk ve baldır segmentlerinin hareketlerini nicel olarak gösteren öncü bir yaklaşımdır. Bu grafik yapı, vuruşun farklı evrelerinde segmentlerin açısal değişimlerini görsel olarak ortaya koyarak, hareketin iç dinamiklerini açıklamaya yardımcı olur.

2.8.3. Kavisli koşu yaklaşımı, gövde eğimi ve segmentel kinematik ilişkiler

Futbolda vuruş becerisi yalnızca bacak segmentlerinin hareketinden ibaret değildir; aynı zamanda vuruşa yaklaşım biçimi, gövde eğimi, pelvik rotasyon ve destek bacağın konumlanması gibi birçok segmentel faktörle yakından ilişkilidir. Özellikle kavisli koşu yaklaşımı, oyuncunun vuruş sırasındaki vücut pozisyonunu etkileyerek ayak hızını, doğruluğu ve topa temas kalitesini belirleyebilmektedir.

Kavisli yaklaşımın mekanik rolü ve gövde eğimi: Futbolda topa vuruş eylemi, açık kinetik zincirde gerçekleşen ve sıklıkla “kırbaç benzeri” bir hareket olarak tanımlanan (Carr, 2004) yüksek hız gerektiren bir eylemdir. Oyuncular genellikle topa sabit pozisyonda yaklaşmazlar; topun uçuş yönüne açılı birkaç adım atarak kavisli bir koşu yaklaşımı kullanırlar. Bu yaklaşım genellikle 2–4 adım uzunluğunda olup, ortalama 3–4 m/s hız üretir (Lees vd., 2010; Kellis ve Katis, 2007). Kavisli koşunun, topa temas sırasında vücudun yanal eğimini koruyarak daha fazla diz fleksiyonu ve ayak hızı sağlamayı amaçladığı belirtilmektedir (Lees vd., 2009a; Marques vd., 2007). Aynı zamanda bu yaklaşım, sabit ve tekrarlanabilir bir vuruş pozisyonu oluşturarak doğruluk ve tutarlılığı da artırmaktadır.

Gelişmiş futbolcuların genellikle doğal olarak seçtikleri yaklaşık 43° – 46° 'lik koşu açıları, maksimum top hızı üretiminde en verimli değerler olarak tanımlanmıştır (Lees ve Nolan, 1998). Topa temas anında gövdenin hem geriye hem de yana doğru eğildiği görülmektedir. Düşük yörüngeli vuruşlarda ortalama 13° , yüksek yörüngeli vuruşlarda ise 17° 'lik bir geriye eğim olduğunu bildirmiştir (Lees vd., 2010). Lees ve Nolan (2002) profesyonel oyunculara geriye eğimi 0° – 12° , yanal eğimi ise 10° – 16° arasında gözlemlemiştir. Orloff ve arkadaşları ise erkek futbolcularda 3° , kadınlarda 13° geriye eğim ve yanal olarak 3° ila -8° arasında değerler bildirmiştir (Orloff vd., 2008). Bu gövde pozisyonu, destek bacak ile vuruş yapan bacak arasında lateral fleksiyona neden olarak stabilite ve yön kontrolüne katkı sağlamaktadır.

Pelvik rotasyon, gövde stabilitesi ve yaklaşım açısının dinamiği: Pelvis, destek ayağın yere teması öncesinde geriye rotasyon başlatır ve topa temas anına kadar bu hareketi sürdürür. Deneyimli oyunculara bu rotasyonun 30° – 36° aralığında olduğu bildirilmiştir (Lees vd., 2002; Lees vd., 2009a; 2009b). Pelvik eğim, vuruş ayağı kalkışında öne (17° – 25°) yönelirken top temasında geriye (10° – 20°) döner. Ayrıca kalkışta vuruş tarafı pelvis aşağıda iken top temasında yükselir (10° – 15°) (Lees vd., 2009b). Bu dinamik yapı, ayak hızını artırmak amacıyla dizin ekstansiyonuna destek olur ve enerjinin distal segmentlere aktarımını kolaylaştırır.

Pelvisin özellikle destek bacağın yere teması ile top temasına kadar sabit kalması, vuruş pozisyonunun stabilitesini sağlar. Ancak topa vuruştan yaklaşık 50 ms önce pelvik rotasyonda hızlı bir artış gözlenmekte, bu da nöromüsküler aktivasyonun devreye girdiğini düşündürmektedir (Lees vd., 2009b).

Bu süreçte, açılı yaklaşımın pelvik rotasyonu artırarak ayak hızını yükselttiği bildirilmiştir (Plagenhoef, 1971). Levanon ve Dapena (1998) üç boyutlu analizlerinde pelvik hareketin vuruş performansı üzerindeki belirgin etkisini göstermiştir. Masuda ve arkadaşları (2005) ise yaklaşım açısı ile kalça adduksiyon kuvveti arasında anlamlı bir ilişki bulunduğunu ve bunun top hızıyla doğrudan bağlantılı olduğunu vurgulamıştır. Bu bulgular, yaklaşım açısının yalnızca koşu yönünü değil, aynı zamanda vuruşun kinetik yapısını da belirlediğini göstermektedir.

Destek bacak mekaniği ve son adımın rolü: Destek bacağın konumu, vuruşun hem dengesini hem de doğruluğunu doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Profesyonel

futbolcularda, vuruş sırasında daha uzun son adımların tercih edildiği ve bunun pelvik geri çekilmeyi artırarak daha etkili bir protraksiyon sağladığı bildirilmiştir (Stoner, 1981; Lees ve Nolan, 2002). Uzun adım uzunluğu yaklaşık 1.69 m'ye kadar— maksimum vuruş gücü için avantaj sağlamak ve gövde stabilizasyonunun korunmasına katkıda bulunmaktadır.

Destek ayağın yere temas açısı ve bacağın yanal konumlanması, topa temas anında vücudun ağırlık merkezinin dengeli biçimde transfer edilmesine olanak tanımaktadır. Bu durum, hem stabiliteyi hem de topa yön verme hassasiyetini artırarak vuruş başarısını desteklemektedir.

2.8.4. Ayak-top temas mekaniği ve kinetik zincir etkileşimi

Futbolda iç vuruşun başarısı yalnızca eklem açıları veya segmentel koordinasyonla değil, aynı zamanda vuruşun son aşamasında ayak-top temasının biyomekanik yapısıyla belirlenmektedir. Bu aşamada hem ayağın hızı hem de ayak ve topun mekanik özellikleri, topun çıkış hızı ve doğruluğunu doğrudan etkiler.

Ayak hızı, top hızı ve kinetik zincir ilişkisi: Birçok çalışma, vuruş anına kadar ayağın salınım hızının arttığını ve bunun topa aktarılan hız üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir (Young ve Rath, 2011; Nunome vd., 2006a; Lees vd., 2010). Önceki bazı araştırmalarda vuruş öncesi ayağın hızında azalma gözlenmiş olsa da, Nunome ve arkadaşları yüksek frekanslı (1000 Hz) örnekleme ve zaman-frekans filtreleme yöntemleriyle yaptıkları analizlerde, ayağın topa temas anına kadar ivmelenmeye devam ettiği ortaya konmuştur (Nunome vd., 2006a). Bu bulgular, antrenörlerin güçlü ve doğrudan vuruş yönlendirmesini bilimsel olarak desteklemektedir.

Ayak salınım hızı ile top hızı arasında pozitif bir korelasyon bulunmaktadır (Lees vd., 2010; Katis vd., 2013; Rahnama vd., 2005; Nunome vd., 2006b). Bu ilişki yalnızca ayağın ilk hızına değil, aynı zamanda çarpışma anında ayağın sertliği ve topun deformasyonuna da bağlıdır. Plagenhoef (1971) bu etkileşimi açıklamak üzere “etkin darbe kütlesi” (effective mass) modelini geliştirmiştir. Bu modelde yer alan $M/(M+m)$ oranı, ayağın ve bacağın sertliğini ve bu yapının topa aktarabileceği enerjiyi ifade ederken, $[1+e]$ terimi geri dönüş katsayısını ve çarpışma esnekliğini temsil etmektedir. Bu parametrelerin birlikte değerlendirilmesi, kinetik zincirin uç segmentinde enerjinin ne ölçüde topa aktarılabilirdiğini göstermektedir.

Deformasyon ve temas noktasının performansa etkisi: Top vuruş sırasında ayağın ön kısmıyla temas ettiğinden, özellikle metatarsofalangeal eklem bölgesinde deformasyon meydana gelir. Asami ve Nolte (1983), ayak bileği açısındaki değişim ile top hızı arasında anlamlı bir ilişki bulunmadığını, ancak metatarsofalangeal eklemdaki açı değişiminin top hızı ile yüksek düzeyde negatif korelasyon gösterdiğini ($r = -0.81$, $p < 0.001$) bildirmiştir. Bu bulgu, güçlü bir vuruş için ayak deformasyonunun minimum düzeyde tutulması gerektiğini göstermektedir.

Asai ve arkadaşları (1995) bu bulguyu doğrulayarak deformasyonun özellikle metatarsofalangeal eklemden yoğunlaştığını, ayak bileği düzeyinde ise sınırlı kaldığını belirtmiştir. Ancak deformasyon ile top hızı arasındaki ilişkiyi teyit edememişlerdir. Bu farklılık, topun ayağa temas pozisyonundaki küçük değişimlerle açıklanabilir. Ortalama ayak ve top kütleleri temel alınarak yapılan hesaplamalarda, top hızının ayak hızının yaklaşık 1.2 katı olduğu belirlenmiştir (Asai vd., 1995). Bu oran, ayak-top hızı ilişkisinin performans analizinde dikkate alınması gereken önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.

2.8.5. Segmentler arası enerji transferi ve kas momentleri

Futbolda iç vuruş sırasında topun ayaktan çıkış hızını belirleyen mekanizmalar; çarpışma anındaki ayak hızı, geri dönüş katsayısı ve alt ekstremite segmentlerinin (özellikle bacak ve ayak) kütlesiyle yakından ilişkilidir (Young ve Rath, 2011). Bu faktörler, topun hız ve yönünün belirlenmesinde önemli rol oynamakta ve kinetik zincirin verimli çalışmasına bağlı olarak değişmektedir.

Kalça ve diz eklem momentleri: Eklem momentleri uzun süredir, özellikle fleksiyon/ekstansiyon düzlemindeki değerleri açısından incelenmektedir. Nunome vd. (2002), vuruş yapan bacak için üç boyutlu (3B) moment verileri sunan ilk çalışmalardan biridir. Kawamoto ve arkadaşları (2007), deneyimli futbolcuların daha yüksek kalça fleksiyonu, adduksiyonu ve dış rotasyonu momentleri (sırasıyla 168, 100 ve 41 Nm) ürettiklerini, bu değerlerin deneyimsiz oyunculara kıyasla belirgin biçimde yüksek olduğunu bildirmiştir.

Zernicke ve Roberts (1978), submaksimal ve maksimal vuruşlar için net eklem kuvvetlerini rapor etmiş ve kalçada en yüksek (958 N), ayak bileğinde ise en düşük (330 N) kuvvetlerin üretildiğini göstermiştir. Bu bulgular, vuruş hızının artmasıyla birlikte eklem kuvvetlerinin de arttığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, kalça çevresinde 280 Nm, dizde 140 Nm ve ayak bileğinde 30 Nm olmak üzere en yüksek net kas momentlerinin sırasıyla bu

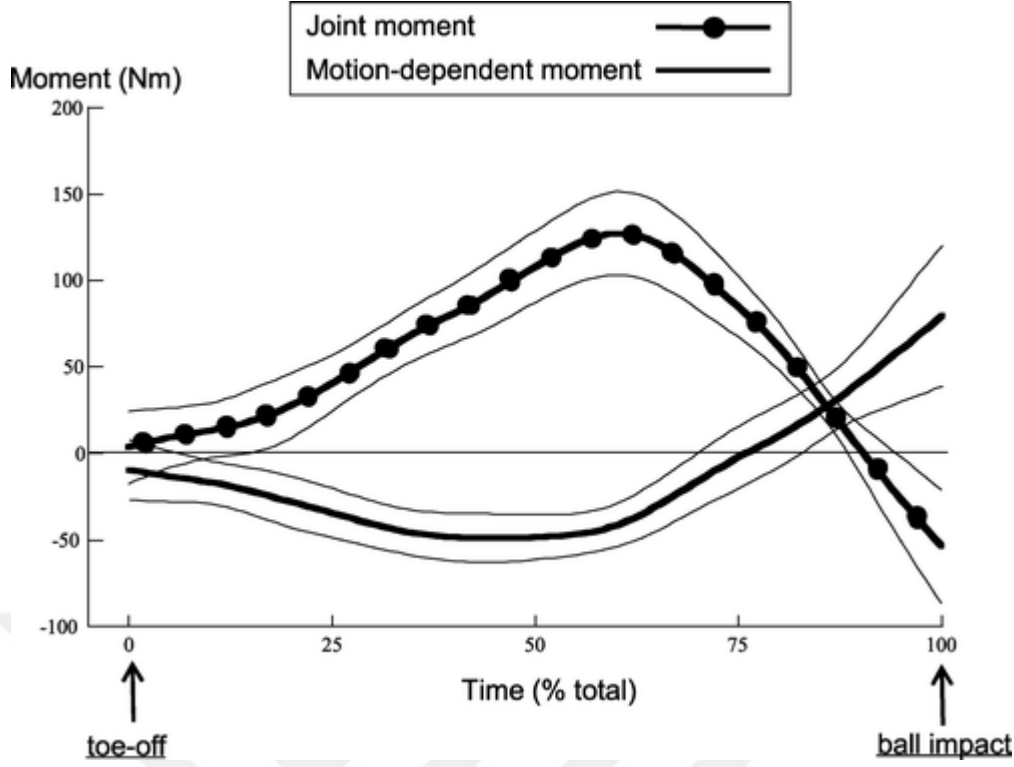
eklemlerde üretildiği belirlenmiştir. Bu momentlerin balistik bir vuruş sırasında temas anında negatif yönde seyrettiği bildirilmiştir.

Robertson vd. (1985) ile Putnam (1991), ulusal düzeydeki futbolcular için kalça momentlerinin 220–300 Nm, diz momentlerinin ise 90–160 Nm arasında değiştiğini rapor etmiştir. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, kalça ve diz momentlerinin vuruş gücünün temel belirleyicileri arasında yer aldığı söylenebilir.

Hareket bağımlı moment, segmentel koordinasyon ve enerji transferi: Top temasına yakın zaman diliminde diz ekstansiyon momenti hızla azalmakta, temas anına doğru ise ters yönde (fleksiyon momenti) bir değişim göstermektedir. Bu süreçte hareket bağımlı moment (interaction torque) hızla artarak ekstansiyon yönünde bir katkı sağlamaktadır (Nunome vd., 2006). Bu durum, kas sisteminin yüksek hızda kuvvet üretme kapasitesinin sınırlandığı anda segmentler arası etkileşim yoluyla hızın artırılabilmesini göstermektedir (Şekil 2.4). Dolayısıyla, “topun içinden geçerek vuruş yapma” gibi antrenör ifadelerinin yalnızca diz değil, aynı zamanda kalça ve gövde kaslarının aktif katılımını gerektirdiği söylenebilir.

Hareket bağımlı moment, segmentler arası koordinasyonun bir göstergesi olarak da değerlendirilmektedir. Dörge vd. (2002) ile Apriantono vd. (2006), bu parametrenin oyuncunun yorgunluk seviyesi ve uzuv tercihi gibi faktörleri anlamada da önemli bir gösterge olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, hareket bağımlı momentin doğrudan ilgili eklemden değil, özellikle proksimal eklemlerde üretilen kuvvetlere bağlı olduğu gösterilmiştir.

Putnam (1991), kalça ivmelenmesinin dizdeki hareket bağımlı moment üzerindeki etkisini hesaplamaya olanak tanıyan modeller geliştirmiştir. Dörge vd. (2002), kalçanın pozitif bir katkı sağlamadığını rapor ederken, Putnam (1991) ve Nunome ve Ikegami (2005), kalçanın yukarı yönlü hareketinin diz momentine olumlu katkı sunduğunu bildirmiştir. Bu bulgular, destek ve vuruş bacakları arasındaki kinetik ilişkinin, enerji aktarımı açısından karmaşık ve çok yönlü bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.4. Futbolda ayak bileği vuruşta bacak salınımı sırasında diz eklemindeki eklem ve hareket bağımlı momentteki ortalama (s) değişimler (Nunome vd., 2006 (b)).

2.8.6. Kalça-omuz ayrımı ve destek ayağı kinetiği

Kalça-omuz ayrımı ve ‘gerilim yayı’ kavramı: Shan vd. (2005a), futbol şutu sırasında kol hareketlerinin yalnızca dengeyle değil, aynı zamanda performansla da ilişkili olduğunu belirtmiştir. Araştırmada, vuruş yapılan taraftaki omuzun önceki adımlara kıyasla daha geniş bir yatay ekstansiyon (158°) ve abdüksiyon (36°) aralığında hareket ettiği gözlenmiştir. Bu geniş hareket aralığı, kolların vuruş performansı üzerinde aktif bir rol oynadığını göstermektedir.

Shan ve Westerhoff (2005b), kol ve bacağın zıt yönlü geri çekilmesiyle gövde boyunca oluşan ‘gerilim yayı’ mekanizmasını tanımlamışlardır. Bu durum, kalça ve omuz eksenleri arasındaki ayrım açısıyla, yani ‘kalça-omuz ayrımı’ ile ilişkilendirilmiştir. Araştırmacılar, bu ayrımın esneme-kısalma döngüsünü yansıttığını ve kaslarda elastik enerji birikimi yoluyla performansı artırdığını ifade etmişlerdir.

Lees ve Nolan (2002), profesyonel futbolcularda maksimal vuruşlar sırasında kalça-omuz ayrımının 38° – 42° aralığında olduğunu, submaksimal vuruşlarda ise bu açının 6° – 12°

arasında değiştiğini rapor etmiştir. Bu farklılık, vuruş g¼c¼n¼ artıran rotasyonel momentin kalça ve omuz eksenleri arasındaki açıyla doğrudan ilişkili olduğunu g¼stermektedir.

Ayağa etki eden kuvvetler, temas s¼rei ve zemin tepki dinamikleri: Topun ağırlığı (0.45 kg) ve yaklaşık 30 m/s'lik çıkış hızı dikkate alındığında, temas s¼resinin ortalama 12 ms olduğu ve bu s¼rede yaklaşık 1100 N'luk bir kuvvetin uygulandığı hesaplanmaktadır. Kuvvetin temas sırasında tepe noktaya ulaşıp azaldığı varsayılırsa, tepe kuvvetin 2200 N'yi aşabileceği ¼ng¼r¼lmektedir. Ultra y¼ksek hızlı kameralar (4500 Hz) kullanılarak yapılan bir çalışmada temas s¼resi 9.3 ms olarak ¼l¼lm¼ř ve tepe kuvvetin yaklaşık 2400 N olduğu bildirilmiştir (Lees ve Nolan, 1998).

Bu değerler, şut hareketinin son derece kısa s¼rede y¼ksek kuvvet ¼retimi gerektiren bir hareket olduğunu g¼stermektedir. Elde edilen bu temas s¼resi ve kuvvet b¼y¼kl¼ę¼, destek ayağının yere teması sırasında ¼retilen zemin tepki kuvvetleriyle (GRF) yakından ilişkilidir. Zemin tepki kuvvetleri dikey, arka ve yanal y¼nlerde sırasıyla 15–20, 4–6 ve 5–6 N·kg⁻¹ seviyelerinde ¼l¼lm¼řt¼r (Kellis ve Katis, 2004; Lees vd., 2009b; Orloff vd., 2008).

Yatay kuvvetlerin yalnızca arka ve yanal y¼nlerde oluşması, vuruş sırasında g¼vde hızının kısmen azalmasına neden olurken, bu durum stabilizasyon ve kas kuvvetinin artışı açısından avantaj sağlamaktadır. B¼ylece destek bacağı, vuruşun son anında hem dengeleyici hem de kuvvet aktarıcı bir rol ¼stlenmektedir.

Destek ayağı kinematiği ve stabilizasyonu: Vuruş boyunca destek diz fleksiyonda kalmakta, top temasında bu açı yaklaşık 42°'ye ulaşmaktadır. Bu esneme hareketi, iniş kuvvetini absorbe ederken aynı zamanda ileri hareketin yavaşlatılmasına katkı sağlamaktadır. Maksimal vuruş sırasında destek bacağı kalça, diz ve ayak bileğinde sırasıyla 4.0, 3.2 ve 2.2 N·m·kg⁻¹lik momentler ¼retmektedir (Lees vd., 2009b).

Bu moment değerleri, destek diz çevresindeki kasların yavaş kasılma ¼zellikleri sayesinde daha y¼ksek kuvvet ¼retimini ve stabilizasyonun korunmasını sağlamaktadır. Ayrıca ayağın topa teması sırasında dorsi fleks¼rlerin, ¼zellikle tibialis anterior kasının y¼ksek aktivitesi, darbe sertliğini ve top hızını artırabilmektedir (Young ve Rath, 2011). Daha y¼ksek kas k¼tlesine sahip bacakların daha fazla darbe kuvveti oluşturabildiği, ancak bu artışın vuruş hızını olumsuz etkilememesi gerektiği vurgulanmıştır (Ball, 2008).

2.9. Futbolcuların Topa Vuruş Kinematığı Üzerine Yapılan Araştırmalar

Futbolda topa vuruş, oyuncuların oyun sırasında en çok gerçekleştirdiği tekniklerden biridir ve bu hareket, vuruşun hızı, doğruluğu ve yönü gibi birçok faktöre bağlı olarak başarıya ulaşır. Oyuncuların topa vuruş sırasında sergiledikleri kinematik performans, hem antrenörlerin hem de spor bilimcilerin üzerinde durduğu önemli bir konudur. Vuruşun başarısını etkileyen temel kinematik unsurlar arasında diz, kalça ve ayak bileği eklem açıları ile topa vuruş hızı yer alır. Topa vuruş sırasında doğru eklem açlarına sahip olmak, vuruşun etkinliğini ve doğruluğunu artırırken, vuruş hızı topun kaleye olan mesafesini ve oyun sırasında rakibi şaşırtma becerisini etkiler. Futbolcuların penaltı, serbest vuruş ve şut gibi çeşitli vuruş tekniklerinde sergiledikleri kinematik özellikler, performansın geliştirilmesine yönelik yapılan antrenmanlarda büyük bir rol oynar. Bu bölümde, futbolcuların topa vuruş kinematığıyla ilgili çalışmalar değerlendirilecek ve oyuncuların vuruş performansını artırmaya yönelik kinematik faktörler ele alınacaktır.

Tunçel (2016), futbol penaltı vuruşlarında kaleci faktörünün vuruşun kinematığı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışma, diz ve ayak bileği eklem açılarında hedefe bağlı olarak anlamlı farklılıklar olduğunu göstermiştir. Sağ alt köşeye yapılan vuruşlarda diz eklemi kaleci varlığında temas öncesi 146.03° ($\pm 13.58^{\circ}$) ve temas sonrası 157.75° ($\pm 13.88^{\circ}$) olarak ölçülmüştür. Ayak bileği eklemi ise sağ alt köşeye yapılan vuruşlarda kaleci varlığında temas öncesi 126.41° ($\pm 3.63^{\circ}$) ve temas sonrası 124.93° ($\pm 4.61^{\circ}$) açılarında hareket etmiştir. Sağ köşeye yapılan vuruşlarda diz ve ayak bileği eklemlerinde daha geniş açılar gözlenmiştir. Kalça eklem hareketlerinin vuruşun doğruluğunda önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir.

Futbol şutlarının biyomekaniği üzerine yapılan çalışmaları özetleyen Lees vd. (2010), bu alandaki mevcut literatürü derleyerek şut tekniğinin çeşitli kinematik ve kinetik yönlerini incelemiştir. Yazarlar, diz ve kalça eklemlerinin hareketleri, pelvis ve destek bacağına şut üzerindeki etkisi gibi konulara odaklanmış ve özellikle şut sırasında ayak-top etkileşiminin vuruş hızı ve doğruluğu üzerinde belirleyici olduğunu vurgulamışlardır. Ek olarak, kullanılan 3D kinematik analizler ve yüksek hızlı video teknolojilerinin, futbol şutlarındaki vücut hareketlerinin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesine olanak sağladığını açıklamışlardır. Bu derlemenin, futbol şutlarının biyomekanik yapısına dair geniş bir perspektif sunduğunu ve bu alandaki gelecekteki araştırmalara yön vermekte olduğunu belirtmişlerdir (Lees vd., 2010).

Futbol, teknik becerilerin ve kinematik analizlerin büyük önem taşıdığı bir spor dalıdır. Sporunun vuruş sırasında sergilediği eklem hareketlerinin analiz edilmesi, hem performans değerlendirmesi hem de antrenman programlarının iyileştirilmesi açısından kritik rol oynar. Bu bağlamda, çeşitli teknolojiler kullanılarak sporcularda hareket analizi yapılmıştır. Göktepe ve arkadaşları (2009) çalışmasında, penaltı vuruşlarının fotogrametrik yöntemlerle analiz edilmesi amaçlanmış ve sporcunun diz ve ayak bileği eklem açıları incelenmiştir. Çalışmada, başarılı ve başarısız vuruşlar arasındaki farklar değerlendirilmiş ve fotogrametrik yöntemlerin sporcu hareketlerini analiz etmede etkili bir araç olduğu vurgulanmıştır (Göktepe vd., 2009). Bu çalışma, hareket analizi ve eklem açıları üzerine önemli bilgiler sunmasına rağmen, laboratuvar dışı koşullarda daha geniş kapsamlı teknolojilerin kullanımını önerme ihtiyacını ortaya koymuştur. Kinect Azure gibi modern sistemlerin bu alandaki potansiyelini incelemek, daha pratik ve taşınabilir çözümler sunabilir. Biz de tezimizde, iç vuruş tekniklerinin kinematik analizine odaklanacak ve Kinect Azure kullanarak kalça, diz ve ayak bileği eklem açılarını inceleyeceğiz. Böylece, başarılı ve başarısız vuruşlar arasındaki eklem açılarındaki farklar değerlendirilecektir.

Scurr ve Hall (2009), rekreasyonel futbolcularda penaltı vuruşlarında yaklaşma açısının vuruş kinematiği ve isabeti üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmanın bulguları, farklı açılar kullanmanın vuruş isabeti veya top hızı üzerinde anlamlı bir fark yaratmadığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, geniş açılar (45° ve 60°) pelvik rotasyon ve uyluk abduksiyonunu artırarak, vuruş tekniğinde değişiklikler yaratmıştır. Özellikle uyluk abduksiyonu, 60° yaklaşma açısında 33° 'ye kadar çıkmış, bu da futbolcuların topa vuruş sırasında bacaklarını daha geniş bir pozisyonda açmalarına olanak tanımıştır. Aynı zamanda pelvik rotasyon, geniş açılarda artarak, futbolcuların vuruş sırasında pelvisin daha geniş bir hareket aralığına sahip olduğunu göstermiştir. Ek olarak, diz ve kalça fleksiyonu da geniş açılarda artış göstermiştir. 60° yaklaşma açısında diz fleksiyonu 163.7° 'ye, kalça fleksiyonu ise 153.1° 'ye kadar çıkmıştır. Bu artışlar, futbolcuların vuruş sırasında daha fazla esneklik kazanmalarını sağlamıştır. Ancak bu teknik gelişmelerin vuruş isabeti ve top hızı üzerindeki etkileri sınırlı kalmıştır. Scurr ve Hall (2009), çalışmalarında penaltı vuruşlarındaki kinematik veriler ve isabet analizleri için iki adet 50 Hz hızında dijital kamera kullanmışlardır. Vuruş isabeti, hedefe yerleştirilen bir kamera ile 25 Hz hızında kaydedilmiştir. Üç boyutlu kinematik analizler, SiliconCOACH Pro ve Simi Motion 3D yazılımları kullanılarak yapılmıştır. Katılımcıların vücutlarındaki altı anatomik noktaya işaretleyiciler yerleştirilmiş, analizlerin doğru yapılabilmesi için bir kalibrasyon çerçevesi kullanılmıştır.

Blair ve arkadaşları (2018) çalışmasında, futbolun dört farklı dalında (Avustralya futbolu, futbol, rugby ligi ve rugby birliği) şut biyomekaniği incelenmiş ve atalet ölçüm sistemleri (IMS) ile optoelektronik hareket analiz sistemleri (MAS) karşılaştırılmıştır. Çalışmada 30 oyuncu, her iki sistemle 20 şut gerçekleştirmiştir. IMS'nin, MAS ile karşılaştırıldığında alt ekstremite ve pelvis kinematiğini ölçmede yüksek bir geçerlilik sağladığı bulunmuştur. Özellikle diz ve kalça eklemlerinde (sagittal düzlemde) küçük farklar (%0.2 - %5.8) gözlemlenmiştir. Ayrıca, IMS'nin sahaya özgü spor ortamlarında geniş ölçüm aralığı sunarak hızlı veri elde etmesi, biyomekanik testlerin ekolojik geçerliliğini artırmıştır. Bu çalışma, yüksek hızdaki hareketlerde (örneğin, şut sırasında ayak hızı ve diz açılma hızı) IMS'nin etkili sonuçlar verdiğini doğrulamıştır. Elde edilen bu bulgular, Kinect Azure gibi atalet tabanlı sistemlerin futbolun iç ve üst vuruş tekniklerinde eklem açılarını analiz etme potansiyelini desteklemektedir.

Futbolda serbest vuruş tekniklerinin biyomekanik analizi, oyuncunun vuruş performansını etkileyen önemli faktörlerin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bessenouci ve Haccini (2019), serbest vuruş doğruluğunu etkileyen biyomekanik değişkenleri inceleyen çalışmalarında, futbolcuların vuruş tekniğinde yer alan yaklaşımdan topa temas anına kadar olan süreçte çeşitli değişkenlerin şut doğruluğu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, oyuncunun topa yaklaşma açısı, destek bacağına yerleştirilmesi ve vuruş bacağına hareketi sırasında kalça ve diz açıları gibi faktörlerin şutun doğruluğunu anlamlı ölçüde etkilediği belirtilmiştir. Özellikle, topun kalkış açısının doğruluk üzerinde %37 oranında etkili olduğu vurgulanmıştır ($p < 0.01$). Yazarlar bu bulguların, futbolcuların serbest vuruş sırasında maksimum doğruluğu sağlamak için uygun bir açı ve yaklaşma stratejisi kullanmalarının önemini ortaya koyduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, yazarlar, serbest vuruş tekniğinde segmental hareket zincirinin akıcılığının ve eklem hareketliliğinin başarıyı artırabileceğini öne sürmektedirler. Bu çalışma, serbest vuruş tekniklerinin biyomekanik analizi üzerine yapılan araştırmalara önemli bir katkı sunmakta ve futbolcuların performanslarını optimize etmeleri için önemli ipuçları sağlamaktadır.

Singh ve Deol (2012) tarafından yapılan çalışmada, futbolcuların 'high drive' vuruş tekniği kinematik olarak analiz edilmiştir. Araştırmada, ulusal düzeydeki futbolcuların sağ ve sol ayak bileği, diz, omuz ve dirsek açıları incelenmiş, bu açıların performansla olan ilişkisi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, topa vuruş noktasının mesafesi ve topun serbest bırakılma açısının performans üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Buna karşın,

eklem açıları (ayak bileği, diz, omuz ve dirsek) ile vuruş performansı arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Bu bulgular, futbol gibi dinamik spor dallarında vuruş tekniklerinin kinematik değişkenlerle optimize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Çalışma, eklem açıları ve topun serbest bırakılma açısının, şut performansını etkileyen önemli unsurlar olduğunu göstermektedir.



BÖLÜM 3

3. YÖNTEM

3.1. Araştırmanın Modeli

Bu çalışmada, nicel araştırma modeli benimsenmiş olup, katılımcıların antropometrik ölçümleri ve biyomekanik değişkenlerine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma, 2025 sezonunda amatör ligde futbol oynayan sporcuların Microsoft Kinect teknolojisi kullanılarak eklem açıları ve diğer biyomekanik verilerinin toplanmasını içermektedir. Nicel araştırma yöntemi, gözlem ve ölçüme dayalı olarak nesnel verilerle sonuçların tekrarlanabilirliğini hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu yöntem, olguların ve olayların gözlemlenebilir, ölçülebilir ve sayısal olarak ifade edilebilecek şekilde analiz edilmesine olanak tanır. Microsoft Kinect cihazı yardımıyla eklem açıları, hareket kinematığı ve vücut duruşu gibi parametreler hassasiyetle analiz edilmiştir (Erişti vd., 2013).

3.2. Araştırma Grubu

Bu araştırmaya, 13 ile 14 yaş aralığında, ortaöğretim ve ilköğretim düzeyinde eğitim gören, son iki yıldır lisanslı olarak bir futbol kulübünde aktif şekilde futbol oynayan, gönüllü ve sağlıklı 22 erkek futbolcu dahil edilmiştir. Katılımcılar, düzenli antrenman yapma koşuluyla bu süreçte herhangi bir sağlık problemi yaşamamış ve araştırma protokolüne uygun olarak çalışmaya katılmaya istekli olduklarını belirtmişlerdir. Araştırma hakkında gerekli bilgilendirme yapıldıktan sonra, katılımcılardan onam belgeleri alınmıştır. Çalışma projesi tüm ayrıntıları ile Necmettin Erbakan Üniversitesi İlaç ve Tıbbi Cihaz Dışı Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığına sunuldu, 2025/661 karar sayılı ve 11.07.2025 tarihli etik kurul izni alındı (Ek 1). Çalışmanın tüm safhalarında insan ve hasta haklarına riayet edildi. Araştırma kapsamında katılımcıların iç vuruş vuruş performansları, eklem açıları ve biyomekanik analizleri yapılmıştır.

3.3. Araştırmanın Evren ve Örnekleme

Bu araştırmanın evreni, 2025 sezonunda Konya ilinde amatör futbol liglerinde yer alan ve iki yıldır aktif olarak futbol oynayan lisanslı erkek sporculardan oluşmaktadır. Araştırmanın örneklem grubu, amatör ligde aktif şekilde futbol oynayan, ortaöğretim ve ilköğretim düzeyinde eğitim gören, gönüllülük esasına dayalı olarak belirlenen 22 erkek futbolcudan oluşmaktadır. Katılımcılar, son iki yıldır düzenli olarak futbol oynamakta ve

herhangi bir sağlık problemi olmaksızın çalışmalarını sürdürmektedirler. Araştırma, bu sporcuların antropometrik ve biyomekanik ölçümlerini kapsayan kapsamlı bir inceleme ile gerçekleştirilmiştir.

3.4. Veri Toplama Araç ve/veya Teknikleri

Araştırma, futbol oyuncularının i vuruş tekniği sırasında diz, kalça ve ayak bileği eklem açılarını Microsoft Azure Kinect kullanılarak geliştirilen veri toplama sistemi aracılığıyla toplamayı, toplanan verileri ayrıştırma sistemi kullanılarak vuruş öncesi, vuruş esnası ve vuruş sonrası olarak ayrıştırmayı ve ayrıştırılan verileri istatistiksel yöntemler ile analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu alışma, özellikle i vuruş tekniği sırasında oyuncuların eklem kinematiği ile vuruş tekniklerinin ilişkisini inceleyerek, biyomekanik açıdan etkili vuruş teknikleri hakkında veri elde etmeyi hedeflemektedir. Bu çalışmada şut türleri arasında yalnızca i vuruş tekniği analiz edilmiş olup, st vuruş tekniklerine ait veriler analiz kapsamına dahil edilmemiştir.

2025-2026 Türkiye Futbol Federasyonu'nun yarışma sezonu dikkate alınarak, veriler Türkiye Futbol Federasyonu Başkanlığı'na bağlı Konya ilindeki futbol kulüplerinin sporcularından alınmıştır. Antropometrik ve kinematik ölçümler, ulaşılabilir durumda olan sporcular üzerinde gerçekleştirilmiştir. Verilerin toplanması, araştırmacı tarafından hijyenik koşullarında gerçekleştirilmiştir.

Araştırma kapsamında, 2025-2026 yılı müsabaka sezonunun güncellenmiş takvimi gz önünde bulundurularak, verilerin toplanma süreci Kasım ayının son haftasına kadar tamamlanacak şekilde planlanmıştır. Veriler, sporcuların antrenman öncesinde dinlenik halde iken alınmıştır. Her sporcuya çalışmanın genel amacı, yapılacak olan testler ve ölçümler hakkında detaylı bilgilendirme yapılmış ve katılım daveti sunulmuştur. Çalışmaya katılmayı kabul eden sporcular, yazılı bilgilendirilmiş onam formlarını doldurarak çalışmaya gönüllü olarak katılım sağlamışlardır.

Veri toplama süreci řu adımları içermektedir:

1. Gönüllü Olur Formu: Katılımcılar, araştırmaya katılmayı kabul ettiklerini beyan eden "Gönüllü Olur Formunu" imzalamışlardır.
2. Demografik Bilgilerin Toplanması: Yaş, boy, kilo gibi temel demografik bilgiler kaydedilmiştir.

3. Antropometrik Ölçümler: Katılımcıların antropometrik ölçümleri (yaş, boy, kilo) uygun protokoller doğrultusunda alınmıştır.
4. Kinematik Ölçümler: Microsoft Kinect Azure kullanılarak iç vuruş hareketlerine ilişkin kinematik analizler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmadan Dışlanma Kriterleri: Romatizmal hastalıklar ya da futbol oynamaya engel teşkil eden diğer kronik rahatsızlıklar. Alt ekstremitenin anatomik bütünlüğünü bozan yaralanma veya hastalıklar. Son 6 ay içerisinde alt veya üst ekstremitte bölgelerinde yaşanan ciddi yaralanma, travma veya ameliyat öyküsü. Ölçümler sırasında akut ağrı ya da hareket kısıtlılığı yaşayan futbolcular. Test talimatlarını anlamada ve uygulamada güçlük çeken bireyler. Türkiye Futbol Federasyonu 2025-2026 sezonunda amatör ligde aktif olarak futbol oynamayan ya da en az iki yıldır lisanslı futbolcu olmayan sporcular çalışmaya dahil edilmemiştir.

3.5. Verilerin Toplanması

3.5.1. Vücut ağırlığı ve VKİ

Katılımcıların vücut ağırlıkları, Tanita BC 401 (Japonya) marka taşınabilir bir dijital terazi ile, düz ve sert bir zemin üzerinde en yakın 0.1 kg hassasiyetle ölçülmüştür. Ölçümler esnasında, katılımcıların kıyafetlerinin vücut ağırlığını en az etkileyecek şekilde (şort, tişört vb.) seçilmesine özen gösterilmiştir. Vücut kütle indeksi (VKİ), katılımcıların kilogram cinsinden vücut ağırlığının, metre cinsinden boy uzunluğunun karesine bölünmesiyle hesaplanmıştır (kg/m^2) (Masanovic, 2018).

3.5.2. Boy uzunluğu

Katılımcıların boy ölçümleri, Mesilife MC 210 (Almanya) marka stadiometre ile 0,1 cm hassasiyetle yapılmıştır. Ölçüm sırasında katılımcılar çıplak ayaklı olup, ayaklarını cihazın zeminine tam basarak, ağırlıklarını her iki ayağa eşit olarak dağıtmışlardır. Topukların birbirine temas halinde olması, kollardan serbest olarak sarkıtılması, ölçüm esnasında derin inspirasyon ile vücudun dik pozisyonunu korumaları ve başın Frankfurt düzleminde tutulması sağlanmıştır (Özer, 2009).

3.5.3. Top basıncı ölçümü

Top basıncını ölçmek için ölçüm aralığı 0-15 psi olan “Rucanor” markalı basınç ölçer kullanılmıştır (Şekil 3.1). Bu cihaz, topun ideal basınç seviyesini belirleyerek vuruş performansını etkileyebilecek olası değişkenleri kontrol altına almak amacıyla kullanılmıştır. Tüm ölçümler, testlerden önce gerçekleştirilmiş ve uygun basınç seviyesine sahip toplarla çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 3.1. Basınç ölçer.

3.6. Geliştirilen Veri toplama Sisteminin Bileşenleri, Kurulumu ve Çalışma Prosedürü

Çalışmada geliştirilen veri toplama sistemi iki adet Microsoft Azure Kinect kamera kullanılmaktadır. Bu kameralardan ayrı ayrı elde edilen veriler önce sensör füzyonu ile birleştirilmiştir. Füzyon sonrası birleştirilen verilerden takip edilen eklemlere ait 3D eklem koordinatları üzerinde filtreleme işlemi yapılmıştır. Filtrelenen veriler kullanılarak izlenen eklemlere ait açı değişimleri hesaplanmış ve ikincil bir filtreleme işlemi daha gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen veri toplama sistemine ait detaylar aşağıda sunulmaktadır.

3.6.1. Azure Kinect'in çalışma prensibi

Azure Kinect'in derinlik kamerası, Time-of-Flight (ToF) teknolojisini kullanır. Bu teknolojiye derinlik kamerası, modüle edilmiş sürekli dalgalı ışık yayıp, bu ışığın nesnelere üzerinden yansıma faz sapmasını ölçerek mesafeyi tespit eder; bu ToF yöntemine dayanır (Örücü vd., 2025). ToF teknolojisi, sensör tarafından yayılan modüle edilmiş kızılötesi (IR) ışığın hedef nesneden yansıyarak sensöre dönüş süresinin hassas ölçümüne dayanır (1).

$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2} \quad (1)$$

1’de c ile ışık hızı ($c \approx 3 \times 10^8$ m/s), Δt ile ışığın hedef nesneden yansıyarak sensöre dönüş süresi ve d ile cisimle sensör arası mesafe ifade edilmektedir.

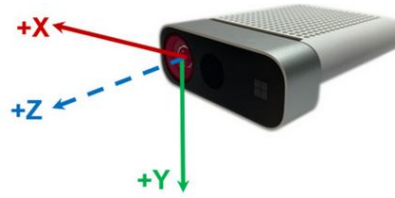
Azure Kinect DK, RGB ve derinlik verilerini senkronize olarak toplar, ancak iki farklı kamera modülüne ait verilerin doğru şekilde üst üste bindirilmesi kritiktir. Bu amaçla, cihazın fabrika öncesi kalibrasyon parametreleri kullanılmaktadır. RGB kameranın iç parametre matrisi K_{RGB} kullanılarak, derinlik sensöründen elde edilen 3B koordinatlar (2)’de gösterildiği şekilde RGB koordinatlarına dönüştürülür.

$$PRGB = K_{RGB} \cdot [R | t] \cdot P_{depth} \quad (2)$$

(2)’de, P_{depth} ile derinlik sensöründen elde edilen 3D nokta bulutu, $[R | t]$ ile derinlik sensörü ve RGB kamera arasındaki ekstrinsik parametreler (rotasyon matrisi R ve çeviri vektörü t) ifade edilmektedir. Bu işlem, özellikle iskelet takibi, 3D yeniden yapılandırma ve karma gerçeklik uygulamaları için uyumlu ve doğru verilerin elde edilmesini sağlar.

Ardından elde edilen derinlik verileri, derinlik haritası adı verilen 2D bir gri tonlamalı görüntüye dönüştürülür. Bu haritadaki her pikselin değeri ise o noktanın R^3 ’de sensöre olan mesafesini temsil eder.

Bu 3-B eklem koordinatları, Şekil 3.2.’de gösterildiği üzere cihazın sensör merkezinden (0,0,0) itibaren R^3 ’de metrik olarak belirlenir.

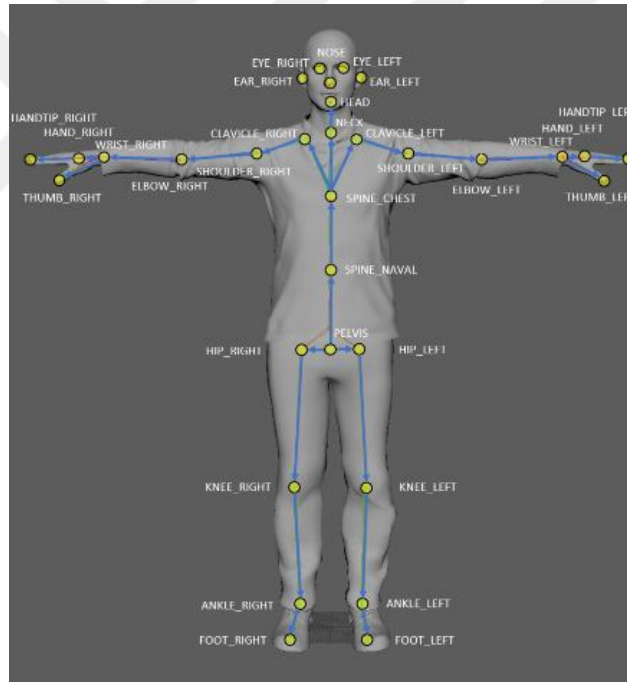


Şekil 3.2. Azure Kinect’in koordinat yapısı.

Örnek olarak, el bileği (x,y,z) koordinatları metrenin altı birimiyle ifade edilir; x sağ-sol, y yukarı-aşağı, z ise cihazın baktığı yön doğrultusunda derinlik eksenidir. Örneğin z ekseni değeri pozitif olup, ortalama 0.5–4.5 m aralığındadır. Derinlik görüntüsü her pikselin nesneye olan faz gecikmesini temel alır.

Ayrıca Azure Kinect, SDK'sında yer alan CNN tabanlı bir algoritma ile derinlik haritasının ve RGB kamerasının verilerinin birleşimini kullanarak derinlik haritasındaki insan vücudunun parçalarına ait piksel gruplarını tanımlar. Böylece insan vücuduna ait 32 adet eklemin R^3 'de yer alan X, Y, Z koordinatları ve joint confidence level ($C \in [0,1]$) verileri çıkartılmaktadır. Azure Kinect'den elde edilen Joint confidence level skoru, derinlik kamerasından elde edilen verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılır.

Azure Kinect'i öne çıkaran en belirgin özellik, gövde ve eklem takibidir. Body Tracking SDK; vücudu segmentlere ayırır, anatomik doğruluk taşıyan iskelet yapısı kurar, bu iskeletleri özgün kimlik bilgileriyle zaman içinde takip eder. İskelet, yaklaşık 32 eklem içerir; her bir eklemin 3-B koordinatı derinlik kamerası referans sisteminde Şekil 3.3'de gösterildiği üzere elde edilir.



Şekil 3.3. Kinect V2'de vücut anatomik landmarkerlarının dağılımı.

3.6.2. Sensör füzyonu

Çalışmada futbolcunun topa vuruş sürecinde alınan veriler iki adet Azure Kinect kamera kullanılarak toplanmıştır. Bu veri toplama işlemi için her iki Azure Kinect'den alınan 3D eklem koordinatları veri füzyonu kullanılarak birleştirilmiştir. Bu füzyon işleminde cihazlar master ve slave olarak ikiye ayrılmıştır. İki Kinect cihazı, farklı konumlardan aynı nesneyi gözlemlediğinde, elde edilen 3D eklem noktaları farklı koordinat sistemlerine aittir.

Verilerin birleştirilebilmesi için slave Kinect'in koordinat sistemi, master Kinect'in koordinat sistemine homojen dönüşüm matrisi olan T ile taşınır. Bu matris, R isimli bir dönüşüm ve t isimli bir öteleme bileşenlerini içerir (3) (Romeo vd., 2021).

$$T = \begin{bmatrix} R & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

(3)'de R ile 3×3 boyutlu dönüşüm matrisi (rotasyon) ve t ile 3×1 boyutlu öteleme vektörü ifade edilmiştir. Slave Kinect'den gelen bir $P_{slave} = [x, y, z, 1]^T$ noktası master sisteminde (4)'de gösterildiği üzere ifade edilir (Bai vd., 2023).

$$P_{master} = T.P_{slave} = R.[x, y, z]^T + t \quad (4)$$

Bu noktadan sonra veriler Azure Kinect'lerden elde edilen güven skorlarına göre (5)'de gösterildiği üzere birleştirilir (Coppens vd., 2025).

$$P_{fused} = \frac{C_1.P_1 + C_2.P_2}{C_1 + C_2 + \epsilon} \quad (5)$$

(5)'de P_1 ve P_2 ile Master ve slave'den gelen eklemeler için 3D eklem koordinatları ve noktalar ϵ ile sifıra bölünmeyi önlemek için kullanılan sabit değeri ifade edilmektedir.

3.6.3. Butterworth filtresi

Butterworth filtresi, elektronik ve dijital sinyal işleme sistemlerinde sıklıkla tercih edilen bir filtreleme yöntemidir. Bu filtre, geçirme bandında mümkün olan en düz (ripple-free) frekans cevabını sağlama amacı güder. Diğer filtre türleriyle karşılaştırıldığında Butterworth filtresi, frekans spektrumunda geçiş bölgesinde daha yumuşak bir eğim sergilemesine rağmen, geçirme bandında sinyalin bozulmadan korunmasına büyük önem atfeder. Bu özelliği, özellikle ses işleme, biyomedikal sinyal analizi ve kontrol sistemleri gibi uygulamalarda tercih edilmesine neden olur (Mahata vd., 2024).

Butterworth filtresinin temel karakteristiği, genlik cevabının monotonik olarak azalan bir yapıya sahip olmasıdır. İdeal bir düşük geçiren Butterworth filtresinin genlik cevabı (6)'da gösterildiği şekilde ifade edilir (Brambilla vd., 2023).

$$|H(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2N}} \quad (6)$$

(6)'da $|H(j\omega)|^2$ ile filtreden geçen sinyalin bant genişliği yanıtının karesi ifade edilmek üzere; ω ile açısal frekans, ω_c ile kesim frekansı ve n ile filtre derecesi ifade edilmektedir. Burada, filtre derecesi arttıkça geçiş bandının daha keskin hale geldiği, ancak aynı zamanda sistemin faz gecikmesi gibi dinamiklerinde de değişimlere yol açtığı aşikârdır.

Bu işlemin devamında Butterworth filtresinin teorik temellerini ve pratik uygulamalardaki performansını ortaya koyarak sinyalin frekans bileşenlerinin nasıl işlendiğini detaylandıran ve sistemin kararlılığını ölçekleyen transfer fonksiyonu ve kutupları, sırasıyla (7) ve (8)'de gösterildiği üzere bulunur.

$$H(s) = \frac{1}{\prod_{k=1}^N (s - s_k)} \quad (7)$$

$$s_k = \omega_c e^{j\frac{\pi(2k+N-1)}{2N}}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (8)$$

(7) ve (8)'de $H(s)$ ile filtre transfer fonksiyonunu, s ile karmaşık frekans değişkeni, N ile kutupların sayısı ve s_k ile her bir k değeri için hesaplanan filtre kutupları ifade edilmiştir. Böylece filtrenin analitik yapısının simetrik ve dengeli bir biçimde olması ve istenilen frekans karakteristiğinin elde edilmesi sağlanır.

Analog filtreyi dijital ortama aktarmak için ise (9)'da gösterildiği üzere en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olan bilinear dönüşüm kullanılır (Huang vd., 2023).

$$s = \frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (9)$$

(9)'da s ile analog sistemlerde kullanılan karmaşık frekans değişkeni, T ile örnekleme periyodu, z ile Z -düzlemi yani dijital filtre tasarımında kullanılan frekans değişkeni ifade edilmektedir. Ayrıca bu dönüşüm sayesinde hem filtrenin kararlılığı hem de frekans tepkisini korunur.

Bilinear dönüşüm sonrası elde edilen $H(z)$ fonksiyonu, doğrudan yazılımsal bir filtreleme algoritmasına dönüştürülebilir. Elde edilen dijital filtre, (10)'da gösterildiği üzere genel fark denklemi formunda ifade edilir.

$$y[n] = b_0x[n] + b_1x[n-1] + b_2x[n-2] + \dots - a_1y[n-1] - a_2y[n-2] - \dots \quad (10)$$

(10)'da, $x[n]$ ile giriş verisi, $y[n]$ ile çıkış verisi, a_i ve b_i katsayıları ise filtre yapısını belirleyen sabitler ifade edilmektedir. Bu katsayılar, bilinear dönüşüm sonucu ortaya çıkan $H(z)$ transfer fonksiyonundan elde edilir. Böylece, filtre yazılımsal bir döngü içinde, her örnekleme anında çıkışı yeniden hesaplayacak şekilde uygulanabilir bir hale gelir.

3.6.4. Double exponential smoothing filtresi

Çift üstel düzleştirme, zaman serilerinde doğrusal trendin mevcudiyetine karşılık gelen kestirimsel zorlukları aşmak üzere geliştirilmiş parametrik bir filtreleme yöntemidir (Jayanth vd., 2024). Bu yöntem, yalnızca gözlemlerin geçmiş değerlerine dayalı olarak mevcut düzeyi hesaplamakla kalmaz, aynı zamanda bu düzeyin zamansal değişim hızını, yani eğilimini de dikkate alarak öngörü üretir. Klasik üstel düzleştirme modelinin yetersiz kaldığı durumlarda, özellikle verinin sürekli artma ya da azalma eğiliminde olduğu örüntülerde, daha tutarlı ve duyarlı bir modelleme sağlar. Ayrıca bu filtre, özellikle düşük hesaplama maliyeti ve parametre ayarlamalarıyla esnek yapı kazanabilmesi sayesinde, gerçek zamanlı analiz uygulamalarında sıkça tercih edilir (Chen vd., 2025).

Bu filtrenin temeli, zaman serisinin her anına ilişkin iki ayrı bileşeni olan düzey (l_t) ve trend (b_t) verilerini güncelleyerek çalışmaya dayalıdır. Düzey bileşeni, serinin o anki ortalama değerine dair bir kestirim sunarken, trend bileşeni bu düzeyin zaman içerisindeki değişim yönünü ve hızını yansıtır. Her iki bileşen, geçmiş bilgilere göre ağırlıklı olarak güncellenir ve bu ağırlıklandırma üstel düzleştirme katsayılarıyla (α ve β) denetlenir. Bu filtrenin düzey güncelleme formülü (11)'de sunulmaktadır.

$$l_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(l_{t-1} + b_{t-1}) \quad (11)$$

(11)'de y_t filtrelenecek değeri, $l_{t-1} + b_{t-1}$ ise bir önceki zaman noktasından yapılan projeksiyonu temsil eder. Düzeyin güncellenmesinde hem mevcut gözleme hem de önceki düzey ve eğilimin bileşimine belli oranlarda güvenilir. Trend güncellemesi (12)'de gösterildiği üzere ifade edilir.

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (12)$$

(12)'de $\ell_t - \ell_{t-1}$ farkı, düzeyin son iki zamandaki farkını verirken, β katsayısı bu farkın eğilim üzerinde ne ölçüde etkili olacağını belirler yani düzeydeki değişimin eğilime nasıl yansıtıldığını ortaya koyar.

Elde edilen bu iki bileşen kullanılarak bir sonraki an için filtreli veri oluşturma işlemi ise (13)'de gösterildiği şekilde yapılır.

$$\hat{y}_{t+h} = \ell_t + hb_t \quad (13)$$

(13)'de \hat{y}_{t+h} ile t zaman noktasından bir sonraki ana ait öngörülen veriyi ve h ile ileriye doğru kaç adımlık tahmin yapılacağı ifade edilmektedir. Bu tahmin eşitliği, doğrusal bir projeksiyon mantığına dayanır. Mevcut düzeyden başlanarak, her adımda trend bileşeni kadar bir artış ya da azalış öngörülür.

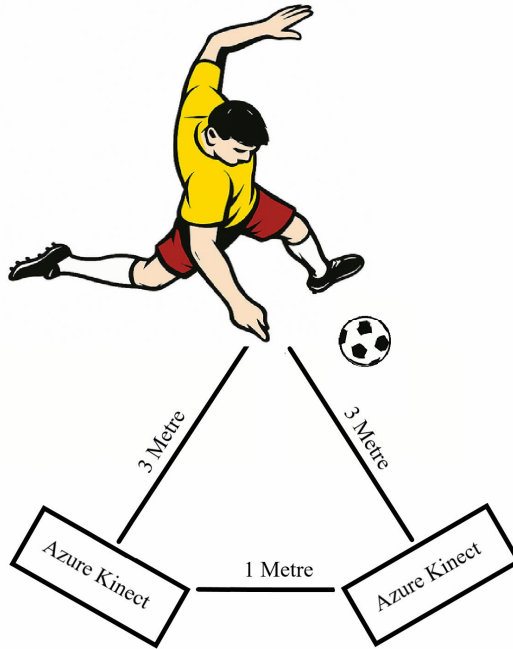
3.6.5. Azure Kinect'in kurulumu

Azure Kinect cihazlarının kurulumu üç adımda yapılmıştır. İlk adımda cihaz, hareketlerin doğru bir şekilde kaydedilmesi için sabit bir yüzeye yerleştirildi ve her bir cihazın kalibrasyonu Azure Kinect'in SDK (Software Development Kit)'sı kullanılarak yapıldı. Bu işlemde, cihaz her ölçüm seansı için çalıştırıldığında, SDK kullanılarak hem cihazın sensörleri (derinlik, RGB kamera, vb.) arasındaki hizalama yazılımsal olarak kontrol edildi hem de otomatik kalibrasyon işlemi yapıldı. İkinci adımda, ölçüm ortamının fiziksel koşullarının sabit kalıp kalmadığı tespit edildi. Bu işlemde ise Şekil 3.4.'de gösterildiği üzere öncelikle ortam sıcaklığının sürekli kontrol edilerek sabit sıcaklıkta (24-26°C) olması sağlandı. Devamında ise Şekil 3.4.'de gösterildiği üzere CEM DT 8820 ışık ölçer ile ortam aydınlanmasının yeterliliği (200-250 Lux) denetlendi (Osmanoğlu vd., 2025).



Şekil 3.4. Termometre ve ışık ölçer resmi.

Son adımda ise cihazlar Şekil 3.5.'de gösterildiği üzere katılımcıdan yaklaşık 3 metre uzaklıkta, yerden 1.10 cm yüksekte ve cihazlar arasında 1 metre olacak biçimde konumlandırılmıştır.

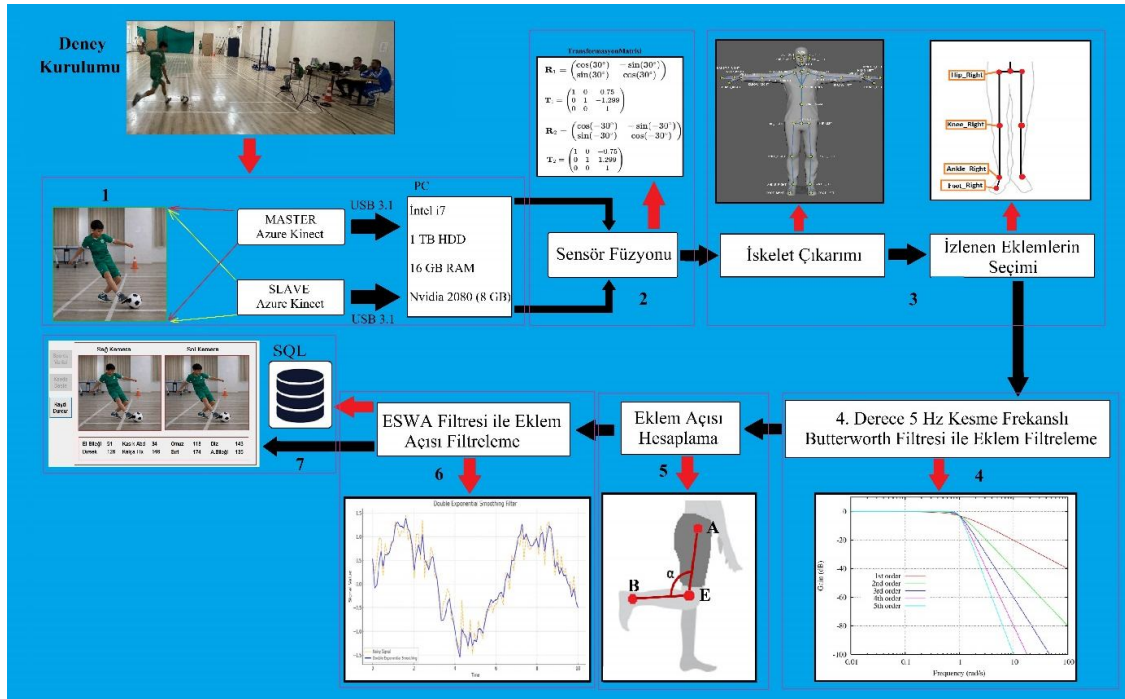


Şekil 3.5. Sensör yerleşimi.

Tüm ölçümler sabit pozisyonda ve aynı ayarlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece, ortam ışığı ve kalibrasyon ayarlarının sürekli olarak doğru şekilde kontrolü, Azure Kinect'in performansını önemli ölçüde artırır. Bu ayarların her kullanımda tutarlı bir şekilde uygulanması, cihazın çevresel değişkenlere daha uyumlu hale gelmesini sağlar ve sensörlerin doğru veri toplama kapasitesini optimize eder (Büker vd., 2024; Wang vd.,2024).

3.6.6. Geliştirilen veri toplama sisteminin çalışma prosedürü

Çalışmada, alanında uzman bir spor bilimci ve fizyolog gözetiminde, standartlaştırılmış protokoller çerçevesinde Mor-Christian şut testi esnasında futbolculardan veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Veri toplama işleminde kullanılan sistemin çalışma prosedürü Şekil 3.6.'da sunulmuştur.



Şekil 3.6. Azure Kinect kullanılarak geliştirilen veri toplama sistemi.

Şekil 3.6.'da gösterilen ilk sistem yedi temel adımdan oluşmaktadır. Bu sistemde veri toplamada kullanılan program Visual Studio 2019 C# ortamında yazılmış ve güçlü donanıma sahip bir bilgisayarda (Intel Core i7 işlemci, 16 GB RAM, 8 GB GPU (Nvidia RTX 2080)) çalıştırılarak ham derinlik ve RGB kamerası verileri 30 fps (frame per second) hızında alınmıştır. Bu sistemin ilk adımında sporcu verilerini toplamak için kullanılan Azure Kinectler, USB 3.1 portu üzerinden bilgisayara bağlanmış ve ve fabrika öncesi kalibrasyon parametreleri kullanılmıştır. Cihazların çalıştırılmasıyla RGB ve derinlik verilerinin elde edilmesi yazılım içerisinde 1 milisaniye zaman aralıklarında çalışan çoklu işlem Threat'leri kullanılarak (Osmanoğlu vd., 2025) yapılmıştır.

Sistemin ikinci adımında ise Azure Kinectlerden elde edilen derinlik verilerinden 3D eklemler koordinatları kısım 3.7'de açıklandığı üzere homojen dönüşüm matrisi ve güven skorlarına göre sensör füzyonuna tabi tutularak birleştirilmiştir.

Üçüncü adımda sensör füzyonu ile birleştirilen 3D eklem koordinatları kullanılarak eklem çıkartımı işlemi yapılmış ve sporcuların sağ taraflarına ait tüm eklemler izlenebilir hale getirilmiştir. Bu adımda son olarak ise çıkartılan bu eklemlerden Mor-Christian Şut Testinde sürekli olarak izlenecek olan eklemlerin seçimi yapılmıştır.

Dördüncü adımda ise sürekli olarak izlenecek olan 3D eklem verileri üzerinde filtreleme işlemi yapılmıştır. Azure Kinectler'den elde edilen 3D eklem koordinatı verilerinde titreşim tabanlı gürültü oluşabilmektedir (Angelakis vd., 2025). Bu yüzden bu alanda yapılan çalışmalarda, daha gürültüsüz veri elde etmek için, filtre kullanımı tercih edilmektedir. Bu sebepten çalışmada da (Bertram vd., 2023)'deki çalışmada olduğu ve kısım 3.8'de açıklandığı üzere 4'üncü derece ve 5 Hz kesme frekansına (insan vücudunun doğal titreşim hızı) sahip Butterworth filtresi, Mor-Christian Şut Testinde sürekli izlenen eklemlerin 3D eklem koordinatlarının ayrı ayrı filtrelenmesinde kullanılmıştır.

Bu işlemin ardından beşinci adımda, izlenen eklemlerin Butterworth filtresi ile filtrelenen 3D koordinatları kullanılarak eklem açılarının hesaplanması işlemi yapılmıştır. Bu işlemde iki eklem arasındaki açıyı hesaplama süreci, vektör cebiri ve üç boyutlu trigonometri kurallarına dayanarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlem, Butterworth filtresi ile filtrelenen 3D eklem noktalarının konumları üzerinden (14)'de gösterildiği üzere dot product kullanılarak gerçekleştirilir (Sohn vd., 2021).

$$u = A - E, v = B - E \quad (14)$$

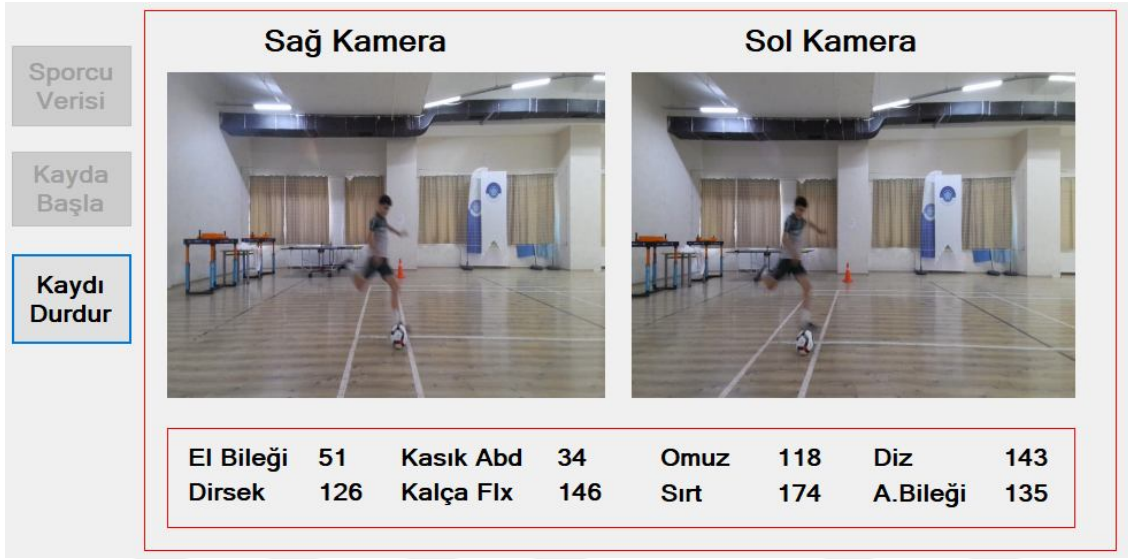
(14)'de merkez (E), birincil uç (A) ve ikincil uç (B) olmak üzere tanımlandığında, her iki uçtan merkeze doğru yönelen vektörler elde edilmektedir. Ardından, bu vektörlerin iç çarpımı ve bireysel büyüklükleri hesaplanır (15).

$$u \cdot v = \|u\| \cdot \|v\| \cdot \cos \alpha \quad (15)$$

(15)'de $u \cdot v$ ile iki vektörün iç çarpımı, $\|u\|$ ve $\|v\|$ ile vektörlerin büyüklükleri ve α ile vektörler arasında kalan açı ifade edilmektedir.

Altıncı adımda ise hesaplanan bu açı değerleri yüksek hızda (30 fps) elde edildiğinden görsel olarak takip edilmesini kolaylaştırmak için kısım 3.9'da açıklanan Double Exponential Smoothing filtresi kullanılmıştır.

Yedinci ve son adımda ise ilk yapılan işlem Double Exponential Smoothing ile filtrelenen aç ı değerlerinin SQL (Structured Query Language) veritabanına kaydedilmesi ve eş zamanlı olarak Azure Kinectlerin RGB kameralarından elde edilen görüntülerin ise ayrı bir kayıt klasörüne kaydedilmesidir. Bu ad ımın son işlemi ise kaydedilen a değerleri ve Azure Kinectlerin RGB kameralarından elde edilen görüntülerin yine eş zamanlı olarak kullanıcıya program arayüzünde sunulmasıdır. Kullanılan programın görünümü ise Şekil 3.7.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Veri toplama programı.

Bu program çalıştırıldığında öncelikle sporcu verisi butonuna tıklanarak sporcu bilgilerinin girildiği Şekil 3.8.’de gösterilen sporcu kayıt ekranı açılmaktadır.

Ad Soyad

Yaş

Spor Yaşı

Vuruş Türü
Sağ st 3

Kaydet

Şekil 3.8. Sporcu kayıt ekranı.

Bu kayıt ekranında vuruş türü ile birlikte sporcu adı soyadı, yaşı, spor yaşı ve vuruş türü bilgileri girildikten sonra kaydet butonuna tıklanarak veritabanına kaydedilmek üzere kayıt bilgileri alınmakta ve kaydet butonuna tıklama işleminden sonra bu ekran kapanmaktadır. Devamında ise Şekil 3.7.'de gösterildiği üzere kayda başla butonuna tıklanarak kayıt işlemine başlanılmaktadır. Bu işlemde master ve slave kameralardan elde edilen verilerle birlikte hareket açıları kullanıcıya antrenöre eş zamanlı sunulmaktadır. Kaydı durdur butonuna tıklandığında ise kayıt işlemi sonlandırılmaktadır.

3.7. Katılımcı pozisyonu ve talimatlar

Katılımcılardan, şut sırasında standart bir pozisyonda bulunmaları ve belirtilen iç vuruş tekniğini belirli bir hız ve güçle gerçekleştirmeleri istendi. Diz, kalça ve ayak bileği eklem açılarını en doğru şekilde analiz edebilmek için katılımcılardan, vuruş sırasında doğal ve rahat bir duruş sergilemeleri talimatı verildi. Her katılımcıya vuruşlar öncesi birkaç deneme yapmaları sağlandı, böylece hareket sırasında kasılmalar minimuma indirildi ve doğru eklem açıları elde edildi.

3.8. Eklem açıları ve ölçüm süreci

Azure Kinect kullanılarak geliştirilen veri toplama sistemi aracılığıyla, katılımcıların Mor-Christian Şut Testi esnasındaki diz, kalça ve ayak bileği eklem açıları elde edilmiştir (Şekil 3.9). Bu süreçte kalça eklemi için sagittal (fleksiyon/ekstansiyon) ve frontal (abduksiyon/adduksiyon) düzlemlerde, diz eklemi için sagittal düzlemde fleksiyon/ekstansiyon, ayak bileği için ise sagittal düzlemde plantar/dorsifleksiyon açıları hesaplanmıştır. İç vuruş tekniği sırasında eklemlerin hareket kinematiği anlık olarak kaydedilmiş, vuruş öncesi, vuruş anı ve vuruş sonrası olmak üzere üç ayrı evredeki eklem açıları ölçülmüştür. Kinect Azure cihazının 3D derinlik algılama ve eklem izleme teknolojisi sayesinde, vuruşun tüm aşamaları yüksek doğrulukla takip edilmiştir. Eklem açıları; destek ayağın yere temas ettiği andan, topa temas anına ve topun ayaktan ayrıldığı ana kadar geçen sürede (yaklaşık 15–20 ms) analiz edilmiştir. Her bir katılımcı, Mor-Christian Şut Testi kapsamında 16 iç vuruş gerçekleştirmiştir. Her vuruşta üç eklem (kalça, diz ve ayak bileği) için üç farklı zaman diliminde (vuruş öncesi, vuruş anı, vuruş sonrası) ölçüm alınmıştır.

Bu doğrultuda, her sporcu başına toplam: $16 \text{ vuruş} \times 3 \text{ eklem} \times 3 \text{ zaman noktası} = 144$ eklem açısı ölçümü yapılmıştır. Toplam 22 katılımcı ($n = 22$) dikkate alındığında, çalışma kapsamında $22 \times 144 = 3.168$ adet ham eklem açısı ölçümü toplanmıştır.

İstatistiksel analizlerin güvenilirliğini artırmak ve verilerin homojenliğini sağlamak amacıyla, her bir katılımcının ilgili eklem ve zaman evresine ait ölçümleri ortalama alınarak analiz setine aktarılmıştır. Böylece her sporcu için toplam 9 ortalama değer ($3 \text{ eklem} \times 3 \text{ zaman}$) oluşturulmuştur. Sonuç olarak analiz veri seti, $22 \text{ sporcu} \times 9 \text{ parametre} = 198$ ölçüm hücresi üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Antropometrik noktaları belirlenmesi

Microsoft Azure Kinect kullanılarak geliştirilen veri toplama sistemi aracılığıyla, iç vuruş tekniklerini gerçekleştirirken sağ bacak üzerindeki kalça, diz, ayak bileği (lateral malleol) ve gövdeye ait eklem açıları ölçülmüştür. Bu noktalar, futbol vuruş teknikleri sırasında alt ekstremitte ve gövdenin hareketlerini analiz etmek amacıyla belirlenmiştir.

Kalça eklemi açısı (pelvis ile os. femur arasındaki eklem, art. coxae): Kalça eklemi, vücudun uyluk bölgesinin hareketlerinden sorumludur. İç vuruş sırasında kalça eklemi, uyluğun öne veya arkaya (fleksiyon/ekstansiyon), yana (abduksiyon/adduksiyon) ve uzun eksen etrafında (iç/dış rotasyon) hareket etmesini sağlar. Bu hareketler, vuruş tekniğinin doğruluğu ve şiddeti açısından kritik öneme sahiptir.

Diz eklem açısı (os. femur ve os. tibia arasındaki eklem, art. genus): Diz eklemi, uyluk kemiği (os. femur) ile os. tibia arasındaki bağlantıdır. Diz eklemi, bacağın öne bükülmesi (fleksiyon) veya tamamen düzelmesi (ekstansiyon) hareketlerini sağlar. İç ve üst vuruş sırasında diz eklemi, vuruşun şiddetini ve yönünü kontrol eden anahtar eklemdir.

Ayak Bileği Eklem Açısı (os. tibia ve os. fibula ile os. talus arasındaki eklem, art. Talocruralis): Ayak bileği eklemi, ayağın yukarı (dorsifleksiyon) veya aşağı (plantar fleksiyon) doğru hareket etmesine, ayrıca ayağın dışa (eversiyon) veya içe (inversiyon) dönmesine olanak tanır. İç vuruş ve üst vuruş sırasında ayak bileği eklem açısı, topa yapılan temasın yönünü ve kuvvetini belirler.



Şekil 3.9. Topa vuruş esnasında ölçülen eklem açıları ve antropometrik noktalar.

3.9. Isınma Protokolü

Çalışma, Microsoft Kinect Azure cihazının açık alan ışık koşullarından etkilenebileceği göz önünde bulundurularak kapalı bir salonda gerçekleştirilmiştir. Tüm katılımcılar, kendi spor ayakkabılarını giymiştir. Sporcular, uygulamaya başlamadan önce yaklaşık 10 ila 15 dakika süren dinamik bir ısınma protokolü uygulamıştır. Bu ısınma, vücut sıcaklığını artırmak ve eklem hareket açıklığını geliştirmek amacıyla hafif tempo koşular, bacak savurma hareketleri ve çeşitli dinamik esneme egzersizlerini içermiştir (Şekil 3.10.).

Isınmanın ardından katılımcılar, Mor-Christian Şut Testi'ne uygun olarak hazırlanan düzende, yalnızca iç vuruş tekniğini kullanarak belirlenen hedeflere şut atışlarını gerçekleştirmiştir. Her katılımcı, bu denemelerde şut isabeti ve kinematik verilerin güvenilirliğini sağlamak amacıyla, doğal hızlarında ve vuruş doğruluğuna odaklanarak hareket etmiştir. Şutlar sırasında her sporcu, kendisi için en uygun teknikle iç vuruşlarını tamamlamıştır.



Şekil 3.10. Uygulama öncesinde sporcuların ısınma protokolünden bir görünüm.

3.10. Mor-Christian Şut Testi

Bu çalışmada futbolcularda şut isabet başarısını değerlendirmek amacıyla Mor-Christian Şut Testi'nin klasik protokolü uygulanmıştır. Testte, katılımcılara sağ üst, sol üst, sağ alt ve sol alt olmak üzere toplam dört hedef bölgesi gösterilmiştir. Her hedefe dört kez vuruş yapılmış, böylece her katılımcı toplam 16 şut gerçekleştirmiştir.

Puanlama, testin özgün sistemine uygun olarak yapılmıştır. Topun hedef bölgesine isabet etmesi durumunda 10 puan, hedefe komşu bölgeye isabet etmesi halinde 4 puan, hedef dışı kalan vuruşlarda ise 0 puan verilmiştir. Bu doğrultuda, her katılımcının ulaşabileceği maksimum puan 160, minimum puan ise 0 olarak belirlenmiştir.

Elde edilen toplam puanlar, şut performansının nicel olarak değerlendirilmesinde kullanılmış ve futbolcuların iç vuruş tekniği ile Mor-Christian Test skoru arasındaki ilişkileri analiz etmek amacıyla diğer kinematik değişkenlerle karşılaştırılmıştır (Şekil 3.12).

3.10.1. Amaç, geçerlilik ve güvenilirlik

Bu testin temel amacı, futbolda şut isabet yeteneğini nesnel olarak değerlendirmektir. Yapılan araştırmalarda, testin geçerlilik katsayısı 0,91, test-tekrar-test yöntemiyle belirlenen güvenilirlik katsayısı ise 0,98 olarak rapor edilmiştir. Test, farklı düzeylerde futbol oynayan sporcular üzerinde uygulanmış olup, genç ve yetişkin yaş gruplarında da kullanılabilirliği desteklenmiştir.

3.10.2. Teçhizat ve alan

Mor-Christian Şut Testi'nin uygulanabilmesi için gerekli teçhizatlar şunlardır: kayıt çizelgesi, kalem, şerit mezura, işaret konileri, futbol topları ve işaret bantları. Deneysel uygulama, açık saha koşullarında veya kapalı spor alanında, en az 16 metre uzunluğunda ve 9 metre genişliğinde düz bir yüzeye sahip bir alanda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11). Bu ölçüler, futbolcuların vuruş mekaniğini rahatça sergileyebilmesi ve veri kaydının kesintisiz yapılabilmesi için yeterli alan sağlamaktadır.



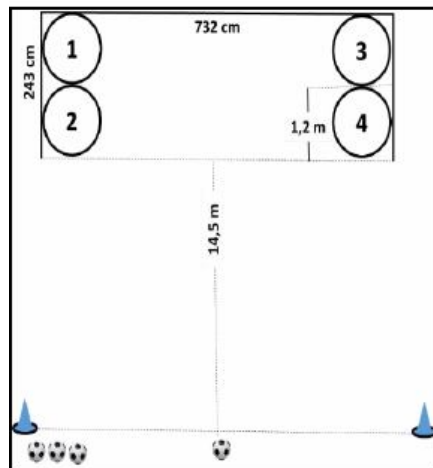
Şekil 3.11. Ölçümlerin gerçekleştirildiği saha ortamı.

3.10.3. Hazırlık ve uygulama

Test alanı, Şekil 3.12.'de gösterildiği şekilde organize edilmiştir. Uygulama sırasında standart boyutlara sahip bir futbol kalesi veya bu kaleye eşdeğer ölçülerde düz bir duvar kullanılmıştır. Hedef bölgeleri, kalenin dört köşesine yerleştirilen ve çapı 121 cm olan dört dairesel hedeften oluşmaktadır. Vuruş çizgisi, kaleye 14.5 metre mesafede olacak şekilde zemine paralel biçimde işaretlenmiştir. Her katılımcı, topu bu çizginin arkasına sabit şekilde yerleştirerek iç vuruş tekniğiyle belirlenen hedeflere şut çekmiştir. Katılımcıların tamamının baskın ayağı sağ olduğundan, tüm vuruşlar sağ ayak ile gerçekleştirilmiştir. Her bir hedef bölgesine dörder vuruş yapılmış ve toplamda 16 şuttan oluşan test tamamlanmıştır. Vuruşlar, sağ üst, sol üst, sağ alt ve sol alt hedefler sırasıyla olacak şekilde sistematik biçimde uygulanmıştır.

3.10.4. Puanlama

Test sırasında, her biri dört kez hedeflenen dört hedef bölgesine toplam 16 vuruş yapılmıştır. Sporcuların topu doğru hedefe isabet ettirmesi durumunda 10 puan, hedefe komşu alana isabet ettirmesi halinde 4 puan verilmiş; hedef dışı vuruşlara ise puan verilmemiştir. Örneğin, üst sağ hedefe isabet eden bir şut başarılı kabul edilerek 10 puan ile değerlendirilirken, şutun komşu bölgeye gitmesi durumunda 4 puan verilmiştir. Testin toplam skoru, her futbolcunun 16 denemeden elde ettiği toplam puana dayalı olarak hesaplanmıştır (Mor ve Christian, 1976; Strand ve Wilson, 1993). Her katılımcı için 16 şutluk Mor-Christian Şut Testi sonucunda elde edilen toplam puan, analizlerde bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Bu toplam puan, her bir hedefe yapılan vuruşlardan alınan puanların toplamını ifade etmektedir.

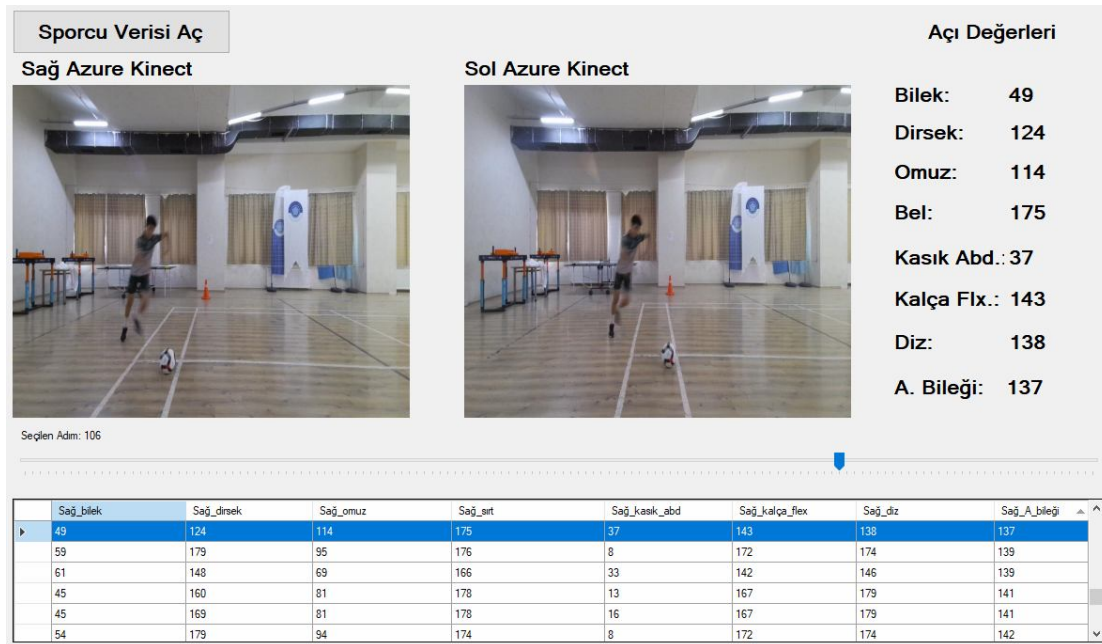




Şekil 3.12. Mor-christian şut testi.

3.11. Kaydedilen Verilerin Ayrıştırılması ve Analizi

Bu çalışmada gerçekleştirilen veri toplama sürecinde, katılımcıların iç vuruş sırasında gerçekleştirdikleri tüm hareket verileri, araştırmacılar tarafından geliştirilen Microsoft Azure Kinect tabanlı veri toplama sistemi ile izlenerek kaydedilmiştir. Ardından, vuruş öncesi, vuruş anı ve vuruş sonrası olmak üzere bu üç ayrı zaman dilimi için her bir katılımcıya ait kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları, yine araştırmacılar tarafından geliştirilen ve Şekil 3.13’de sunulan veri ayrıştırma programı kullanılarak ayrıştırılmıştır.



Şekil 3.13. Veri ayrıştırma programı.

Veri ayrıştırma programı yine Visual Studio 2019 C# ortamında yazılmıştır. Program çalıştırıldığında “Sporcu Verisi Aç” butonuna tıklanarak ayrıştırma yapılacak veri grubunun seçimi yapılır. Seçilen bu dosyadaki veriler ayrı ayrı gösterilecek şekilde hem datagridview’de hem de ekranın sağındaki label’larda gösterilir.

Ayrıştırma amacıyla veriler arasında gezinme işlemi ise kullanıcının tercihi göre iki farklı biçimde yapılabilmektedir. İlk biçim datagridview’deki hücrelerden her hangi birine tıklanarak yapılır. Bu işlemde tıklama yapılan hücrenin satır indeksi; datagridview kontrolünde, datagridview’ün seçilen satırlardaki verilerin labellarda gösterilmesinde ve incelenen satırdaki verilere ait sağ ve sol Azure Kinectler için ayrı ayrı kaydedilen RGB görüntülerinin kullanıcıya-antrenöre sunulmasında kullanılmaktadır. Gezinme işleminin ikinci biçimi ise trackbar kullanılarak yapılmaktadır. Bu kullanımda açılan sporcu verilerinin sayısı

indeks verisi olarak trackbar'a aktarılır. Devamında ise trackbar'ın kaydırma işlemi elde edilen indeks değeri datagridview'in satırının seçiminde, satırdaki verilerin labellara aktarılmasında ve satırdaki verilere ait sağ ve sol Azure Kinect için ayrı ayrı kaydedilen RGB görüntülerinin kullanıcıya-antrenöre sunulmasında kullanılmaktadır.

Ayrıştırma amacıyla veriler arasında gezinme işlemi sonrası her bir katılımcının vuruş öncesi, vuruş anı ve vuruş sonrası olmak üzere bu üç ayrı zaman dilimi için kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları verileri tespit edilerek SPSS ortamına aktarılmıştır. Elde edilen açı verileri, katılımcıların Mor-Christian Şut Testi puanları ile eşleştirilmiş ve ilişkisel analizler için veri setleri oluşturulmuştur. Bu analizlerde, istatistiksel anlamlılık düzeyi olarak $p < 0.05$ kabul edilmiştir. Verilerin analizinde SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) yazılımı kullanılmış; tanımlayıcı istatistikler, korelasyon analizleri, tekrarlayan ölçümlerde ANOVA ve çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu süreç sonunda, araştırmanın hipotezlerine yönelik anlamlı bulgular sistematik biçimde raporlanmış ve yorumlanmıştır.

3.12. İstatistiksel Analiz

Araştırmada elde edilen verilerin analizinde SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 26.0 yazılımı kullanılmıştır. Tüm istatistiksel analizlerde anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir. Verilerin tanımlayıcı ve karşılaştırmalı analizleri aşağıda belirtilen yöntemler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların tanımlayıcı özelliklerine (yaş, boy, vücut ağırlığı, vücut kütle indeksi ve spor geçmişi) ilişkin veriler için tanımlayıcı istatistikler (ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerler) hesaplanmıştır.

Eklem açıları (kalça, diz, ayak bileği) ile Mor-Christian Şut Testi puanları arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesinden önce, değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro–Wilk normallik testi ile incelenmiştir. Verilerin normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir ($p > 0.05$). Normallik varsayımı sağlandığından, eklem açıları ile Mor-Christian Şut Testi puanları arasındaki doğrusal ilişkiyi belirlemek amacıyla Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen korelasyon katsayıları (r), ilişkinin yönünü (pozitif/negatif) ve gücünü (zayıf, orta, güçlü) belirlemek için kullanılmıştır.

Eklem açıları ile şut puanları arasındaki nedensel ilişkiyi ortaya koymak için çoklu doğrusal regresyon analizi (Multiple Linear Regression) gerçekleştirilmiştir. Regresyon modelinde bağımsız değişkenler olarak vuruş anı kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları; bağımlı değişken olarak ise Mor-Christian Şut Testi toplam puanları kullanılmıştır. Modelin

genel anlamlılığı ANOVA tablosu p-değeri ile, açıklayıcılık düzeyi ise R^2 katsayısı ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, aynı katılımcılardan üç farklı zaman noktasında (vuruş öncesi, vuruş anı, vuruş sonrası) elde edilen eklem açıları arasındaki farkları belirlemek amacıyla Tekrarlayan Ölçümlerde ANOVA (Repeated Measures ANOVA) testi uygulanmıştır. Bu analiz ile, zaman faktörüne bağlı olarak eklem açıları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olup olmadığı değerlendirilmiştir. ANOVA sonucunda anlamlı fark tespit edilen değişkenlerde, farkın hangi evreler arasında olduğunu belirlemek amacıyla Bonferroni düzeltilmeli post-hoc ikili karşılaştırmalar yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda;

- Tanımlayıcı analizler, eklem açıları ve şut performansının genel dağılımını belirlemek için,
- Pearson korelasyon analizi, değişkenler arası doğrusal ilişkileri incelemek için,
- Çoklu regresyon analizi, şut performansını yordayan değişkenleri saptamak için,
- Tekrarlayan ölçümler ANOVA ve post-hoc testleri ise vuruş evreleri arasındaki açı farklılıklarını değerlendirmek için kullanılmıştır.

Sonuç olarak, çalışmada hem tanımlayıcı, hem ilişkisel, hem de karşılaştırmalı istatistiksel analiz yöntemleri birlikte kullanılarak, iç vuruş tekniği sırasında eklem açıları ile şut başarısı arasındaki bağlantılar çok yönlü olarak incelenmiştir.

3.12.1. Güç analizi raporu

Bu araştırmada, iç vuruş sırasında futbolcularda oluşan kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları ile şut isabet başarısı (Mor-Christian Şut Testi puanları) arasındaki ilişkinin incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırmada kullanılan örneklem büyüklüğünün istatistiksel olarak yeterli olup olmadığını değerlendirmek amacıyla güç analizi (power analysis) yapılmıştır.

Analiz kapsamında, davranış ve spor bilimleri alanında karşılaştırmalı istatistiklerde yaygın biçimde kabul edilen parametreler temel alınmıştır:

- Anlamlılık düzeyi (α): 0.05
- Hedef güç ($1-\beta$): 0.80 (yani %80)

- Etki büyüklüğü (Cohen's d): 0.5 (orta düzey etki)

Bu parametrelere göre G*Power 3.1 programı referans alınarak yapılan güç analizi sonucunda, korelasyon ve regresyon türü analizler için önerilen minimum örneklem büyüklüğünün yaklaşık 21–25 katılımcı aralığında olduğu belirlenmiştir.

Çalışmaya dahil edilen 22 erkek futbolcu, bu minimum örneklem gereksinimini karşılamakta ve istatistiksel olarak güvenilir analizlerin yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Her katılımcı, Mor-Christian Şut Testi kapsamında 16 iç vuruş gerçekleştirmiştir. Bu doğrultuda toplamda 352 vuruş verisi (22×16) elde edilmiştir. Her bir vuruşta üç eklem (kalça, diz, ayak bileği) ve üç zaman evresi (vuruş öncesi, anı, sonrası) için ölçüm alınmıştır. Böylece her sporcu için 9 kinematik parametre, toplamda 198 değişken hücresi (22×9) analiz setine dahil edilmiştir. Toplanan bu kapsamlı veri, hem bireysel düzeyde tanımlayıcı istatistikler (ortalama, standart sapma, minimum, maksimum) hem de ilişkisel düzeyde korelasyon, çoklu regresyon ve tekrarlayan ölçümler ANOVA analizlerinin güvenilir biçimde yürütülmesine olanak tanımıştır. Sonuç olarak, mevcut örneklem büyüklüğü ve veri yapısı, çalışmanın hipotezlerini test etmek için yeterli istatistiksel güce sahiptir. Yapılan analizlerde anlamlılık düzeyine ulaşılması ($p < 0.05$) da bu durumu desteklemektedir.

BÖLÜM 4

4. BULGULAR

4.1. Katılımcıların Tanımlayıcı Özellikleri

Tablo 4.1’de araştırmaya katılan erkek futbolcuların tanımlayıcı özellikleri sunulmuştur. Katılımcıların yaş ortalaması 13.05 ± 0.21 yıl olup, yaş aralığı 13–14 yıl arasında değişmektedir. Katılımcı grubunun boy ortalaması 161.55 ± 7.48 cm, vücut ağırlığı ortalaması ise 47.82 ± 6.81 kg olarak belirlenmiştir.

Katılımcıların vücut kütle indeksi (VKİ) ortalaması 18.29 ± 1.99 kg/m² olup, değerler 15.1 ile 22.2 arasında değişmektedir. Bu değerler, çocuk ve ergen sporcular için beklenen sağlıklı aralıkta yer almaktadır.

Spor geçmişi ortalaması 4.67 ± 1.49 yıl olup, katılımcıların antrenman deneyimleri 2 ila 7 yıl arasında değişmektedir. Çalışmaya katılan tüm sporcuların baskın ayağı sağdır (n = 22).

Tablo 4.1. Araştırmaya katılan erkek futbolcuların tanımlayıcı özellikleri (n=22).

Değişkenler	$\bar{x} \pm S$	Min	Maks	Medyan
Yaş (yıl)	13.05 ± 0.21	13	14	13
Boy (cm)	161.55 ± 7.48	142	176	163
Vücut ağırlığı (kg)	47.82 ± 6.81	33	65	48
Vücut kütle indeksi (kg/m ²)	18.29 ± 1.99	15.1	22.2	18.35
Spor geçmişi (yıl)	4.67 ± 1.49	2	7	4
Dominant ayak	Sağ (n = 22)	–	–	–

Tablo 4.2’de katılımcıların kalça, diz ve ayak bileği eklemlerine ilişkin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri ile Mor-Christian Şut Testi toplam puanlarına ait tanımlayıcı istatistikler sunulmuştur. Veriler, vuruş öncesi (VÖ), vuruş anı (VA) ve vuruş sonrası (VS) evrelerine göre sınıflandırılmıştır.

Kalça eklemi açısından ortalama açı değerleri VÖ aşamasında $157.85^\circ \pm 9.83$, VA aşamasında $153.01^\circ \pm 10.34$ ve VS aşamasında $142.61^\circ \pm 9.96$ olarak hesaplanmıştır. Diz eklemine ait ortalama değerler VÖ’de $143.65^\circ \pm 12.28$, VA’da $130.80^\circ \pm 17.36$ ve VS’de $134.47^\circ \pm 16.89$ şeklindedir. Ayak bileği ekleminde ise VÖ için ortalama $116.60^\circ \pm 13.14$, VA için $126.96^\circ \pm 15.65$ ve VS için $137.37^\circ \pm 15.27$ olarak bulunmuştur.

Mor-Christian Şut Testi toplam puan ortalaması 46.64 ± 24.26 olup, minimum değer 14.00, maksimum değer ise 98.00'dir. Toplam şut puanı ortalaması 2.91 ± 4.13 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.2. Katılımcıların şut puanı ve eklem açılarına (°) ait tanımlayıcı istatistikler.

Değişkenler	Min	Max	Ortalama (⁰)	SS
Kalça (Vuruş Öncesi)	111	175	157,85	9,83
Kalça (Vuruş Anı)	105	175	153,01	10,34
Kalça (Vuruş Sonrası)	101	169	142,61	9,96
Diz (Vuruş Öncesi)	95	173	143,65	12,28
Diz (Vuruş Anı)	84	170	130,80	17,36
Diz (Vuruş Sonrası)	83	176	134,47	16,89
AyakBileği (Vuruş Öncesi)	80	153	116,60	13,14
AyakBileği (Vuruş Anı)	81	165	126,96	15,65
AyakBileği (Vuruş Sonrası)	81	170	137,37	15,27
Mor-Christian Şut Testi Toplam Puan	14	98	46,64	24,26
Toplam Şut Puanı	0	10	2,91	4,13

Tablo 4.3'te, katılımcıların kalça, diz ve ayak bileği eklem açılarına ilişkin olarak, zaman evrelerine göre anlamlı bir farklılık olup olmadığını incelemek amacıyla üç ayrı tek yönlü ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir.

Kalça eklem açıları zaman evrelerine göre anlamlı düzeyde farklılık göstermiştir ($F = 326.317$, $p < .001$, $\eta^2 = .482$). Tukey HSD post hoc testi sonuçlarına göre vuruş öncesi (VÖ) açı değerleri, hem vuruş anı (VA) hem de vuruş sonrası (VS) değerlerinden anlamlı düzeyde yüksektir. Ayrıca vuruş anındaki değerler, vuruş sonrası değerlerinden daha yüksektir ($1 > 2$; $1 > 3$; $2 > 3$).

Diz eklem açıları açısından da zaman evreleri arasında anlamlı bir fark belirlenmiştir ($F = 120.179$, $p < .001$, $\eta^2 = .255$). Tukey HSD analizine göre vuruş öncesi açı değerleri hem vuruş anı hem de vuruş sonrası değerlerinden anlamlı biçimde yüksektir. Ayrıca vuruş sonrası evredeki açı, vuruş anına göre daha yüksek bulunmuştur ($1 > 2$; $1 > 3$; $3 > 2$).

Ayak bileği eklem açıları zaman evrelerine göre anlamlı farklılık göstermiştir ($F = 222.422$, $p < .001$, $\eta^2 = .388$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre vuruş öncesi açı değerleri

hem vuruş anı hem de vuruş sonrası değerlerinden anlamlı düzeyde düşüktür. Ayrıca vuruş anındaki açı değerleri vuruş sonrası değerlerinden anlamlı düzeyde düşüktür ($1 < 2, 3; 2 < 3$).

Tablo 4.3. Eklem açılarına (°) ilişkin tanımlayıcı değerler (zaman evrelerine göre).

Eklem	Zaman	Ortalama (°)	SS	F	p	η^2	Farkın Kaynağı
Kalça	Vuruş Öncesi	157,85	9,829	326,317	,000	,482	1 > 2, 3; 2 > 3
	Vuruş Anı	153,01	10,341				
	Vuruş Sonrası	142,61	9,955				
Diz	Vuruş Öncesi	143,65	12,277	120,179	,000	,255	1 > 2, 3; 3 > 2
	Vuruş Anı	130,80	17,359				
	Vuruş Sonrası	134,47	16,894				
Ayak Bileği	Vuruş Öncesi	116,60	13,141	222,422	,000	,388	1 < 2, 3; 2 < 3
	Vuruş Anı	126,96	15,650				
	Vuruş Sonrası	137,37	15,266				

Tablo 4.4'te, katılımcıların vuruş öncesi, vuruş anı ve vuruş sonrası fazlarında ölçülen kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları ile Mor-Christian Şut Testi puanları arasındaki Pearson korelasyon katsayıları (r) ve anlamlılık düzeyleri (p) verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, Mor-Christian Şut Testi puanı ile kalça vuruş sonrası arasında ($r = .125, p < .05$) ve ayak bileği vuruş öncesi arasında ($r = .114, p < .05$) pozitif yönde anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Diğer değişkenler arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır.

Tablo 4.4. Mor-Christian şut puanı ile eklem açıları (°) arasındaki korelasyonlar

Değişken	r	p
Kalça (Vuruş Öncesi)	-,025	,636
Kalça (Vuruş Anı)	,065	,221
Kalça (Vuruş Sonrası)	,125	,019
Diz (Vuruş Öncesi)	-,051	,338
Diz (Vuruş Anı)	,029	,593
Diz (Vuruş Sonrası)	,027	,611
Ayak Bileği (Vuruş Öncesi)	,114	,033
Ayak Bileği (Vuruş Anı)	-,035	,515
Ayak Bileği (Vuruş Sonrası)	,015	,785

Tablo 4.5'te katılımcıların vuruş öncesinde ölçülen kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları ile Mor-Christian Şut Testi puanları arasındaki çoklu doğrusal regresyon analizine ilişkin bulgular sunulmuştur.

Model genel olarak istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($R = .334$, $R^2 = .112$). Bağımsız değişkenler arasında, ayak bileği vuruş öncesi değişkeni şut puanlarını anlamlı bir yordayıcı etkide bulunmuştur ($\beta = 0.331$, $p = .009$). Diğer değişkenler için anlamlı bir yordama etkisi saptanmamıştır.

Tablo 4.5. Şut puanlarını yordayan değişkenler.

Değişkenler	R	R ²	B	SH	β	t	p
(Sabit)	.334	.112	-40.433	131.942		-.306	.763
Kalça Vuruş Öncesi			.218	.732	.068	.298	.769
Diz Vuruş Öncesi			-.121	.464	-.059	-.260	.798
Ayak Bileği Vuruş Öncesi			.617	.416	.331	2.286	.009

Tablo 4.6'da katılımcıların vuruş anında ölçülen kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları ile Mor-Christian Şut Testi puanları arasındaki çoklu doğrusal regresyon analizine ilişkin bulgular verilmiştir.

Modelin genel sonuçları anlamlı bulunmamıştır ($p > .05$). Bağımsız değişkenlerin hiçbiri şut puanlarını anlamlı biçimde yordamamıştır.

Tablo 4.6. Şut puanlarını yordayan değişkenler.

Değişkenler	R	R ²	B	SH	β	t	p
(Sabit)	.075	.006	-.443	4.075		-.109	.913
Kalça Vuruş Anı			.023	.022	.058	1.071	.285
Diz Vuruş Anı			.007	.013	.028	.504	.614
Ayak Bileği Vuruş Anı			-.008	.014	-.031	-.574	.566

Tablo 4.7'de katılımcıların vuruş sonrasında ölçülen kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları ile Mor-Christian Şut Testi puanları arasındaki çoklu doğrusal regresyon analizine ilişkin bulgular verilmiştir.

Model genel olarak istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($R = .128$, $R^2 = .016$). Bağımsız değişkenler arasında, kalça vuruş sonrası değişkeni şut puanlarını anlamlı biçimde

yordamıştır ($\beta = 0.127$, $p = .019$). Diğer değişkenler için anlamlı bir yordama etkisi saptanmamıştır.

Tablo 4.7. Şut puanlarını yordayan değişkenler.

Değişkenler	R	R ²	B	SH	β	<i>t</i>	<i>p</i>
(Sabit)	.128	.016	-5.745	3.967		-1.448	.149
Kalça Vuruş Sonrası			.053	.022	.127	2.356	.019
Diz Vuruş Sonrası			.002	.014	.007	.119	.905
Ayak Bileği Vuruş Sonrası			.007	.015	.025	.445	.656

Tablo 4.8’de, katılımcıların Mor-Christian Şut Testi sırasında farklı hedef bölgelerine (sağ üst, sağ alt, sol üst, sol alt) yaptıkları vuruşlara ait vuruş anı eklem açıları ve bu hedeflere ilişkin ortalama şut puanları verilmiştir.

Kalça eklemine ilişkin ölçümler incelendiğinde, tüm hedef bölgelerinde vuruş öncesi ortalama açıların vuruş anına ve vuruş sonrasına kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Vuruş öncesinde en yüksek ortalama açı sağ üst bölgede (Ort. = 160.13°), en düşük ise sol üst bölgede (Ort. = 155.89°) kaydedilmiştir. Vuruş anında değerler birbirine yakın olmakla birlikte en yüksek ortalama sol alt bölgede (Ort. = 154.98°) izlenmiştir. Vuruş sonrasında tüm bölgelerde açılar belirgin şekilde düşmüş, ortalamalar 141°–144° aralığında seyretmiştir. Genel olarak kalça eklemine hareket evrelerinin ilerlemesiyle açıların düzenli biçimde azaldığı görülmektedir.

Diz eklemine ait açılar değerlendirildiğinde, kalça eklemine benzer şekilde en yüksek açıların vuruş öncesi evrede gerçekleştiği görülmektedir. Bu evrede en yüksek ortalama sağ üst bölgede (Ort. = 146.49°) bulunurken, en düşük ortalamanın sol alt bölgede (Ort. = 140.68°) olduğu görülmektedir. Vuruş anında tüm bölgelerde belirgin bir düşüş yaşanmakta olup ortalamalar yaklaşık 128°–135° aralığına inmektedir. Vuruş sonrasında bölgelere göre küçük farklılıklar olsa da değerler birbirine yakın seyretmekte ve 131°–136° aralığında yoğunlaşmaktadır. Bu durum diz eklemine de hareket evreleri ilerledikçe açının azaldığını göstermektedir.

Ayak bileği eklemine ilişkin bulgular incelendiğinde, diğer eklemlerden farklı olarak vuruş öncesi ortalamaların en düşük olduğu, vuruş sonrasında ise açıların belirgin biçimde arttığı görülmektedir. Vuruş öncesi değerler 114°–119° aralığında seyretmekte ve en yüksek ortalama sol alt bölgede (Ort. = 119.08°) görülmektedir. Vuruş anında açılar belirgin şekilde

artmış ve ortalamalar 124° – 129° aralığına yükselmiştir. Vuruş sonrasında ise ayak bileği açılarının tüm bölgelerde en yüksek seviyeye ulaştığı, ortalamaların yaklaşık 134° – 141° arasında değiştiği görülmektedir. Bu durum ayak bileği ekleminde hareket evresi ilerledikçe açının arttığını göstermektedir.

Genel olarak üç eklem düzeyinde değerlendirildiğinde; kalça ve diz ekleminde vuruş öncesinden vuruş sonrasına doğru açıların kademeli biçimde azaldığı, ayak bileği ekleminde ise bunun aksine açıların hareket boyunca arttığı söylenebilir. Tüm eklemlerde toplam ortalamalar, ilgili hareket döngüsünün genel eğilimiyle uyumlu bir değişim göstermektedir.

Puanlar arasında anlamlı farklılaşmalar olup olmadığını test etmek için tek yönlü ANOVA yürütülmüştür. Tablo 4.9’da da izlenebileceği gibi, kalça vuruş öncesinde ve diz vuruş öncesinde hedef bölgelerine göre ortalamalarda anlamlı farklılaşmalar elde edilmiştir ($F = 3.751, p < .05; F = 3.853, p < .05$). Tukey HSD testi sonucunda kalça vuruş öncesi ölçümlerde sağ üst açısının sağ alt açısından daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca diz vuruş öncesi ölçümlerde de sağ üst açısının sol üst açısından anlamlı olarak daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 4.8. Hedef bölgelerine göre ortalama açı ve puan değerleri.

Değişkenler	N	Vuruş Öncesi		Vuruş Anı		Vuruş Sonrası		
		Ort.	S	Ort.	S	Ort.	S	
Kalça	Sağ Üst	88	160.13	7.540	152.36	9.738	143.70	9.227
	Sol Üst	88	155.89	12.255	153.00	11.601	142.97	10.592
	Sağ Alt	88	158.91	10.408	151.70	10.128	141.42	8.570
	Sol Alt	88	156.47	7.884	154.98	9.666	142.36	11.235
	Total	352	157.85	9.829	153.01	10.341	142.61	9.955
Diz	Sağ Üst	88	146.49	11.029	134.75	15.208	135.11	15.941
	Sol Üst	88	142.60	12.406	130.26	19.064	135.30	18.239
	Sağ Alt	88	144.82	12.708	129.98	16.608	131.91	14.936
	Sol Alt	88	140.68	12.312	128.23	17.936	135.56	18.240
	Total	352	143.65	12.277	130.80	17.359	134.47	16.894
Ayak Bileği	Sağ Üst	88	114.60	11.926	128.09	15.524	140.78	16.249
	Sol Üst	88	117.40	14.686	124.57	15.575	137.14	16.341
	Sağ Alt	88	115.33	12.547	128.93	15.727	136.94	13.605
	Sol Alt	88	119.08	12.994	126.26	15.677	134.61	14.296
	Total	352	116.60	13.141	126.96	15.650	137.37	15.266

Tablo 4.9. Hedef bölgelerine göre ortalama aç ı ve puan değerlerine ilişkin ANOVA sonuçları.

Değişkenler		Kareler Toplamı	sd	Ortalama Kareler	F	p
Kalça Vuruş ncesi	Gruplar Arası	1062.057	3	354.019	3,751	,011
	Grup İçi	32845.659	348	94.384		
	Toplam	33907.716	351			
Kalça Vuruş Anı	Gruplar Arası	527.318	3	175.773	1,653	,177
	Grup İçi	37010.636	348	106.352		
	Toplam	37537.955	351			
Kalça Vuruş Sonrası	Gruplar Arası	246.432	3	82.144	,828	,479
	Grup İçi	34539.023	348	99.250		
	Toplam	34785.455	351			
Diz Vuruş ncesi	Gruplar Arası	1701.068	3	567.023	3,853	,010
	Grup İçi	51207.250	348	147.147		
	Toplam	52908.318	351			
Diz Vuruş Anı	Gruplar Arası	2040.577	3	680.192	2,282	,079
	Grup İçi	103724.898	348	298.060		
	Toplam	105765.474	351			
Diz Vuruş Sonrası	Gruplar Arası	777.486	3	259.162	,907	,438
	Grup İçi	99404.170	348	285.644		
	Toplam	100181.656	351			
Ayak Bileği Vuruş ncesi	Gruplar Arası	1090.273	3	363.424	2,125	,097
	Grup İçi	59522.045	348	171.040		
	Toplam	60612.318	351			
Ayak Bileği Vuruş Anı	Gruplar Arası	1001.077	3	333.692	1,367	,253
	Grup İçi	84969.443	348	244.165		
	Toplam	85970.520	351			
Ayak Bileği Vuruş Sonrası	Gruplar Arası	1715.148	3	571.716	2,484	,061
	Grup İçi	80084.841	348	230.129		
	Toplam	81799.989	351			
Puan	Gruplar Arası	5.580	3	1.860	,108	,955
	Grup İçi	5967.864	348	17.149		
	Toplam	5973.443	351			

BÖLÜM 5

5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Tartışma

5.1.1. Katılımcı özellikleri ve alt ekstremitte kinematik değişkenlerinin genel değerlendirmesi

Bu araştırma, 13–14 yaş arası erkek futbolcularda şut vuruşu sırasında kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları ile şut performansı arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, alt ekstremitte eklem açıları arasında vuruş evrelerine göre anlamlı farklılıklar bulunduğunu ve özellikle ayak bileği vuruş öncesi ile kalça vuruş sonrası açı değerlerinin şut performansını anlamlı düzeyde etkilediğini göstermektedir. Bu sonuçlar, şut hareketinin yalnızca topa temas anıyla sınırlı olmadığını, vuruş öncesi hazırlık ve vuruş sonrası denge fazlarının da performans üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bulgular genel olarak incelendiğinde, alt ekstremitte kinematiğinin dinamik koordinasyonu ve eklemler arası zamanlamanın şut etkinliği üzerinde önemli rol oynadığı görülmektedir. Katılımcıların ortalama Mor-Christian Şut Testi puanının 46.64 ± 24.26 olduğu dikkate alındığında, genel performans düzeyinin orta-yüksek aralıkta seyrettiği söylenebilir. Bu sonuç, Görücü ve Akcan'ın (2025) benzer yaş grubundaki futbolcularla yürüttükleri çalışmada bildirilen ön test puan ortalamalarıyla benzerlik göstermektedir. Araştırmacılar, video destekli zihinsel antrenman uygulaması sonrasında Mor-Christian test puanlarında anlamlı bir artış kaydetmişlerdir. Bu durum, mevcut çalışmadaki katılımcı grubunun teknik performans açısından gelişim potansiyelinin yüksek olduğunu ve zihinsel antrenman desteğiyle bu performansın daha da artırılabilirliğini göstermektedir (Görücü ve Akcan, 2025). Ayrıca bu performans düzeyi, yaş grubuna göre tipik teknik yeterlilik seviyesine karşılık gelmekte ve analiz edilen kinematik parametrelerin temel şut becerilerinin gelişimiyle uyumlu olduğunu göstermektedir. Aşağıda, araştırma bulguları literatür bağlamında ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

Araştırmaya katılan futbolcuların yaş, boy, kilo ve spor geçmişi bakımından homojen bir yapıya sahip olmaları, elde edilen verilerin güvenilirliğini artıran önemli bir faktördür. Ayrıca, bu çalışmada geliştirilen Azure Kinect tabanlı veri toplama sistemi, genç futbolcularda şut kinematiğini saha benzeri koşullarda yüksek doğrulukla izleyebilen yenilikçi bir ölçüm altyapısı sunmuştur. İki adet Azure Kinect cihazının master-slave

konfigürasyonunda senkronize edilmesi ve sensör füzyonu ile 3B eklem koordinatlarının tek bir referans sisteminde birleştirilmesi, ölçümlerin mekânsal doğruluğunu artırmıştır. Eklem güven skorlarına dayalı veri ağırlıklandırması ve homojen dönüşüm matrisiyle yapılan hizalama işlemleri, özellikle hızlı ve çok düzlemlili hareketlerde tek kameraya özgü gölgelenme problemlerini en aza indirmiştir. Bu metodolojik yapı, saha koşullarına yakın bir ortamda kinematik verilerin güvenilir biçimde toplanmasına ve analiz edilmesine olanak tanımıştır. Örneklem grubunun yaş ortalamasının 13 yıl civarında olması, erken ergenlik dönemine karşılık gelmekte ve bu dönemde meydana gelen hızlı motor gelişimin, teknik performans üzerindeki etkilerini gözlemek açısından uygun bir zemin oluşturmaktadır.

Ayrıca, bu yaş dönemi motor koordinasyon, kuvvet üretimi ve nöromusküler kontrolün hızla geliştiği, ancak henüz tam olgunlaşmadığı bir geçiş evresidir. Dolayısıyla, şut gibi çok eklemli ve yüksek hız içeren teknik becerilerde bireysel varyasyonların görülmesi doğaldır. Nitekim, Malina, Bouchard ve Bar-Or (2004), büyüme ve olgunlaşma süreçlerinin özellikle 12–15 yaş aralığında kas kuvveti, hareket koordinasyonu ve teknik beceri performansında belirgin farklılıklara yol açtığını belirtmişlerdir. Bu bağlamda, mevcut çalışmadaki orta düzey performans değerleri, katılımcıların yaşa bağlı nöromekanik gelişim süreciyle uyumlu bir örüntü sergilemektedir. Bu yaş döneminde meydana gelen biyomekanik varyasyonlar, şut gibi hızlı enerji aktarımı gerektiren becerilerde kinematik kararlılığın henüz tam oturmamış olabileceğini göstermektedir. Bu durum, mevcut çalışmada gözlenen açı değişkenlerindeki bireysel farklılıkların doğal gelişimsel sürecin bir yansıması olabileceğini düşündürmektedir. Katılımcıların antrenman geçmişinin ortalama 4.67 yıl olması, temel teknik becerilerin belirli bir düzeyde oturduğunu, ancak profesyonel düzeyde farklılaşmaların henüz tam oluşmadığını göstermektedir. Ayrıca, grubun tamamının baskın ayağının sağ olması ölçümde yönsel tutarlılığı sağlamış, eklem açı analizlerinin karşılaştırılabilirliğini artırmıştır. Bununla birlikte, bu homojenlik çalışmanın iç geçerliliğini güçlendirirken, farklı yaş gruplarına veya sol dominant sporculara genellenebilirliği sınırlamaktadır.

5.1.2. Alt ekstremite eklemlerine ait açı değişimlerinin zaman evrelerine göre değerlendirilmesi

Araştırma bulgularına göre kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları arasında vuruşun üç evresi (vuruş öncesi, vuruş anı, vuruş sonrası) açısından anlamlı düzeyde farklılıklar saptanmıştır. Kalça ve diz eklemlerinde açı değerlerinin vuruş öncesinden vuruş sonrasına doğru azalma eğilimi göstermesi, şut hareketinin hazırlık fazından topa temas ve takiben

denge fazına geçerken artan fleksiyon paternini yansıtmaktadır. Bu durum, vuruşun kinetik zinciri boyunca segmental enerji aktarımının etkin biçimde gerçekleştiğini göstermektedir. Buna karşılık, ayak bileği ekleminde vuruş süreci boyunca açılarının artış göstermesi, plantar fleksiyonun vuruş sonuna doğru belirginleştiğini ve topa temas anında bileğin enerjiyi nihai olarak aktaran segment olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgu, alt ekstremitenin kinematığının birbirini tamamlayan bir hareket zinciri oluşturduğunu ve her eklemin vuruşun farklı evrelerinde özgül bir işlev üstlendiğini göstermektedir. Bu sonuç, Bessenouci ve Haceini (2019)'un doğrudan serbest vuruşlarda kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin koordinasyonunu inceledikleri biyomekanik analizle de paralellik göstermektedir. Araştırmada, vuruş fazları boyunca hareketin destek ayağından başlayarak gövde ve vuran ayağa kadar uzanan kinetik zincir içinde aktarıldığı, bu enerji transferinin şut isabeti üzerinde belirleyici olduğu bildirilmiştir (Bessenouci ve Haceini, 2019).

Ayrıca, Beron-Vera ve arkadaşları (2024) tarafından yürütülen çalışmada, kolej ve yarı elit düzeydeki futbolcularda şut benzeri hareketler sırasında alt ekstremitenin eklemlerinin oyuncunun pozisyonuna (merkez/lateral) ve baskın bacak kullanımına bağlı olarak anlamlı biçimde farklılaştığı rapor edilmiştir. Araştırmada merkez pozisyonundaki oyuncuların lateral pozisyonundakilere göre daha yüksek kalça fleksiyonu ($\sim 9^\circ$), diz adduksiyonu ($\sim 5^\circ$) ve ayak bileği dorsifleksiyonu ($\sim 12^\circ$) gösterdikleri, bunun da hareketin dinamik koordinasyonuna katkı sağladığı belirtilmiştir. Bu bulgular, alt ekstremitenin segmentlerinin şut hareketinde proksimalden distale enerji aktarımı sürecinde farklı ancak tamamlayıcı görevler üstlendiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla mevcut çalışmada gözlemlenen kalça ve diz açısal değişimleri ile vuruş süreci boyunca artan ayak bileği hareketi, literatürde bildirilen bu eklemler arası işlevsel farklılaşma ile örtüşmektedir. Elde edilen sonuçlar, şut tekniğinin yalnızca topa temas gücüyle değil, bu temasın öncesinde ve sonrasında oluşan eklemler koordinasyonu da doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

Şut hareketinde eklemler arası koordinasyonun performans üzerindeki etkisine ilişkin bu değerlendirmeler, saha koşullarında yapılan biyomekanik analizlerle de desteklenmektedir. Nitekim, Göktepe ve arkadaşları (2009) tarafından yürütülen fotogrametrik analizde, penaltı vuruşu sırasında diz ve ayak bileği eklemlerinin açıları üç farklı evrede (vuruş öncesi, vuruş anı ve vuruş sonrası) incelenmiş ve başarılı vuruşlarda eklemler arası açı dağılımlarının daha dengeli bir patern sergilediği bildirilmiştir. Araştırmada, açısal farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı bulunmamasına rağmen, başarılı vuruşlarda kinematik zincirin daha tutarlı biçimde işlediği ve

bunun vuruş kontrolüne katkı sağladığı vurgulanmıştır. Bu sonuçlar, mevcut çalışmada gözlemlenen kalça ve diz eklem koordinasyonunun şut performansındaki belirleyici rolünü desteklemekte ve alt ekstremitte eklemlerinin açısal stabilitesinin başarıya olan dolaylı etkisini ortaya koymaktadır.

5.1.3. Kalça ve ayak bileği açılarının şut performansı ile ilişkisi: korelasyon bulgularının yorumlanması

Araştırmanın ana hipotezi (H1), diz, kalça ve ayak bileği eklem açıları ile Mor-Christian Şut Testi toplam puanları arasında anlamlı ilişkiler bulunduğunu öngörmektedir. Bu bulgular, söz konusu hipotezin kısmen desteklendiğini göstermektedir; çünkü kalça vuruş sonrası ve ayak bileği vuruş öncesi açıları ile şut performansı arasında pozitif ve anlamlı ilişkiler belirlenmiş, buna karşılık diz eklem açılarıyla anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Elde edilen korelasyon sonuçları, şut performansı ile belirli eklem açıları arasında anlamlı ilişkiler bulunduğunu göstermektedir. Mor-Christian Şut Testi puanları ile kalça vuruş sonrası açısı ($r = .125, p < .05$) ve ayak bileği vuruş öncesi açısı ($r = .114, p < .05$) arasında pozitif yönde anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir. Bu bulgu, hem vuruş öncesi hazırlık pozisyonunun hem de vuruş sonrası denge pozisyonunun şut performansında belirleyici olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, iç vuruş sırasında diz eklem açısı ile şut puanı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Bu sonuç, H2 hipotezinin desteklenmediğini göstermektedir. Diz eklem hareketinin, şut performansında dolaylı bir rol oynadığı ve doğrudan isabet oranını belirlemediği düşünülebilir. Ayak bileği vuruş öncesi açısının şut başarısıyla ilişkili olması, topa temas öncesi dönemde ayağın konumlanması ve bilek stabilizasyonunun isabet oranı üzerindeki kritik etkisini yansıtmaktadır. Bununla birlikte, vuruş öncesi ayak bileği açısının şut performansı ile pozitif yönde anlamlı bir ilişki göstermesi, H4 hipotezinin kısmen reddedildiğini göstermektedir. Bulgular, ayak bileği konumlanmasının topa temas öncesi stabilizasyon ve yönlendirme kontrolü açısından önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Kalça vuruş sonrası açısındaki pozitif ilişki ise, vuruş sonrası dengenin korunmasının, hareketin akıcılığı ve enerji transferinin sürekliliği açısından önem taşıdığını göstermektedir. Kalça vuruş sonrası açısının şut performansı ile pozitif yönde anlamlı bir ilişki göstermesi, H3 hipotezini desteklemektedir. Bu bulgu, kalça eklemının vuruş sonrası dönemde hareketin dengesini ve enerji sürekliliğini sağlamadaki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır.

Mevcut çalışmada kalça vuruş sonrası açısı ile ayak bileği vuruş öncesi açısı arasındaki pozitif ilişkiler, şut performansının yalnızca kuvvet üretimiyle değil, hareketin ön hazırlık ve bitiş pozisyonlarındaki kontrol düzeyiyle de bağlantılı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım, teknik beceri performansının yalnızca kinematik parametrelerle değil, altta yatan motorik özelliklerle de ilişkili olduğunu gösteren çalışmalarla paralellik göstermektedir. Nitekim Bavlı ve Günar (2025) tarafından amatör futbolcular üzerinde yürütülen araştırmada, Mor-Christian testi aracılığıyla değerlendirilen teknik beceriler (şut, pas, top sürme) ile anaerobik güç ve hız değişkenleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Araştırmacılar, pas becerisi ile hem tepe güç ($r = .519$) hem de ortalama güç ($r = .539$) arasında pozitif yönlü anlamlı ilişkiler belirlerken, şut performansı ile motorik değişkenler arasında anlamlı bir ilişki saptamamıştır. Ayrıca, top sürme becerisinin motor özelliklerden bağımsız olarak daha çok çeviklik ve koordinasyona dayandığı bildirilmiştir. Benzer biçimde, mevcut çalışmada da şut performansının yalnızca alt ekstremite kuvvetine değil, vuruş öncesi ve sonrası evrelerdeki teknik kontrol ve kinematik koordinasyonun bütüncül etkileşimine bağlı olduğu görülmektedir (Bavlı ve Günar, 2025). Lees ve Nolan (1998), futbol şutunun biyomekaniğine ilişkin derlemelerinde, kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinde ardışık kas aktivasyon paternlerinin topa enerji aktarımında kritik rol oynadığını belirtmişlerdir. Bu bulgu, mevcut çalışmadaki vuruş öncesi ve vuruş sonrası açı değişimlerinin yalnızca kinematik değil, aynı zamanda nöromüsküler koordinasyon süreçleriyle de ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Bu bulgular, şut performansının yalnızca kuvvet üretimiyle değil, vuruşun hazırlık ve bitiş evrelerinde gözlenen kinematik kontrol düzeyiyle ılımlı düzeyde ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşım, performansın tek bir eklem hareketine değil, alt ekstremite segmentlerinin koordineli işleyişine dayandığını ortaya koyan literatürle de örtüşmektedir.

Nugroho ve Doewes (2023), futbolcularda iç ayak ve üst vuruş tekniklerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, diz fleksiyonu, destek ayağı konumu, gövde eğimi ve kalça açılarındaki farklılıkların şut isabetini anlamlı biçimde etkilediğini bildirmiştir. Araştırmacılar, iç ayak vuruşunda daha düşük backswing (hazırlık) diz açısı ve daha büyük frontswing (vuruş) ekstansiyonu ile birlikte, destek ayağının toptan daha uzak yerleştiğini ve bu kombinasyonun daha yüksek isabet oranı sağladığını belirtmiştir. Bu bulgular, mevcut çalışmada tespit edilen kalça vuruş sonrası ve ayak bileği vuruş öncesi açılarıyla ilişkili pozitif korelasyonları destekler niteliktedir. Benzer biçimde, Arguz vd., (2021) tarafından Türk futbolcularda gerçekleştirilen penaltı vuruşu analizinde, destek bacağı diz açısı ile vuruş

isabeti arasında pozitif bir ilişki ($p < .01$), buna karşılık vücut eğimi ve ayak temas süresi ile negatif ilişki saptanmıştır. Çalışmada, destek bacağına kontrollü fleksiyonunun topa temas anında stabiliteyi artırdığı, gövde eğiminin ise fazla olduğunda isabet oranını azalttığı rapor edilmiştir. Bu bulgular, mevcut çalışmada tespit edilen kalça vuruş sonrası ve ayak bileği vuruş öncesi açılarıyla ilişkili pozitif korelasyonları destekler niteliktedir.

Bu sonuçlar, literatürde bildirilen kinematik bulgularla da paralellik göstermektedir. Özellikle Nugroho ve Doewes (2023) tarafından rapor edilen destek ayağı konumu ve diz açısı ilişkileri, mevcut çalışmada gözlemlenen kalça ve ayak bileği koordinasyonu bulgularını dolaylı olarak desteklemektedir. Bu bulgular, mevcut çalışmada tespit edilen kalça ve ayak bileği açılarının şut performansındaki rolünü destekler niteliktedir. Dolayısıyla, şut vuruşunun başarısında alt ekstremit eklemlerinin zamanlama, açısal uyum ve destek ayağı yerleşimi gibi kinematik faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılabilir.

Bununla birlikte, mevcut çalışmada kullanılan, Azure Kinect kullanılarak geliştirilen veri toplama sistemi ve bu sistemin temel yapıtaşlarından biri olan Azure Kinect teknolojisi, futbol şut kinematığı gibi yüksek hız içeren kompleks motor hareketlerin ölçümünde güvenilir sonuçlar sunma potansiyeline sahiptir. Sistem, iki adet Azure Kinect cihazının master-slave mantığında senkronize edilmesi, sensör füzyonu ile 3B eklem koordinatlarının tek bir referans sisteminde birleştirilmesi ve joint confidence skorlarına dayalı veri ağırlıklandırması prensibiyle yapılandırılmıştır. Bu sayede, farklı açılardan elde edilen derinlik verileri tek bir koordinat sisteminde bütünleştirilmiş ve hızlı hareketlerdeki görüş kaybı minimize edilmiştir. Derinlik sensörlerinden elde edilen 3B eklem koordinatları, 4. derece ve 5 Hz kesim frekansına sahip Butterworth filtresi ile ayrı ayrı filtrelenmiş, ardından açı zaman serileri Double Exponential Smoothing yöntemiyle düzeltilmiştir. Bu yaklaşım, yüksek frekanslı gürültüyü azaltırken, eklem açılarını zamana bağlı olarak daha kararlı biçimde izlenebilir hale getirmiştir. Ancak sistemin 30 fps kare hızında çalışması, özellikle vuruş anı gibi çok kısa süreli hareketlerde zamansal çözünürlüğü kısmen sınırlayan bir faktör olarak değerlendirilmelidir. Buna rağmen, sistemin sunduğu üç boyutlu analiz doğruluğu, sistem kontrollü saha ortamında gerçekleştirilen ölçümler için yeterli düzeydedir. Benzer bir inertial tabanlı ölçüm teknolojisini değerlendiren Blair ve arkadaşları (2018), farklı futbol branşlarında (futbol, rugby, Avustralya futbolu) gerçekleştirdikleri çalışmada, inertial measurement system (IMS) verilerinin, optoelektronik referans sistemleriyle karşılaştırıldığında yalnızca %5'in altında sapma gösterdiğini ve kalça-diz kinematiklerinin

yüksek doğrulukla izlenebildiğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, bu sistemlerin yüksek hızlardaki segmental hareketleri (örneğin diz açısız hızı $\approx 1700^\circ/s$) güvenilir biçimde yakalayabildiğini belirterek, saha koşullarında gerçek zamanlı kinematik analiz için geçerli bir alternatif oluşturduğunu vurgulamışlardır. Bu bulgular, mevcut araştırmada kullanılan Azure Kinect kullanılarak geliştirilen veri toplama sistemi ve bu sistemin temel yapıtaşlarından biri olan Azure Kinect teknolojisinin metodolojik açıdan yeterli doğruluk düzeyine sahip olduğunu ve futbol şut hareketlerinin kinematik çözümlemesinde geçerli bir araç olarak değerlendirilebileceğini desteklemektedir. Dolayısıyla, çalışma kapsamında elde edilen verilerin hem laboratuvar ortamında hem de saha benzeri koşullarda güvenilir biçimde yorumlanabileceği söylenebilir. Kinematik verilerin geçerliliği, hareketin doğal dinamiklerini bozmayacak biçimde ölçüm yapılabilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu özellik, ölçüm koşullarının saha gerçekliğine belirli ölçüde yaklaşmasına olanak tanımakta ve sonuçların uygulamalı antrenman süreçlerine uygulanabilirliğini desteklemektedir.

Mevcut çalışmada kalça vuruş sonrası ve ayak bileği vuruş öncesi açıları ile şut performansı arasında tespit edilen pozitif ilişkiler, alt ekstremite eklemlerinin açısal uyumu ve enerji aktarım zincirinin performans üzerindeki belirleyici rolünü vurgulayan diğer biyomekanik araştırmalarla da örtüşmektedir. Nitekim, Bouchareb ve arkadaşları (2024) tarafından kadın futbolcularda yapılan çalışmada, sabit toplardan gerçekleştirilen şutlarda topun fırlatma açısı, kinetik enerji ve kalça yüksekliği değişkenlerinin isabet oranını en güçlü biçimde yordadığı bildirilmiştir ($R = 0.992$; $p < .01$). Araştırmacılar, bu değişkenlerin vuruş sırasında açısal koordinasyonun ve enerji transferinin sürekliliğiyle ilişkili olduğunu, dolayısıyla şut doğruluğunun yalnızca kuvvet üretimiyle değil, vuruş anındaki açısal optimizasyon ve kalça stabilizasyonu da belirlendiğini vurgulamışlardır. Bu sonuç, mevcut araştırmada gözlemlenen kalça ve ayak bileği açılarıyla şut performansı arasındaki pozitif ilişkileri destekler niteliktedir. Dolayısıyla, hem erkek hem de kadın futbolcularda şut başarısının temelinde, alt ekstremite eklemlerinin açısal zamanlamasının ve segmentler arası enerji aktarım etkinliğinin bütüncül biçimde optimize edilmesinin belirleyici olduğu söylenebilir. Korelasyon analizleri genel ilişki düzeylerini ortaya koyarken, regresyon bulguları bu ilişkilerin yönünü ve açıklayıcılık düzeyini daha ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır.

5.1.4. Vuruş evrelerine göre şut performansını yordayan kinematik değişkenler

Regresyon analizi sonuçları, şut performansının vuruş evrelerine göre farklı kinematik belirleyiciler tarafından açıklandığını göstermektedir. Vuruş öncesi evrede oluşturulan model istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ($R = .334$, $R^2 = .112$), bu evrede yalnızca ayak bileği açısının şut puanlarını anlamlı biçimde yordadığı belirlenmiştir ($\beta = .331$, $p = .009$). Bu bulgu, vuruş öncesi dönemde ayak bileğinin uygun konumlanmasının ve plantar fleksiyonun hazırlık düzeyinin, topa etkili temas ve yönlendirme için kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, vuruş anında hiçbir eklem açısı şut puanlarını anlamlı biçimde yordamamış, bu da topa temas anındaki varyasyonların bireysel teknik farklardan kaynaklanabileceğini düşündürmektedir. Vuruş sonrası evrede ise model düşük bir açıklayıcılığa sahip olmasına rağmen ($R = .128$, $R^2 = .016$), kalça açısının şut performansını anlamlı biçimde yordadığı bulunmuştur ($\beta = .127$, $p = .019$). Bu sonuç, vuruş sonrası kalça kontrolünün hareketin bütünlüğü ve dengenin korunmasında belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, şut performansının hem hazırlık fazındaki ayak bileği stabilizasyonu hem de vuruş sonrası kalça kontrolü ile ilişkili olduğu söylenebilir.

Bu bulgu, futbol şut performansında hareketin sürekliliği ve motor kontrol stabilitesinin belirleyici rolünü destekleyen literatürle de örtüşmektedir. Nitekim, Shimotashiro ve Shinya (2024) tarafından futbolcularda baskın ve baskın olmayan ayakla yapılan şutların doğruluk farklılıklarının incelendiği çalışmada, baskın ayakla gerçekleştirilen şutlarda %95 güven elipsi alanının anlamlı biçimde daha küçük olduğu ($6.17 \pm 1.93 \text{ m}^2$ ye karşı $10.22 \pm 3.53 \text{ m}^2$; $p < .001$) bildirilmiştir. Araştırmacılar, bu farkın top hızından ziyade nöromüsküler koordinasyon ve hareket kontrolündeki üstünlükten kaynaklandığını vurgulamışlardır. Bu sonuç, mevcut çalışmada vuruş sonrası evrede kalça kontrolünün hareketin bütünlüğü ve sürekliliği üzerindeki etkisini destekler niteliktedir. Dolayısıyla, şut hareketinin başarısı tekil eklem hareketlerinden ziyade, alt ekstremite segmentleri arasındaki zamanlama, açısal uyum ve enerji aktarımı zincirinin verimliliğiyle açıklanabilir.

Bu bulgular, literatürde serbest vuruş ve şut mekaniğine yönelik benzer biyomekanik analizlerle de desteklenmektedir. Bessenouci ve Haceini (2019), futbolcularda doğrudan serbest vuruş isabetini etkileyen biyomekanik değişkenleri inceledikleri çalışmalarında, kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin koordineli hareketinin topa enerji aktarımı ve vuruş doğruluğu üzerinde belirleyici rol oynadığını bildirmiştir (Bessenouci ve Haceini, 2019). Araştırmacılar, özellikle destek ayağının yerleşim açısı, yaklaşma hızı ve topa temas anındaki diz-ayak

hareketlerinin şut isabet oranını anlamlı biçimde etkilediğini; bu değişkenlerin birlikte optimize edilmesiyle daha akıcı bir kinetik zincir oluştuğunu belirtmiştir. Bu doğrultuda, mevcut çalışmada da gözlemlendiği üzere, şut hareketinin başarısı tekil eklem hareketlerinden ziyade, alt ekstremitte segmentleri arasındaki zamanlama ve açısal uyumun verimli enerji transferine olan katkısıyla açıklanabilir.

Benzer biçimde, Singh ve Deol (2012) tarafından ulusal düzey erkek futbolcularla yürütülen çalışmada, “high drive” vuruşlarında performansı belirleyen en önemli kinematik değişkenlerin topa vurma noktasının topa olan mesafesi ve topun çıkış açısı olduğu bildirilmiştir ($r = .882$ ve $r = .776$, $p < .01$). Araştırmacılar, bu iki değişkenin vuruş performansındaki varyansın yaklaşık %77’sini açıkladığını ve vuruşun geometrik yapısının topun yönü ve mesafesi üzerinde belirleyici olduğunu vurgulamışlardır. Bu sonuçlar, mevcut çalışmada vuruş öncesi ayak bileği pozisyonunun ve vuruş sonrası kalça kontrolünün performans üzerindeki etkisini ortaya koyan bulgularla aynı kinematik temayı paylaşmaktadır. Dolayısıyla, hem “high drive” hem de standart şut vuruşlarında başarının yalnızca kuvvet üretiminden değil, açısal koordinasyon, yaklaşma geometrisi ve segmentler arası enerji aktarımının etkinliğinden kaynaklandığı söylenebilir.

Bu değerlendirmeler bir arada ele alındığında, şut performansının çok boyutlu bir kinematik yapı içerisinde şekillendiği görülmektedir. Özellikle vuruş öncesi dönemde ayak bileği stabilizasyonu ve vuruş sonrası kalça kontrolü, hareketin hem enerji aktarımı hem de denge korunumu açısından kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla, futbol şut tekniği yalnızca kuvvet üretimiyle değil, eklemler arası koordinasyon, açısal zamanlama ve postüral denge bütünlüğüyle optimize edilmektedir.

5.1.5. Hedef bölgelerine göre alt ekstremitte kinematik farklılıklarının değerlendirilmesi

Araştırma bulgularında, katılımcıların farklı hedef bölgelerine (sağ üst, sağ alt, sol üst, sol alt) yaptıkları vuruşlar arasında özellikle kalça ve diz eklem açıları açısından anlamlı farklılıklar saptanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, kalça vuruş öncesi ($F = 3.751$, $p < .05$) ve diz vuruş öncesi ($F = 3.853$, $p < .05$) ölçümlerinde hedef bölgelerine göre istatistiksel olarak anlamlı farklılaşmalar görülmüştür. Tukey HSD testi sonuçları, sağ üst hedefe yapılan vuruşlarda hem kalça hem diz açı değerlerinin diğer hedeflere kıyasla daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, yukarı yönlü vuruşlarda (örneğin üst köşelere yapılan şutlarda) kalça ve diz eklemlerinin daha geniş açılarla konumlandığını, dolayısıyla topa daha yüksek bir

açıyla yaklaşım ve daha fazla enerji aktarımı sağlandığını göstermektedir. Buna karşılık, alt hedeflere yapılan vuruşlarda diz ve kalça fleksiyonunun daha belirgin olduğu, bu durumun da topun yönlendirme hassasiyetini artırmaya yönelik bir teknik adaptasyon olabileceği düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar, futbolcularda şut yönüne göre eklem pozisyonlarının farklı biçimlerde optimize edildiğini ve hedefe göre teknik varyasyonların motor kontrol düzeyinde ayırt edici rol oynadığını göstermektedir.

Benzer şekilde, Bessenouci ve Haceini (2019) tarafından yürütülen çalışmada da doğrudan serbest vuruşlarda kalça ve diz eklem açılarının vuruş yüksekliği ve isabet oranı üzerinde belirleyici rol oynadığı, özellikle destek ayağının yerleşim açısının topun yönlendirme başarısını etkilediği bildirilmiştir. Bu bağlamda, Scurr ve Hall (2009) tarafından yürütülen çalışmada da, penaltı vuruşlarında yaklaşma açısının şut isabeti ve alt ekstremite kinematiki üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırmada farklı yaklaşma açıları (30°, 45°, 60°) teknik parametrelerde anlamlı değişimlere neden olmuş; özellikle 45° ve 60° açılarda pelvik rotasyonun ve uyluk abdüksiyonunun arttığı, dolayısıyla kalçanın daha geniş bir hareket aralığında işlev gördüğü bildirilmiştir. Bu teknik farklılıklar, topa temas süresinin uzamasına ve ayağın top altına daha etkin yerleşmesine olanak tanısa da, amatör düzeydeki oyunculara şut isabeti ve hızında anlamlı bir artış gözlenmemiştir. Dolayısıyla, mevcut çalışmada farklı hedef bölgelerine göre gözlemlenen kalça ve diz açı değişimlerinin, Scurr ve Hall'un (2009) yaklaşma açısına bağlı kinematik varyasyon bulgularıyla benzer bir hareket uyarlaması yansıttığı söylenebilir. Her iki çalışma birlikte değerlendirildiğinde, vuruşun yönelimi değiştikçe alt ekstremite segmentlerinin (özellikle kalça ve uyluk) hareket paterni de yeniden organize olmakta; bu da motor kontrolün hedefe göre dinamik olarak ayarlandığını göstermektedir.

Şut isabetine etki eden kas aktivasyon paternleri üzerine yapılan biyomekanik incelemeler de bu hareket uyarlamalarını desteklemektedir. Katis ve arkadaşları (2013), farklı yüksekliklerdeki hedeflere yapılan şutlarda alt ekstremite kaslarının aktivasyon düzeylerini analiz etmiş ve üst hedefe yapılan isabetli vuruşlarda tibialis anterior (TA) ile biceps femoris (BF) kaslarının aktivasyonunun anlamlı biçimde arttığını, gastrocnemius (GAS) aktivasyonunun ise azaldığını bildirmiştir. Buna karşılık, alt hedefe yapılan isabetli şutlarda TA ve rectus femoris (RF) aktivasyonlarında düşüş gözlenmiştir. Araştırmacılar, bu farklılıkların şutun hedef yüksekliğine bağlı olarak kasların işlevsel görev dağılımında ortaya çıkan değişimlerden kaynaklandığını belirtmiştir. Bu sonuçlar, mevcut çalışmada üst hedef

vuruşlarında gözlenen daha geniş kalça ve diz açıları ile alt hedeflerde belirginleşen fleksiyon paternlerinin, kas koordinasyonu ve nöromüsküler kontrol düzeyindeki bu farklılaşmalarla tutarlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, şut isabeti yalnızca eklem açılarına değil, bu açıların altında yatan kas aktivasyon zamanlamasına ve hareket koordinasyonunun doğruluğuna da bağlıdır.

5.1.6. Bulguların genel yorumu: şut mekaniğinde kinetik zincirin rolü

Çalışmadan elde edilen bulgular bir bütün olarak değerlendirildiğinde, şut performansının kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin koordineli çalışmasına dayanan çok aşamalı bir hareket zinciriyle ilişkili olduğu görülmektedir. Vuruş öncesi evrede ayak bileği eklemının uygun konumlanması, topa temas anında optimal kuvvet aktarımı için gerekli kinematik hazırlığı sağlamaktadır. Bu evreyi takip eden vuruş anında kalça ve diz eklemlerindeki artan fleksiyon, alt ekstremite segmentleri arasında enerji transferini kolaylaştırarak topa uygulanan momenti artırmaktadır. Vuruş sonrası dönemde ise kalça eklemının kontrolü, hem dengeyi koruma hem de hareketin sürekliliğini sağlama açısından belirleyici rol oynamaktadır. Bu bulgular, şut hareketinin bir bütün olarak ele alınması gerektiğini ve performansın yalnızca tek bir eklem gücüyle değil, eklemler arası zamanlama, açısal uyum ve hareket senkronizasyonu ile optimize edildiğini göstermektedir. Dolayısıyla, kalça–diz–ayak bileği koordinasyonu, futbol şut tekniğinde kinematik zincirin etkinliğini belirleyen temel bileşen olarak değerlendirilebilir.

Bu bağlamda, Juárez ve arkadaşları (2011) tarafından genç elit futbolcularla yürütülen kinematik analizde, kalça, diz, ayak bileği ve ayak parmak eklemlerinin maksimum doğrusal hızlarının ardışık biçimde (5.49, 10.89, 19.36 ve 24.59 m/s) gerçekleştiği ve bunun proksimal-distal bir enerji aktarım zincirini yansıttığı bildirilmiştir. Araştırmada, özellikle kalça hızındaki azalmayla eş zamanlı olarak diz ve ayak bileği hızlarında artış gözlenmiş; bu durum segmental enerji transferinin etkinliğini ortaya koymuştur (Juárez, Mallo, López de Subijana ve Navarro, 2011). Bu bulgular, mevcut çalışmada gözlemlenen kalça ve diz açı değişimlerinin vuruş evreleri boyunca enerji aktarımına katkısını destekler niteliktedir.

Benzer biçimde, Lees ve Nolan (1998), şut hareketinin mekanik başarısının, alt ekstremite segmentleri arasında gerçekleşen ardışık enerji transferinin etkinliğine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Kellis ve Katis (2007) tarafından yürütülen kapsamlı bir inceleme ise kalça ve diz eklemlerindeki açısal hızların artışının top hızını ve vuruş verimliliğini

doğrudan etkilediğini ortaya koymuştur. Daha güncel bir çalışmada, Bessenouci ve Haccini (2019) serbest vuruş performansında destek ayağı konumu, yaklaşma hızı ve topa temas anındaki diz ve ayak koordinasyonunun şut isabetini belirlediğini göstermiştir. Aynı şekilde, Nugroho ve Doewes (2023) tarafından yapılan karşılaştırmalı analizde, iç ayak vuruşlarında daha küçük backswing açısı, daha geniş frontswing ekstansiyonu ve toptan daha uzak destek ayağı yerleşiminin daha yüksek isabet oranı sağladığı bildirilmiştir.

Bu sonuçlar, şut hareketinin başarısının, kinetik zincir boyunca enerji aktarımının sürekliliği ve eklemler arası senkronizasyonun verimliliği ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, Kellis ve Katis (2007) futbol şutunun biyomekanik özelliklerini inceledikleri kapsamlı derleme çalışmalarında, topa vuruşun proksimalden distale uzanan ardışık bir enerji aktarım zinciriyle karakterize olduğunu ve bu zincirin verimliliğinin performans üzerinde belirleyici olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar, kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin ardışık açısal hız artışlarının topa aktarılan momenti maksimize ettiğini, buna karşılık zamanlama hatalarının hem top hızını hem de isabet oranını düşürdüğünü belirtmiştir. Ayrıca, destek ayağı stabilizasyonu ve ayak bileği plantar fleksiyonunun bu zincirin son halkası olarak enerji transferini tamamlayıcı işlev gördüğü ifade edilmiştir (Kellis ve Katis, 2007). Bu literatür bulguları, mevcut çalışmada gözlemlenen kalça–diz–ayak bileği koordinasyonunun şut performansındaki belirleyici rolünü destekler niteliktedir.

Araştırma sonuçları genel olarak H1, H3 ve kısmen H4 hipotezlerini desteklerken, H2 hipotezi doğrulanmamıştır. Bu durum, şut performansında diz eklemi hareketinin dolaylı, kalça ve ayak bileği koordinasyonunun ise belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir.

5.1.7. Uygulama ve antrenman önerileri: kinematik bulgulara dayalı yaklaşım

Araştırmadan elde edilen bulgular, futbol şut performansının yalnızca kas kuvvetiyle değil, eklemler arası koordinasyon ve hareket zamanlamasıyla da yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, antrenman süreçlerinde özellikle vuruş öncesi ve vuruş sonrası evrelere yönelik teknik geliştirme çalışmalarına ağırlık verilmesi önerilmektedir. Bu durum, Lees ve Nolan (1998)'in belirttiği üzere, futbol şut tekniğinin başarısının kuvvet üretiminden çok, alt ekstremite segmentleri arasında gerçekleşen ardışık enerji transferinin etkinliğine bağlı olduğu görüşüyle de örtüşmektedir. Benzer biçimde, Kellis ve Katis (2007), kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinde gözlenen proksimalden distale uzanan açısal hız artışının doğru zamanlamayla optimize edilmesinin topa aktarılan momentin verimliliğini

artırdığını ve teknik etkinliğin temel belirleyicisi olduğunu vurgulamıştır. Dolayısıyla, antrenman programlarında yalnızca kuvvet antrenmanlarına değil, eklemler arası senkronizasyonu geliştiren dinamik denge, propriosepsiyon ve koordinasyon çalışmalarına da yer verilmesi, performansın bütüncül biçimde artırılmasına katkı sağlayacaktır.

Vuruş öncesi evrede ayak bileği eklemının uygun konumlanmasını ve stabilizasyonunu destekleyen denge egzersizleri ile proprioseptif çalışmalar, topa temas kalitesini ve yönlendirme kontrolünü artırabilir. Vuruş sonrası evrede ise kalça eklemının aktif kontrolünü güçlendiren denge ve core stabilizasyon çalışmaları, hareketin sürekliliğini ve denge kontrolünü geliştirmeye katkı sağlayabilir. Ayrıca, farklı hedef bölgelerine yönelik açı farklılıkları dikkate alınarak, oyuncuların üst ve alt köşelere yapılan vuruşlarda farklı eklem pozisyonlarına uyum sağlamalarını hedefleyen teknik varyasyon antrenmanlarının planlanması önerilmektedir.

Bununla birlikte, teknik beceri gelişiminin yalnızca fiziksel ve biomekanik unsurlarla sınırlı olmadığı, bilişsel süreçlerin de performans üzerinde belirleyici olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda, fiziksel antrenmanlara ek olarak zihinsel antrenman yöntemlerinin, özellikle de video destekli mental antrenman programlarının kullanılması, teknik öğrenme süreçlerini hızlandırabilir. Nitekim, Görücü ve Akcan (2025) tarafından yürütülen bir çalışmada, video destekli zihinsel antrenmanın 12–14 yaş arası erkek futbolcularda şut, pas ve dripling becerilerinde anlamlı gelişmeler sağladığı bildirilmiştir (Görücü ve Akcan, 2025). Bu bulgu, genç futbolcularda motor beceri kazanımının yalnızca tekrara değil, zihinsel imgeleme ve bilişsel farkındalık süreçlerine de bağlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, teknik gelişim programlarının hem motor kontrol hem de zihinsel hazırlık bileşenlerini içerecek şekilde yapılandırılması, performans artışında bütüncül bir yaklaşımın benimsenmesine katkı sağlayacaktır.

5.2. Sonuç

Bu araştırmada, 13–14 yaş grubu erkek futbolcularda şut vuruşu sırasında kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları ile şut performansı arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Elde edilen bulgular, alt ekstremitte eklem açıları arasında vuruş evrelerine göre anlamlı farklılıklar bulunduğunu göstermiştir. Kalça ve diz eklemlerinde açıların vuruş boyunca azaldığı, ayak bileği ekleminde ise artış gösterdiği saptanmıştır. Bu durum, şut hareketinin kinematik zincir boyunca ilerleyen bir enerji aktarım süreci olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, vuruş

öncesi ayak bileği açısının ve vuruş sonrası kalça açısının şut performansını anlamlı biçimde yordadığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, şut başarısının yalnızca topa temas gücüne değil, hareketin hazırlık ve denge fazlarındaki biomekanik kontrol düzeyine de bağlı olduğunu göstermektedir. Farklı hedef bölgelerine yönelik açı farklılıklarının gözlenmesi ise futbolcuların hedefe göre teknik adaptasyon geliştirdiklerini göstermektedir. Genel olarak, şut performansının optimizasyonunda kalça, diz ve ayak bileği eklemleri arasındaki koordinasyonun ve hareket zamanlamasının temel belirleyici unsurlar olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kullanılan Azure Kinect tabanlı veri toplama sistemi, kontrollü salon koşullarında, yüksek hız içeren hareketlerin güvenilir biçimde ölçülmesine olanak tanımış, böylece elde edilen kinematik verilerin geçerliliği artırılmıştır. İki kameranın senkronizasyonu, sensör füzyonu ve Butterworth tabanlı filtreleme süreci, sistemin mekânsal doğruluğunu desteklemiştir. Bu yapı, şut kinematiğinin doğal akışını bozmadan kaydedilmesine olanak tanıyarak, futbol performans analizlerinde optoelektronik sistemlere alternatif olarak değerlendirilebilecek bir ölçüm yaklaşımı sunmuştur.

5.3. Öneriler

Araştırmadan elde edilen bulgular doğrultusunda, futbol antrenmanlarında şut tekniğine yönelik çalışmaların yalnızca kuvvet geliştirmeye değil, alt ekstremit eklemleri arasındaki koordinasyonun artırılmasına da odaklanması önerilmektedir. Özellikle vuruş öncesi fazda ayak bileği stabilizasyonunu ve konumlandırma kontrolünü geliştiren denge egzersizleri ile proprioseptif çalışmaların, şut isabet oranını artıracığı düşünülmektedir. Vuruş sonrası fazda ise kalça kontrolünü ve postüral dengeyi geliştiren core stabilizasyon ve mobilite antrenmanlarının performansa katkı sağlayabileceği öngörülmektedir. Ayrıca, farklı hedef bölgelerine yönelik teknik varyasyonların öğretilmesi, oyuncuların motor adaptasyon becerilerini güçlendirebilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı yaş ve performans düzeylerindeki futbolcuların karşılaştırılması, baskın olmayan ayak kullanımı ve üç boyutlu analiz sistemlerinin dahil edilmesiyle bulguların geçerliliği ve genellenebilirliği artırılabilir. Ayrıca, gelecekte yapılacak boylamsal çalışmalarla, farklı antrenman yöntemlerinin (örneğin proprioseptif veya zihinsel antrenman) şut kinematiği üzerindeki uzun vadeli etkilerinin incelenmesi önerilmektedir.

BÖLÜM 6

6. ÇALIŞMANIN SINIRLILIKLARI VE GELECEK ARAŞTIRMA ÖNERİLERİ

Bu çalışmanın bulguları, belirli metodolojik ve örnekleme sınırlılıkları çerçevesinde değerlendirilmelidir. Öncelikle, araştırma grubunu yalnızca 13–14 yaş aralığındaki erkek futbolcuların oluşturması, bulguların farklı yaş grupları veya kadın futbolculara genellenebilirliğini kısıtlamaktadır. Ayrıca tüm katılımcıların baskın ayağının sağ olması, verilerin yönsel çeşitliliğini azaltmış, ancak bu durum ölçümlerde iç tutarlılığı artırmıştır. Çalışmada geliştirilen veri toplama sisteminin temel yapıtaşlarından biri olan Azure Kinect teknolojisi, bilgisayarla görme, poz-gövde takibi ve spor performansının incelenmesi gibi alanlarda kullanım potansiyeline rağmen belirli açılarda derinlik algısında sınırlılıklar barındırmaktadır. Bu durum özellikle yüksek hızda gerçekleşen alt ekstremitte hareketlerinde küçük açısal hatalara yol açabilir. Dolayısıyla, gelecekte yüksek hızlı kameralar veya tam 3D motion capture sistemleriyle yapılacak ölçümler daha hassas sonuçlar sağlayabilir. Bunun yanında, şut performansı yalnızca Mor-Christian Şut Testi üzerinden değerlendirilmiş olup, farklı şut türleri (hareketli top, farklı hız koşulları) incelenmemiştir. Gelecekteki araştırmalarda, farklı yaş ve performans düzeylerindeki futbolcularla, hem baskın hem de baskın olmayan ayak kullanımı karşılaştırılarak kinematik farklılıkların incelenmesi önerilmektedir. Ayrıca, elektromiyografik (EMG) verilerin dahil edildiği, kas aktivasyon paternlerinin analiz edildiği çok boyutlu çalışmaların, şut performansının nöromekanik temellerine dair daha kapsamlı bilgiler sunacağı düşünülmektedir. Bu tür multidisipliner yaklaşımlar, futbol şut performansının yalnızca kinematik değil, nöromekanik ve motor kontrol boyutlarının da bütüncül biçimde anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte, sistemin çok kameralı sensör füzyonu yaklaşımı ve Butterworth filtresi tabanlı gürültü azaltma işlemi, genel ölçüm doğruluğunu artırarak kontrollü salon koşullarında yüksek hız içeren hareketlerin güvenilir biçimde kaydedilmesini sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Acet, M. (1997). Futbol Seyircisinin Sosyo-Kültürel Yapısının Şiddet Eylemine Etkisi, Voleybol ve Basketbol Seyircileri İle Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aharony, N., Meshurer, A., Krakovski, M., Parmet, Y., Melzer, I., & Edan, Y. (2024). Comparative analysis of cameras and software tools for skeleton tracking. *IEEE Sensors Journal*.
- Ali, A., Williams, C., Hulse, M., Strudwick, A., Reddin, J., Howarth, L., ... & McGregor, S. (2007). Reliability and validity of two tests of soccer skill. *Journal of sports sciences*, 25(13), 1461-1470.
- Allseits, E., Kim, K. J., Bennett, C., Gailey, R., Gaunaud, I., & Agrawal, V. (2018). A novel method for estimating knee angle using two leg-mounted gyroscopes for continuous monitoring with mobile health devices. *Sensors*, 18(9), Article 2759. <https://doi.org/10.3390/s18092759>.
- Andersson, H., Ekblom, B., & Krustup, P. (2008). Elite Football On Artificial Turf Versus Natural Grass: Movement Pattern, Technical Standard And Player Opinion. *Journal Of Sports Sciences*, 8, 1–10
- Angelakis E, Bakogiannis K, Georgaki A, Andreopoulou A. Operatic Singing Biomechanics: Skeletal Tracking Sensor Integration for Pedagogical Innovation. *Sensors*. 2025; 25(15):4713. <https://doi.org/10.3390/s25154713>.
- Antico, M., Balletti, N., Laudato, G., Lazich, A., Notarantonio, M., Oliveto, R., Ricciardi, S., Scalabrino, S., & Simeone, J. (2021). Postural control assessment via Microsoft Azure Kinect DK: An evaluation study. *Computer methods and programs in biomedicine*, 209, 106324. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2021.106324>
- Antico, M., Balletti, N., Ciccotelli, A., & Simeone, J. (2024). Design and evaluation of a mixed reality biofeedback system for home-based physiotherapy exercises. *The Visual Computer*, 40(5), 3327–3342. <https://doi.org/10.1007/s00371-024-03387-y>
- Apriantono, T., Nunome, H., Ikegami, Y. and Sano, S. 2006 . The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football . *Journal of Sports Sciences* , 24 : 951 – 960
- Arıkan, Y. (2007). Futbolda şiddet ve polis. *Polis Bilimleri Dergisi*, 9(1-4), 109-132.
- Armitano-Lago, C., Willoughby, D., & Kiefer, A. W. (2022). A SWOT analysis of portable and low-cost markerless motion capture systems to assess lower-limb musculoskeletal kinematics in sport. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 809898.
- Arguz, A., Guebli, A., Erkmen, N., Aktaş, S., Reguieg, M., & Er, Y. (2021). *Biomechanical analysis of accuracy penalties-kicking performance for Turkish soccer players: Group-based analysis without goalkeeper. Physical Education of Students*, 25(3), 189–196. <https://doi.org/10.15561/20755279.2021.0307>

- Asai, T., Akatsuka, T. and Kaga, M. 1995. "Impact process of kicking in football". In *Proceedings of the XVth Congress of the International Society of Biomechanics*, Edited by: Hakkinen, K., Keskinen, K. L., Komi, P. V. and Mero, A. 74 – 75 . Jyväskylä : Gummerus Printing).
- Asami, T. and Nolte, V. 1983. "Analysis of powerful ball kicking". In *Biomechanics VIII-B*, Edited by: Matsui, H. and Kobayashi, K. 695 – 700. Champaign, IL : Human Kinetics
- Aşçı, A. (2009). Futbolcularda Kuvvet Performansının Değerlendirilmesi. Ulusal
- Aydın, M.B., Hatipoğlu, D., Ceyhan,Ç. (2008). Endüstriyel futbol çağında "tarafdarlık".
- Babacan, D. (1993). *Futbol ve hakem*. Ankara. TFF Eğitim Yayınları.
- Bai, J., Wang, Z., Lu, X., & Wen, X. (2023). Improved spatial-temporal graph convolutional networks for upper limb rehabilitation assessment based on precise posture measurement. *Frontiers in neuroscience*, 17, 1219556. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1219556>
- Ball, K. Biomechanical considerations of distance kicking in Australian Rules football. *Sports Biomech* 7: 10-23, 2008
- Bauer, G., Soccer Techniques, Tactics and Teamwork, Sterling Publishing Company, Translated by Elisabeth E. Reinersmann, New York, 3, 10, 49-54, 1993.
- Bavlı, Ö., & Günar, B. B. (2025). *Examining the relationship between leg strength, speed and technical skills in amateur football players. Journal of Social, Humanities and Administrative Sciences*, 11(2), 105–113. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15069120>
- Bertram, J., Krüger, T., Röhling, H. M., Jelusic, A., Mansow-Model, S., Schniepp, R., Wuehr, M., & Otte, K. (2023). Accuracy and repeatability of the Microsoft Azure Kinect for clinical measurement of motor function. *PloS one*, 18(1), e0279697. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279697>.
- Beron-Vera, F., Lemus, S. A., Mahmoud, A. O., Beron-Vera, P., Ezzy, A., Chen, C.-B., Mann, B. J., & Travascio, F. (2024). *Asymmetry in kinematics of dominant/nondominant lower limbs in central and lateral positioned college and sub-elite soccer players*. *PLOS ONE*, 19(6), e0304511. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304511>
- Bessenouci, H., & Haceini, A. (2019). *Analysis of some biomechanical variables influencing the accuracy of direct free kicks in soccer. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 22(sup1), S340–S342. <https://doi.org/10.1080/10255842.2020.1714936>
- Blair, S., Duthie, G., Robertson, S., Hopkins, W., & Ball, K. (2018). Concurrent validation of an inertial measurement system to quantify kicking biomechanics in four football codes. *Journal of Biomechanics*, 73, 24–32. doi:10.1016/j.jbiomech.2018.03.031
- Blazevich, A. J. (2013). *Sports Biomechanics: The Basics: Optimising Human Performance* (2. Baskı). London: Bloomsbury.
- Bozkurt, S. (2009). *Futbolda Beceri Öğrenimi*. Türkiye Futbol Federasyonu Yayınları.

- Bouchareb, R., Almadhkhori, H., Abdulridha, W. H., Saleh, Z., & Al-Hadabi, B. (2024). *Analysis of some biomechanical variables to predict the accuracy of shooting fixed balls in female football players. Educational Administration: Theory and Practice*, 30(6), 1957–1964. <https://doi.org/10.53555/kuey.v30i6.5156>
- Brambilla, C., Marani, R., Romeo, L., Lavit Nicora, M., Storm, F. A., Reni, G., Malosio, M., D'Orazio, T., & Scano, A. (2023). Azure Kinect performance evaluation for human motion and upper limb biomechanical analysis. *Heliyon*, 9(11), e21606. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21606>
- Büker, L., Hackbarth, M., Quinten, V., Hein, A., & Hellmers, S. (2024). Towards comparable quality-assured Azure Kinect body tracking results in a study setting-Influence of light. *PloS one*, 19(8), e0308416. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308416>
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L., & Reilly, T. (2008). The Role Of Motion Analysis In Elite Soccer: Contemporary Performance Measurement Techniques And Work Rate Data. *Sports Medicine*, 338, 839–862
- Candra, H., Yuniati, U., & Chai, R. (2024). Computer vision for RGB-D sensors: Kinect and its applications. *Multimedia Tools and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11042-024-18231-x>
- Carr, G. *Sport Mechanics for Coaches*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004
- Chavernac, F., Albert, K., Huy, H. V., Ramachandran, S., Noumeir, R., & Jouvét, P. (2025). Real-Time Current Volume Estimation System from an Azure Kinect Camera in Pediatric Intensive Care: Technical Development. *Sensors*, 25(10), 3069. <https://doi.org/10.3390/s25103069>.
- Cerfoglio, S., Ferraris, C., Vismara, L., Amprimo, G., Priano, L., Bigoni, M., Galli, M., Mauro, A., & Cimolin, V. (2024). Estimation of gait parameters in healthy and hemiplegic individuals using Azure Kinect: a comparative study with the optoelectronic system. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 12, 1449680. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1449680>
- Chen, L., & Chen, W. (2025). Optimization enabled ensemble based deep learning model for elderly falling risk prediction. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 1–18. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/10255842.2025.2514802>.
- Clark, R. A., Mentiplay, B. F., Pua, Y. H., & Bower, K. J. (2015). Validity of the Microsoft Kinect for providing human body kinematic data: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Biomechanics*, 48(13), 3537–3546. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.08.011>
- Coppens, A., & Maquil, V. (2025). Skeletal Data Matching and Merging from Multiple RGB-D Sensors for Room-Scale Distant Interaction with Multiple Surfaces. *Electronics*, 14(4), 790. <https://doi.org/10.3390/electronics14040790>
- Çetin, G. (2004). T.F.F. futbol tekniği notları. Ankara: Eğitim Yayınları.

- Delasse, C., Lafkiri, H., Hajji, R., Rached, I., & Landes, T. (2022). Indoor 3d reconstruction of buildings via azure Kinect RGB-D camera. *Sensors*, 22(23), 9222.
- Di Marco, R., Rossi, S., Racic, V., Cappa, P., & Mazzà, C. (2016). Concurrent repeatability and reproducibility analyses of four marker placement protocols for the foot-ankle complex. *Journal of Biomechanics*, 49(14), 3168–3176. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.07.041>
- Dörge, H. C., Anderson, T. B., Sørensen, H., & Simonsen, E. B. (2002). Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of sports sciences*, 20(4), 293–299
- Durmuş A.G., Futbol Kulüplerinin Stratejik Yönetimi, Ankara, 1999, s.83-84, Beşiktaş Örneği, Bağırhan Yayinevi.
- El-Gohary, M., & McNames, J. (2012). Shoulder and elbow joint angle tracking with inertial sensors. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 59(9), 2635–2641. <https://doi.org/10.1109/TBME.2012.2208750>
- Erişti, S., Kuzu, A., Yurdakul, I. A., Akbulut, Y. & Kurt, A. A. (2013). Bilimsel araştırma yöntemleri. Anadolu Üniversitesi.
- Faraway, J., & Reed, M. P. (2007). Statistics for digital human motion modeling in ergonomics. *Technometrics*, 49(3), 275–290. <https://doi.org/10.1198/004017007000000281>
- Ferasat R. Investigation of biomechanical and anthropometric variables of football players according to their playing position. *Journal of Sport Biomechanics*. 2021 Jun 10;7(1):2-13).
- Giulietti, N.D. Todesca, M. Carnevale and H. Giberti, "A Real-Time Human Pose Measurement System for Human-In-The-Loop Dynamic Simulators," in *IEEE Access*, vol. 13, pp. 24954-24969, 2025, doi: 10.1109/
- Göktepe, A., Ak, E., Karabörk, H., Çiçek, Ş., & Korkusuz, F. (2009). Futbolda Penaltı Atışının Fotogrametrik Yöntemlerle Analiz Edilmesi. *Selçuk Teknik Dergisi*, 8(1), 1-7.
- Görücü, M., & Akcan, F. (2025). *Investigation of the effect of video-assisted mental training on the technical development of male football players in the 12–14 age group. European Journal of Physical Education and Sport Science*, 12(1), 40–54. <https://doi.org/10.46827/ejpe.v12i1.5757>
- Han, X., Guffanti, D., & Brunete, A. (2025). A Comprehensive Review of Vision-Based Sensor Systems for Human Gait Analysis. *Sensors*, 25(2), 498. <https://doi.org/10.3390/s25020498>.
- Hargreaves, A., Skills and Strategies for Coaching Soccer, Leisure Pres Champaign Illinois, United States of America, 150-155, 162, 1990.
- Huang, C.-S. (2023). An Adaptive Cutoff Frequency Design for Butterworth Low-Pass Filter Pursuing Robust Parameter Identification for Battery Energy Storage Systems. *Batteries*, 9(4), 198. <https://doi.org/10.3390/batteries9040198>.

- Işik, B., Erdağı, K., Örucü, S., Osmanoğlu, U. Ö., & Özbay, E. (2025). Analysis of anthropometric measurements in U-15 female weightlifters using Kinect camera and comparison with traditional methods. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 1-16.
- Izovska, J., Maly, T. ve Zahalka, F. (2016). Relationship Between Speed and Accuracy of Instep Soccer Kick. *Journal of Physical Education and Sport*, 16(2): 459-464.
- İkizler, H. C. (1994). *Sporda başarının psikolojisi*. Alfa Basım Yayınları, Ankara,
- İnal A.N. (2013), *Futbolda Eğitim ve Öğretim*, 4. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Işik, B., Erdağı, K., Örucü, S. et al. Analysis of anthropometric measurements in U-15 female weightlifters using Kinect camera and comparison with traditional methods. *Med Biol Eng Comput* (2025). <https://doi.org/10.1007/s11517-025-03373-3>.
- İşbilir M. Futbolcularda Dominant ve Nondominant Ayağa Hareket Yaptıran Kasların Kuvvet Düzeyi ile Ayakta Dengelenmeye Olan Etkilerinin İncelenmesi. Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2010.
- Juárez, D., Mallo, J., López de Subijana, C., & Navarro, E. (2011). *Kinematic analysis of kicking in young top-class soccer players. The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51(3), 366–373.
- Jayanth T. and A. Manimaran, "Developing a Novel Hybrid Model Double Exponential Smoothing and Dual Attention Encoder-Decoder Based Bi-Directional Gated Recurrent Unit Enhanced With Bayesian Optimization to Forecast Stock Price," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 114760-114785, 2024, doi:10.1109/ACCESS.2024.3435683.
- Jo, S., Song, S., Kim, J., & Song, C. (2022). Agreement between Azure Kinect and Marker-Based Motion Analysis during Functional Movements: A Feasibility Study. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(24), 9819. <https://doi.org/10.3390/s22249819>.
- Kanko, R. M., Laende, E., Selbie, W. S., & Deluzio, K. J. (2021). Inter-session repeatability of markerless motion capture gait kinematics. *Journal of Biomechanics*, 121, 110422.
- Katis A, Giannadakis E, Kannas T, Amiridis I, Kellis E, Lees A. Mechanisms that influence accuracy of the soccer kick. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2013 Feb 1;23(1):125-31; <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.08.020>
- Kawamoto, R., Miyagi, O., Ohashi, J. and Fukashiro, S. 2007 . Kinetic comparison of a side foot soccer kick between experienced and inexperienced players. *Sports Biomechanics*, 6 : 187 – 198
- Kellis, E., Katis, A. and Gissis, I. 2004. Knee biomechanics of the support leg in soccer kicks from three angles of approach. *Medicine and Science in Sports and Exercise* , 36 : 1017 – 1028
- Kellis, E. and Katis, A. 2007. Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6 : 154–165

- Konter, E. (2010). *Sporda stres ve performans, kuramlar ve kontrol etme teknikleri*. Baş saray Basımevi, İzmir.
- Kurillo, G., Hemingway, E., Cheng, M. L., & Cheng, L. (2022). Evaluating the accuracy of the azure kinect and kinect v2. *Sensors*, 22(7), 2469.
- Kuş, M. (2014). Futbolun ekonomi politiği ve Türkiye üzerine bir değerlendirme. *Gazi İktisat ve İşletme Dergisi*, 1(1), 69-88
- Lees, A., Steward, I., Rahnama, N. and Barton, G (b). 2009. “Understanding lower limb function in the performance of the maximal instep kick in soccer”. In *Proceedings of the 6th International Conference on Sport, Leisure and Ergonomics*, Edited by: Reilly, T. and Atkinson , G. 149 – 160).
- Lees, A. 2007. “Qualitative biomechanical assessment of performance”. In *The essentials of performance analysis* , Edited by: Hughes , M. and Franks , I. 162 – 179. London: Routledge.
- Lees, A. and Nolan, L. 2002. “Three dimensional kinematic analysis of the instep kick under speed and accuracy conditions”. In *Science and football IV* , Edited by: Spinks, W., Reilly, T. and Murphy, A. 16 – 21
- Lees A, Asai T, Andersen TB, Nunome H, Sterzing T. The biomechanics of kicking in soccer: A review. *Journal of Sports Sciences*. 2010 Jun 1;28(8):805-17
- Lees A, Steward I, Rahnama N, Barton G (a). Lower limb function in the maximal instep kick in soccer. In *Contemporary sport, leisure and ergonomics 2009 Mar 24* (pp. 161-172). Routledge
- Lees, A., Asai, T., Andersen, T. B., Nunome, H., & Sterzing, T. (2010). The biomechanics of kicking in soccer: A review. *Journal of Sports Sciences*, 28(8), 805–817. doi:10.1080/02640414.2010.481305
- Lees, A., & Nolan, L. (1998). The biomechanics of soccer: A review. *Journal of Sports Sciences*, 16(3), 211–234. <https://doi.org/10.1080/026404198366740>
- Levanon, J and Dapena, J. Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 30: 917-927, 1998
- Lim, C. H., Vats, E., & Chan, C. S. (2015). Fuzzy human motion analysis: A review. *Pattern Recognition*, 48(5), 1773–1796. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2014.11.016>
- Luxbacher, J.A., Soccer, Human Kinetics, United States of America, 12, 76, 1996.
- Mahata, S., Kubanek, D., & Herencsar, N. (2024). Design of fractional-order transitional filters of the Butterworth-Sync-Tuned, Butterworth-Chebyshev, and Chebyshev-Sync-Tuned types: optimization, simulation, and experimental verification. *Computers and Electrical Engineering*, 116, 109200.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). Growth, maturation, and physical activity (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

- Marqués-Bruna P., Lees, A. and Grimshaw, P. 2007. Development of technique in soccer. *International Journal of Coaching Science*, 1 : 51– 62
- Masanovic B. (2018). Comparative Study of Anthropometric Measurement and Body Composition between Junior Basketball and Volleyball Players from Serbian National League. *Sport Mont* 16 (3): 19–24.
- Masuda, K, Kikuhara, N, Demura, S, Katsuta, S, and Yamanaka, K. Relationship between muscle strength in various isokinetic movements and kick performance among soccer players. *J Sports Med Phys Fit* 45: 44-52, 2005
- Meredith, S. J., Dicks, M., Noel, B., & Wagstaff, C. R. (2018). A review of behavioural measures and research methodology in sport and exercise psychology. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 11(1), 25-46.
- Milanovic L, Bjelica B, Fulurija D, Aksović N, Alempijevic R. (2022). Physical Composition And Motor Skills Of Footballers. *International Journal of Academic Health and Medical Research*; 6(1):139-145
- Minick KI, Kiesel KB, Burton L, Taylor A, Plisky P and Butler R. J. Interrater. Reliability of the functional movement screen. *J Strength Cond Res*, 2010;24 (2):479486
- Moniz, A., Gordon, M., Bergum, I., Chang, M., & Grant, G. (2021). Speech services. In *Beginning Azure Cognitive Services: Data-Driven Decision Making Through Artificial Intelligence* (pp. 153-192). Berkeley, CA: Apress.
- Mor, D., & Christian, V. (1976). The development of a skill test battery to measure general soccer ability. *North Carolina Journal of Health and Physical Education*, 15(1), 30.
- Müniroğlu, S., Deliceoğlu, G. (2008). Futbol'da müsabaka analizi ve gözlem teknikleri. Ankara Üniversitesi Basımevi.
- Nugroho, H., & Doewes, R. I. (2023). *Different biomechanics in football shooting using inside and instep kick*. *International Journal of Disabilities Sports and Health Sciences*, 6(3), 307–315. <https://doi.org/10.33438/ijdshs.1290078>
- Nunome, H., Asai, T., Ikegami, Y. and Sakurai, S. 2002. Three dimensional kinetic analysis of side-foot and instep kicks . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , 34 : 2028 – 2036
- Nunome, H., Lake, M., Georgakis, A. and Stergioulas, L K. (b) 2006. Impact phase kinematics of the instep kick in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 24 : 11–22
- Nunome, H. and Ikegami, Y. 2005. “The effect of hip linear motion on lower leg angular velocity during soccer instep kicking”. In *Proceedings of the XXIIIrd Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports*, Edited by: Wang , Q. 770 – 772
- Nunome H, Ikegami Y, Kozakai R, Apriantono T, Sano S (a). Segmental dynamics of soccer instep kicking with the preferred and non-preferred leg. *Journal of Sports Sciences*. 2006 May 1;24(05):529-41

- Orloff, H., Sumida, B., Chow, J., Habibi, L., Fujino, A. and Kramer, B. 2008. Ground reaction forces and kinematics of plant leg position during instep kicking in male and female collegiate soccer players. *Sports Biomechanics*, 7 : 238 – 247
- Orta L., F.İ.F.A. Dünya Kupası Finallerinin Analitik Olarak İncelenmesi, 2001, s. 227-239, Cilt 2, Gazi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Kongresi.
- Osmanoğlu, U. Ö., Erdağı, K., Işık, B., Örucü, S., & Özbay, E. (2025). Comparative analysis of Microsoft Kinect Azure and manual measurement methods in the sit and reach test among elite female weightlifters. *Scientific Reports*, 15(1), 24636.
- Örucü, S., Işık, B., Erdağı, K., Osmanoğlu, U. Ö., & Özbay, E. (2025). Kinect-based anthropometric measurements: a comparative analysis of traditional methods in youth female weightlifters. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 17(1), 75.
- Örucü, S., Selek, M. (2020). Design and validation of rule-based expert system by using kinect V2 for real-time athlete support. *Applied Sciences*, 10(2), 611.
- Özer K. (2009). *Kinantropometri Sporda Morfolojik Planlama*: Nobel Yayın Dağıtım.
- Özgür, A. (2018). Endüstriyel futbol ve taraftarlık: Taraftarların endüstriyel futbola bakışı üzerine bir araştırma. *Selçuk İletişim*, 11(1), 323-352. <https://doi.org/10.18094/josc.345862>
- Özmen H., Futbol, Holiganizm ve Medya, 2000, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Halkla İlişkiler ve Tanıtım Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi,
- Öztürk, F. (1998). *Toplumsal boyutlarıyla spor*. Bağırhan Yayinevi, Ankara.
- Pan, H., Li, J., Wang, H., & Zhang, K. (2021, September). Biomechanical analysis of shooting performance for basketball players based on computer vision. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2024, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.
- Pajović, L., Toskić, L., Stanković, V., Lilić, L., & Cicović, B. (2023). Muscle Contractile Properties Measured by the Tensiomyography (TMG) Method in Top-Level Football Players of Different Playing Positions: The Case of Serbian Super League. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 924.
- Pfister, A., West, A. M., Bronner, S., & Noah, J. A. (2014). Comparative abilities of Microsoft Kinect and Vicon 3D motion capture for gait analysis. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 38(5), 274–280. <https://doi.org/10.3109/03091902.2014.909540>
- Prieto-Lage, I., Prieto, M. A., Curran, T. P., & Gutiérrez-Santiago, A. (2018). An accurate and rapid system to identify play patterns in tennis using video recording material: Break point situations as a case study. *Journal of Human Kinetics*, 62, 199.
- Plagenhoef, S. (1971). *Patterns of Human Motion*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall

- Polášek, P., Bureš, M., & Šimon, M. (2015). Comparison of digital tools for ergonomics in practice. *Procedia engineering*, 100, 1277-1285.
- Psotta, R., ve Martin, A. (2011). Changes in decision-making skill and skill execution in soccer performance: The intervention study. *Acta Gymnica*, 41(2), 7-15.
- Putnam, C.A. (1991). A segment interaction analysis of proximal-to-distal sequential segment motion patterns. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, 130- 144
- Rahnama N, Lees A, Bambaecichi E. A comparison of muscle strength and flexibility between the preferred and non-preferred leg in English soccer players. *Ergonomics*. 2005 Sep 15;48(11-14):1568-75;
- Rebbouj, M., & Lotfi, S. (2024). Athlete performance prediction using intelligent reporting and regression model analysis: A generative approach for training planning. *Journal of Physical Education & Sport*, 24(8).
- Reilly, T. (Ed.). (2003). *Science and soccer* (2nd ed.). Routledge.
- Riboli A, Esposito F, Coratella G. Small-sided games in elite football: practical solutions to replicate the 4-min match-derived maximal intensities. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2023 Feb 1;37(2):366-74.
- Robertson, D.G.E. and Mosher, R.E. (1985). Work and power of the leg muscles in soccer kicking. In *B iomechanics IX-B* (edited by D. Winter), pp. 533± 538. Champaign, IL: Human Kinetics
- Romeo, L., Marani, R., Malatesta, A., Perri, V., & D’Orazio, T. (2021). Azure Kinect performance evaluation for human motion and upper limb biomechanical analysis. *Heliyon*, 7(12), e08560. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08560>
- Saçaklı, H., Kale, R., Özdemir, Y., Gökçe, E., (1995). *Futbol*. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları. Yayın No: 1566
- Sardari, S., Sharifzadeh, S., Daneshkhah, A., Nakisa, B., Loke, S. W., Palade, V., & Duncan, M. J. (2023). Artificial intelligence for skeleton-based physical rehabilitation action evaluation: A systematic review. *Computers in Biology and Medicine*, 158, 106835.
- Scurr, J., & Hall, B. (2009). The effects of approach angle on penalty kicking accuracy and kick kinematics with recreational soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8, 230-234.
- Sever, O. ve Zorba E. (2017). Investigation of physicalfitnesslevels of soccer players according to position and agevariables. *PhysicalEducationand Sports*, 15(2), ss. 295-307.
- Shan, G., Daniels, D., Wang, C., Wutzke, C. and Lemire, G. 2005 (a) . Biomechanical analysis of maximal instep kick by female soccer players. *Journal of Human Movement Studies*, 49 : 149 – 168
- Shan, G. and Westerhoff, W. 2005 (b). Full-body kinematic characteristics of the maximal instep kick by male soccer players and parameters related to kick quality . *Sports Biomechanics*, 4 : 59 – 72

- Shimotashiro, Y., & Shinya, M. (2024). *Quantification in shooting precision for preferred and non-preferred foot in college soccer players using the 95% equal confidence ellipse. Frontiers in Sports and Active Living, 6*, Article 1434096. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1434096>
- Singh, M., & Deol, N. S. (2012). Kinematical analysis of high drive in soccer. *International Journal of Research Pedagogy and Technology in Education and Movement Sciences (IJEMS)*, 1(1), 36-43.
- Skogvang, B., Peitersen B., Stanley-Kehl K., Soccer Today, Wadsworth/Thomson Learning, Canada, 5, 20, 28, 50, 2000.
- Sohn, J.H., Oh, S., Lee, CH. et al. Recursive inverse kinematic analysis for humanoid robot based on depth camera data. *J Mech Sci Technol* 35, 3199–3209 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12206-021-0640-y>.
- Soussi, B., Horváth, T., Lacza, Z., & Ambrus, M. (2025). The Effect of the FIFA 11+ Warm-Up Program on Knee Instability and Motor Performance in Male Youth Soccer Players. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 25(8), 2425. <https://doi.org/10.3390/s25082425>
- Stoner LJ, Ben-Sira D. Variation in movement patterns of professional soccer players when executing a long range and a medium range in-step soccer kick. *Biomechanics VII-B*. 1981:337-41
- Strand, B.N. & Wilson, R. (1993). *Assessing sport skills*. USA Utah State Un.: Human Kinetics Publishers.
- Sutliff, M.A., *Teaching Strategies of Soccer*, Allyn & Bacon, United States of America, 23-24, 34, 88, 1996.
- Sulla-Torres, J., Santos-Pamo, B., Cárdenas-Rodríguez, F., Angulo-Osorio, J., Gómez-Campos, R., & Cossio-Bolaños, M. (2024). Multiplatform Computer Vision System to Support Physical Fitness Assessments in Schoolchildren. *Applied Sciences*, 14(16), 7140. <https://doi.org/10.3390/app14167140>
- Şahan, H., Akpınar, S., Ulukan, M. ve Akpınar, Ö. (2008). Spor-medya ilişkilerinde iletişim teknolojilerinin rolü. *Niğde Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*. 2 (2), 155-164.
- Taşgın, Ö. (2000). 14-16 yaş grubu futbolcuların bazı fiziksel ve fizyolojik parametrelerinin incelenmesi [Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi].
- Taşkın, H. (2005). Profesyonel futbolcularda teknik parametrelerin tespiti ve liglere göre değerlendirilmesi (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tercüman Gazetesi, “Spor Ansiklopedisi”: İstanbul,1981, s.65-67, Futbol.
- Torres-Luque, G., Fernández-García, Á. I., Cabello-Manrique, D., Giménez-Egido, J. M., & Ortega-Toro, E. (2018). Design and validation of an observational instrument for the technical-tactical actions in singles tennis. *Frontiers in Psychology*, 9, Article 2418. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02418>.

- Tölgýessy, M., Dekan, M., Chovanec, L., & Hubinský, P. (2021). Evaluation of the Azure Kinect and Its Comparison to Kinect V1 and Kinect V2. *Sensors*, 21(2), 413. <https://doi.org/10.3390/s21020413>.
- Tunçel, A. (2016). Futbolda penaltı vuruşunun kinematiği: Kaleci faktörünün etkisi (Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Antrenörlük Eğitimi Anabilim Dalı). Danışman: Doç. Dr. Erbil Harbili. Konya.
- Türkiye Futbol Federasyonu Yayınları (TFF), Türk Futbol Tarihi (1904-1991), Cilt1. Haziran, 1992; S.7-18.
- Türkiye Futbol Federasyonu. (2024) Resmi internet Sitesi (a): <https://www.tff.org/default.aspx?pageID=294>
- Türkiye Futbol Federasyonu. (2024) Resmi internet Sitesi (b): <https://www.tff.org/Resources/TFF/Documents/MHK/2023-2024/oyun-kurallari.pdf>
- Üçışık H. F., Sporda Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Ötüken Neşriyat, Yayın No: 451, İstanbul, 1999; S.40.
- Van der Kruk, E., & Reijne, M. M. (2018). Accuracy of human motion capture systems for sport applications; state-of-the-art review. *European Journal of Sport Science*, 18(6), 806–819. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1463397>
- Vieira, L. H. P., Carling, C., Barbieri, F. A., Aquino, R. & Santiago, P. R. P. (2019). Match Running Performance in Young Soccer Players: A Systematic Review. *Sports Medicine*. 49(2), 289-318.
- Wickstrom, R.L. (1975). Developmental kinesiology. *Exercise and Sports Science Reviews*, 3, 163-192
- Xie, Y., Souto, A. L., Fachada, S., Bonatto, D., Teratani, M., & Lafruit, G. (2021, December). Performance analysis of DIBR-based view synthesis with kinect azure. In 2021 International Conference on 3D Immersion (IC3D) (pp. 1-6). IEEE.
- Wang, SA., Lu, MH., Lee, AT. et al. Performance of Microsoft Azure Kinect DK as a tool for estimating human body segment lengths. *Sci Rep* 14, 15811 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66798-0>
- Werdayani, D., & Widiaty, I. (2021, March). Virtual fitting room technology in fashion design. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1098, No. 2, p. 022110). IOP Publishing.
- Yetim, A. A. (2006). *Sosyoloji ve spor*. Morpa Kültür Yayınları, İstanbul.
- Yıldıran İ. (1997). Tepük Futbol Mudur?: XI. Yüzyıl Türk Spor Faaliyetlerinden “ Tepük” Oyunun Mahiyeti Üzerine Bir Araştırma”, *Bed. Eğt. Spor Bilimleri Dergisi*, Cilt 2 Sayı 1 s. 54-62.
- Yiğit, Ş. (2018). Futbol taraftarlarının fanatizm düzeyleri ve şiddet eğilimleri: Kayseri ili örneği. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 114-126. <https://doi.org/10.17155/omuspd.339691>

- Young, C. M., Luo, W., Gatin, P., Tran, J., & Dwyer, D. B. (2019). The relationship between match performance indicators and outcome in Australian Football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(4), 467–471. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.09.235>
- Young, W.B., & Rath, D.A. (2011). Enhancing Foot Velocity in Football Kicking: The Role of Strength Training. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 561-566.
- Zeng, Y., Wu, L., & Xie, D. (2021, September). Gait analysis based on azure kinect 3d human skeleton. In 2021 International Conference on Computer Information Science and Artificial Intelligence (CISAI) (pp. 1059-1062). IEEE.
- Zernicke, R. and Roberts, E.M. (1978). Lower extremity forces and torques during systematic variation of non-weight bearing motion. *Medicine and Science in Sports*, 10, 21-26.
- Zhao, W., Lun, R., Gordon, C., Fofana, A. B. M., Espy, D. D., Reinthal, M. A., Ekelman, B., Goodman, G. D., Niederriter, J. E., & Luo, X. (2017). A human-centered activity tracking system: Toward a healthier workplace. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 47(3), 343–355. <https://doi.org/10.1109/THMS.2016.2611825>.
- Zhao, X., & Lu, M. (2025). Design and application of a handball training level evaluation system for college students. *Intelligent Decision Technologies*, 19(2), 766-780.
- Zhao, X., Ross, G., Dowling, B., & Graham, R. B. (2023). Three-dimensional motion capture data of a movement screen from 183 athletes. *Scientific Data*, 10(1), 235. doi:<https://doi.org/10.1038/s41597-023-02082-6>

EKLER

EK-1: Etik Kurul Kararı



NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL VE BEŞERİ BİLİMLER BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU
ETİK KURUL KARARI

Etik Kurul Toplantı Tarihi/Sayı ve Karar No	Tarih :11/07/2025 Toplantı Sayısı: 14 Karar No :2025/661
Araştırmanın Başlığı	Futbolda İç Vuruş Tekniğinde Eklem Açıları İle Şut Performansı Arasındaki İlişkinin Azure Kinect İle Kinematik Olarak Değerlendirilmesi.
Sorumlu Araştırmacı	Doç. Dr. Kenan ERDAĞI
Yardımcı Araştırmacılar	Dr. Öğr. Üyesi Serkan ÖRÜCÜ Lisansüstü Öğrenci: Mustafa AYDIN
Etik Kurul Kararı	25921 sayılı başvuru Etik Kurul tarafından değerlendirilmiş olup, başvurunun bilimsel araştırma etiği açısından “Uygun” olduğuna karar verilmiştir.

11/07/2025

Doç. Dr. Mustafa AYDIN
Etik Kurul Başkanı

EK-2: 2. Danışman Atama Belgesi



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Eğitim Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



Sayı : E-71052239-100-720332
Konu : İkinci Danışman Ataması (Mustafa AYDIN)

05.08.2025

DAĞITIM YERLERİNE

Enstitümüz Yönetim Kurulu'nun karar sureti aşağıya çıkartılmıştır.
Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

TARİH	05.08.2025
TOPLANTI	33
KARAR NO	05
KONU	İkinci Danışman Ataması (Mustafa AYDIN)
KARAR	
Enstitümüz Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı Beden Eğitimi ve Spor Bilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 23831501017 numaralı öğrencisi Mustafa AYDIN ile ilgili Bilim Dalı Başkanlığının 04.08.2025 tarihli E. 719499 sayılı yazısı ile ekleri görüşüldü. "Üniversitemiz Lisansüstü Eğitim-Öğretim Süreci Uygulama Esasları 8. Maddesinin 2. fıkrasının, b) bendinin 5. Alt bendinde yer alan "Tez çalışmasının niteliğinin birden fazla danışman gerektirdiği durumlarda ikinci danışman, en geç tez çalışmasının başladığı ilk dönem sonuna kadar atanır. İkinci tez danışmanı danışmanlık ücreti alamaz. İkinci tez danışmanı, üniversite kadrosu dışından da en az doktora derecesine sahip kişilerden olabilir" Hükmü gereğince adı geçen öğrencinin ikinci danışmanının aşağıdaki tabloya göre atanmasının uygun olduğuna kararın, öğrenciye, danışmanına ve Bilim Dalı Başkanlığına bildirilmesine oy birliği ile karar verildi.	
Danışman	Doç. Dr. Kenan ERDAĞI
İkinci Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Serkan ORUCU

e-İmzalıdır
Doç. Dr. Mevlüt AYDOĞMUŞ
Enstitü Müdürü

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : SMSY-38UT-OKR8

Belge Doğrulama Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/necmettin-erbakan-ebys>

Adres: AKEF Eğitim Bilimleri Enstitüsü A1 BLOK NO:146 MERAM/KONYA
Telefon No : 0332 324 76 60

Fax No : 0332 324 55 10

Bilgi İçin : Merve AKÇİL
Stresli İççi

e-Posta :

İnternet Adresi : <http://www.erbakan.edu.tr>

Telefon No:0332 324 76 60



EK-3: Tez Önerisi



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Eğitim Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



Sayı : E-71052239-100-701961
Konu : Tez Önerisi (Mustafa AYDIN)

02.07.2025

DAĞITIM YERLERİNE

Enstitümüz Yönetim Kurulu'nun karar sureti aşağıya çıkartılmıştır.
Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

TARİH	01.07.2025
TOPLANTI	28
KARAR NO	13
KONU	Tez Önerisi (Mustafa AYDIN)
KARAR	
Enstitümüz Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı Beden Eğitimi ve Spor Bilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 23831501017 numaralı öğrencisi Mustafa AYDIN ile ilgili Bilim Dalı Başkanlığı'nın 29.06.2025 tarih ve E.700579 sayılı yazısı ile ekleri görüşüldü. Adı geçen öğrencinin tez önerisinin uygun olduğuna tez savunma sınavına kadar Enstitümüze etik kurul kararını teslim etmesine, kararın danışmanına, öğrenciye ve Bilim Dalı Başkanlığı'na bildirilmesine oy birliği ile karar verildi.	
Tez Adı Türkçe	Futbolda İç Virüs Tekniğinde Eklem Açılan ile Şut Performansı Arasındaki İlişkinin Azure Kinect ile Kinematik Olarak Değerlendirilmesi
Tez Adı İngilizce	Kinematic Evaluation of the Relationship Between Joint Angles and Shooting Performance in the Inside Kicking Technique in Football Using Azure Kinect
Danışman	Doç. Dr. Kenan ERDAĞI

Doç. Dr. Mevlüt AYDOĞMUŞ
Enstitü Müdürü

Dağıtım:
Eğt. Bil. Enst. Beden Eğitimi ve Spor Bilim Dalına
Sayın Doç. Dr. KENAN ERDAĞI

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : 8RTM-Y7R2-0RB8

Belge Doğrulama Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/necmettin-erbakan-ebys>

Adres: AKEF Eğitim Bilimleri Enstitüsü A1 BLOK NO:146 MERAM/KONYA
Telefon No : 0332 324 76 60 Fax No : 0332 324 55 10

Bilgi İçin :Merve AKÇİL
Stresli İygi

e-Posta :

İnternet Adresi : <http://www.erbakan.edu.tr>

Telefon No:0332 324 76 60

