

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BİSİKLETÇİLERİN HAREKET YAKALAMA TEKNOLOJİSİYLE
ELDE EDİLEN GERÇEK ZAMANLI VERİLERİNİN
ANTROPOMETRİK ÖLÇÜMLER İLE KİNEMATİK ANALİZİ VE
BİYOMEKANİK MODELLEMESİ**

Kübra Elif TOZKOPARAN

Yüksek Lisans Tezi

YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2022

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**BİSİKLETÇİLERİN HAREKET YAKALAMA TEKNOLOJİSİYLE
ELDE EDİLEN GERÇEK ZAMANLI VERİLERİNİN
ANTROPOMETRİK ÖLÇÜMLER İLE KİNEMATİK ANALİZİ VE
BİYOMEKANİK MODELLEMESİ**

Tez Yazarı

Kübra Elif TOZKOPARAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Özgür KARADUMAN

TEMMUZ 2022

ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Bisikletçilerin Hareket Yakalama Teknolojisiyle Elde Edilen Gerçek Zamanlı Verilerinin Antropometrik Ölçümler ile Kinematik Analizi ve Biyomekanik Modellemesi

Yazarı: Kübra Elif TOZKOPARAN

İlk Teslim Tarihi: 10.06.2022

Savunma Tarihi: 01.07.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Özgür KARADUMAN Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Engin AVCI Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Fatih TOPALOĞLU Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Bisikletçilerin Hareket Yakalama Teknolojisiyle Elde Edilen Gerçek Zamanlı Verilerinin Antropometrik Ölçümler ile Kinematik Analizi ve Biyomekanik Modellemesi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

01.07.2022

Kübra Elif TOZKOPARAN



ÖNSÖZ

Teknoloji hızla gelişmeye devam etmektedir. Bu durum insan ilişkilerinden alışkanlıklara kadar birçok şeyin yeniden yorumlanmasına ve yeni kalıplarda değerlendirilmesine neden olmaktadır. Tüm bu değişimlere rağmen değişmeyen ya da değişmesi istenmeyen alışkanlıklar da mevcuttur. Bisiklet sektörü, yapı malzemelerinden her parçasına kadar teknolojinin tüm olanaklarının kullanıldığı bir alandır ve bisiklet, güçlü bir kültür ve sıklıkla başvurulmuş bir spordur.

Bisikletin fiziksel ve zihinsel sağlık açısından birçok faydası vardır. Bisiklet egzersizi vücuttaki birçok kası aynı anda çalıştırdığı için vücudu sıkılaştırma vb. birçok katkısı bulunmaktadır. Sadece profesyonel bisikletçilerin tercihi değil büyük küçük her yaştan insanın belirli amaçlarla bisiklet sporunu tercih ettiği bilinmektedir ve her spor dalında olduğu gibi ilgili sporu doğru pozisyonda yapmak önemlidir. Doğru pozisyon; yaş, sürüş tarzı, esneklik ve anatomik varyantlar gibi fiziksel özellik faktörlerine bağlı olarak kişiden kişiye değişmektedir.

Spor mühendisliği adı altında sporcuların performans ölçümlerini hareket yakalama teknolojisiyle ölçmek mümkün müdür ve elde edilen verilerle analiz yapıldığında sporcu verimliliği ölçülebilir mi sorularına yanıt bulmak amaçlı ilgili tez hazırlanmıştır. Hareket yakalama sürecinin veya tekniğinin kullanılmasının temel nedeni, gerçekçi sonuçlar elde etmenin kolay olmasıdır. Bike fit uygulamasının yapıldığı bisikletler ile tüm beceri seviyelerindeki bisikletçilerin tekniklerini geliştirmelerine olanak sağlanmış olacaktır. Uygun ekipman kullanımı, yeterli ve doğru antrenman ve bisiklet sürüş tekniklerinin düzeltilmesiyle bisikletçilerin yaralanma ve sakatlanma riskleri en aza indirilebilecektir.

Tez yazımı süresince danışmanlığımı yapan Dr. Öğr. Üyesi Özgür KARADUMAN'a, desteğini esirgemeyen arkadaşlarıma ve her koşulda yanımda olan ve bugünlere gelmemde en büyük katkısı olan kıymetli aileme desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Kübra Elif TOZKOPARAN

ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	x
ALGORİTMALAR LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. BİSİKLET TEKNOLOJİSİ	4
2.1. Bisiklet Tarihçesi ve Evrimi	4
2.2. Bisiklet Türleri.....	6
2.3. Bisiklet Donanımı.....	6
2.4. Bisiklet Aksesuarları.....	7
2.5. Bisiklet Model Seçimi	7
2.6. Kadro Geometrisi	11
3. HAREKET YAKALAMA TEKNOLOJİSİ	12
3.1. Uygulama Alanları	13
3.2. Yöntemler ve Sistemler	15
3.3. Optik Sistemler	15
3.4. Marker Kullanılmayan (İşaretsiz) Sistemler	17
3.5. Optik Olmayan Sistemler	17
4. SPORCU ANATOMİSİ VE YARALANMALARI.....	20
4.1. Sporcu Yaralanmaları ve Önlenme Yöntemleri.....	20
4.2. Performans Analizi	21
5. SPOR BİYOMEKANİĞİ ANALİZİ.....	24
5.1. Spor Biyomekanikği	24
6. MATERYAL VE METOT	26
6.1. Dinamik Yöntem	29
6.1.1. Input Buffer – Marker Lokalizasyonu.....	30
6.1.2. Kamera Kalibrasyonu.....	32
6.1.3. Kinematik Analiz	41
6.2. Statik Yöntem	44
6.2.1. Antropometrik Ölçümler	47
6.2.2. Optimal Açısal Değer Aralıklarının Belirlenmesi	48
6.3. Optimizasyon İçin Farklılık Çıkarımı.....	50
6.4. Bike Fit.....	50
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	55
7.1. Tartışma.....	68
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Bisikletçilerin Hareket Yakalama Teknolojisiyle Elde Edilen Gerçek Zamanlı Verilerinin Antropometrik Ölçümler ile Kinematik Analizi ve Biyomekanik Modellemesi

Kübra Elif TOZKOPARAN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2022, Sayfa: xiii + 82

Bir ülkede herhangi bir spor dalını uygulamak ve ilgili spor dalının koşulları iyileştikçe, sporcularda profesyonelleşme isteği ortaya çıkmaktadır. Çünkü şartlar olgunlaştıkça ilgili spor dalına yoğunlaşmak ve daha iyi performans göstermek kaçınılmaz bir istektir. Ancak spor aktivitesindeki kullanım artışıyla birlikte birkaç problemle karşılaşmak olası bir sonuçtur. Bu problemler başlıca spor sırasında sakatlanma ve yaralanmalardır. İyi teknikten en küçük sapma bile yaralanmalara neden olabilir veya aksi takdirde sporcu performansını azaltabilmektedir. Yanlış spor yapım veya araçların yanlış kullanımları sonucu vücuttaki verimlilik oranının düşmesi, fazla güç kaybı ve spor sırasında yapılan hataların tespit edilememesi karşılaşılan problemlerdendir.

Çalışma, bisikletçinin kendi yarış süresindeki konumunu optimize etmek için bireysel antropometrik değişkenler (statik yöntem) ve hareket yakalama teknolojisiyle (dinamik yöntem) optimal açı değerlerinin uygunluğunun araştırılmasıdır. Markerlar yerleştirildikten sonra bulunan açıların sabit aralık değerlerine göre uygunluğu tespit edilmiştir ve elde edilen verilerin analizleri kullanılarak profesyonel veya amatör sporcuların performanslarının değerlendirilebilmesi, bisiklet sürücüsünün hangi sürüş tekniğini benimsediğine göre (agresif veya konforlu) sürüş hatalarının tespit edilmesine ve böylece düzeltilebilmesine ve herhangi bir biyomekanik analiz ve spor antrenmanı için alınabilecek önlemlerin tespit edilebilmesine, dijitalleştirilmenin spor üzerindeki etkisinin araştırılması ve spor biyomekaniği çalışmaları için model oluşturmaya olanak sağlamıştır.

Bu araştırmanın mevcut sonuçları bir bisikletçinin performansını artırmada önemli bir rol oynamaktadır, hareketlere teknik rehberlik sağlayarak elde edilen veriler ile spor tıp uygulayıcılarına önemli bilgiler sağlamaktadır. Bisiklet sporcusunun antropometrik değişkenlerine göre düzenlenen bisikletini kullanımıyla kan akışının bozulmadan bisiklet üzerindeki yükü minimuma indirerek el uyuşması, bel ağrısı vb. şikâyetlerin ve bisiklet sakatlıkları riskini önemli ölçüde azaltmaya yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hareket yakalama teknolojisi, biyomekanik modelleme, kinematik analiz, antropometrik ölçüm, eş zamanlı lokalizasyon ve haritalama.

ABSTRACT

Kinematic Analysis and Biomechanical Modeling of Cyclists' Real-Time Motion Capture Data with Anthropometric Measurements

Kübra Elif TOZKOPARAN

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Software Engineering

July 2022, Pages: xiii + 82

Individuals are always tempted to become professionals as the conditions for practicing and dealing with any sport in a country improve. Because as conditions improve, there is an inexorable desire to participate in more sports and perform better. However, the increased use in sports activities may result in a few issues. These are primarily injuries and sports-related injuries. Even the slightest deviation from proper technique can result in injury or reduce athlete performance. Among the issues encountered are a decrease in the body's efficiency rate as a result of incorrect sports practice or vehicle misuse, excessive loss of power, and a failure to detect mistakes made during sports.

The study will look into the suitability of optimal angle values with individual anthropometric variables (static method) and motion capture technology (dynamic method) for optimizing the cyclist's position in his own race time. After the markers were placed, the suitability of the angles found according to the fixed interval values was determined, and using the analysis of the obtained data, the performance of professional or amateur athletes could be evaluated, it was possible to detect and thus correct driving errors depending on which driving technique the cyclist adopts (aggressive or comfortable), and it was possible to perform any biomechanical analysis and analysis. It has enabled the determination of sports training measures, research into the effects of digitalization on sports, and the development of a model for sports biomechanics research.

The current findings of this study are important in improving a cyclist's performance by providing important information to sports medicine practitioners through data obtained by providing technical guidance to movements. The use of the bicycle, which is arranged according to the cyclist's anthropometric variables, reduces the load on the bicycle to a minimum without disturbing the blood flow, preventing hand numbness, low back pain, and so on. It is thought to help reduce the risk of complaints and cycling injuries significantly.

Keywords: Motion capture technology, biomechanical modelling, kinematic analysis, anthropometric measurement, simultaneous localization and mapping.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Kinetik ve kinematik analiz .	1
Şekil 2.1. Çin yapımı ‘Uçan Güvercin’	4
Şekil 2.2. Laufmaschine (Koşu Makinası).	5
Şekil 2.3. Bisikletin evrimsel gelişimi	5
Şekil 2.4. Ordu kullanımındaki bisiklet gösterimi.	6
Şekil 2.5. Bisiklet donanımını oluşturan temel parçaların gösterimi.	7
Şekil 2.6. Bisiklet tipleri	7
Şekil 2.7. Hibrit bisikletler için seçim grafiği.	8
Şekil 2.8. Dağ bisikleti için seçim grafiği.	8
Şekil 2.9. Yol bisikleti için seçim grafiği.	9
Şekil 2.10. Gezi bisikleti için seçim grafiği.	9
Şekil 2.11. Katlanır bisiklet için seçim grafiği.	10
Şekil 2.12. İki üçgenli kadro tasarımı.	11
Şekil 2.13. Üç Tip Bisikletin Geometrisi.	11
Şekil 3.1. Hareket yakalama sistemlerinin donanım ve yazılıma göre sınıflandırılması.	12
Şekil 3.2. Pasif marker takılı hareket yakalama için özel olarak tasarlanmış tam vücut spandeks / likra elbisesi.	17
Şekil 4.1. Pedal çevirme sırasındaki örnek ayak duruşları	22
Şekil 4.2. Pedal çevirme sırasındaki örnek ayak duruşları.	22
Şekil 6.1. Önerilen Sistemin Blok Şeması.	26
Şekil 6.2. Input Buffer – Marker Lokalizasyon Aşaması.	30
Şekil 6.3. Kamera kalibrasyonu – 2D marker ortografik izdüşüm.	32
Şekil 6.4. Conformal Transformation Adımları.	33
Şekil 6.5. Kinematik analiz sistem adımları.	41
Şekil 6.6. Eklem açılarının matematiksel hesaplama yöntemleri.	42
Şekil 6.7. Kadro boyunun gösterimi.	44
Şekil 6.8. Bisikletçinin boyu ve inseam uzunluğu ile bisikletteki durma yüksekliğinin efektif gösterimi.	45
Şekil 6.9. Küçük kadro seçiminde yaşanan bisikletçi pozisyonu.	46
Şekil 6.10. Inseam / bacak iç boyu / iç dikiş uzunluğu gösterimi.	47
Şekil 6.11. Antropometrik ölçüm adımı.	47
Şekil 6.12. Kadro geometrisi ölçüm noktaları.	48

Şekil 6.13.	Optimal açısal değer aralıkları aşaması.	50
Şekil 6.14.	Bike Fit yapılmayan bisikletçi duruşu.	51
Şekil 6.15.	Bike Fit yapılan bisikletçi duruşu.	52
Şekil 6.16.	Şehir ve arazi bisikletleri (kadın – erkek), yol yarış bisikletleri ve çocuk – erişkin çocuk kadro boyutları.	52
Şekil 6.17.	Kask beden ölçüsü ve ayakkabı beden ölçüsü	53
Şekil 6.18.	Bisikletin bisikletçi ile temas noktaları.	53
Şekil 6.19.	Temas noktalarının 3 bike fit aşaması.....	54
Şekil 7.1.	Marker noktaları.	55
Şekil 7.2.	2D Marker Pozisyon Değerleriyle Visual Konumlandırması.	57
Şekil 7.3.	Hareket yakalama teknolojisi 2D marker pozisyon çıktı diyagramı.	57
Şekil 7.4.	Omuz (shoulder) kinematik analiz diyagramı.	64
Şekil 7.5.	Dirsek (elbow) kinematik analiz diyagramı.	64
Şekil 7.6.	Pelvis (hip) kinematik analiz diyagramı.	65
Şekil 7.7.	Diz (knee) kinematik analiz diyagramı.	65
Şekil 7.8.	Ayak bileği (ankle) kinematik analiz diyagramı.	66
Şekil 7.9.	Doğru postür gösterimi.	67
Şekil 7.10.	Yaşanılan problem ve uygulanacak bike fit yöntemi.	68
Şekil 7.11.	Pedal çevrim sırasında hangi kasların hangi noktalarda çalıştığının gösterimi.	69
Şekil 7.12.	Performans ve konfor bisikletinin geometrisi ve sürücü pozisyonlarının gösterimi.	72
Şekil 7.13.	Bisiklet geometrisinde stack ve reach gösterimi.	73
Şekil 7.14.	Gevşek alın borusu açısına sahip bisiklet gösterimi.	74
Şekil 7.15.	Dik alın borusu açısına sahip bisiklet gösterimi.	74

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Bisiklet Kadro Tablosu	10
Tablo 6.1. Çocuk bisikleti için kadro seçim tablosu.	46
Tablo 6.2. Kadro geometrisi ölçüm değerleri	49
Tablo 7.1. Markerların 2D pozisyon dataları.	56
Tablo 7.2. Çoklu Gerçek Zamanlı Pozisyon Veri Tablosu	58
Tablo 7.3. Çoklu Gerçek Zamanlı Pozisyon Veri Tablosu	59
Tablo 7.4. Kinematik analiz çıktı tablosu.	61
Tablo 7.5. Çoklu Kinematik Analiz	63
Tablo 7.6. Optimal açısal aralık ve farklılık çıkarım değer tablosu.	67

ALGORİTMALAR LİSTESİ

Algoritma 6.1 MainWindow.....	27
Algoritma 6.2. StatusText.....	36
Algoritma 6.3. MainWindow_Loaded.....	36
Algoritma 6.4. MainWindow_Closing	36
Algoritma 6.5. Reader_FrameArrived	37
Algoritma 6.6. Sensor_IsAvailableChanged	38
Algoritma 6.7. DrawClippedEdges.....	38
Algoritma 6.8. DrawHand	39
Algoritma 6.9. DrawBone	39
Algoritma 6.10. DrawBody	40
Algoritma 6.11. SetRealTimePosition	42
Algoritma 6.12. GetDotProduct.....	42
Algoritma 6.13. GetPointToVector	43
Algoritma 6.14. GetVectorLength	43
Algoritma 6.15. GetSlope	43
Algoritma 6.16. GetAngle	43
Algoritma 6.17. GetKinematicAnalysis	44

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Θ	: Kinematik analiz segment açısı
F	: Kuvvet ($F = m \times a$)
m	: Kütle ($F = m \times a$)
a	: İvme ($F = m \times a$)

Kısaltmalar

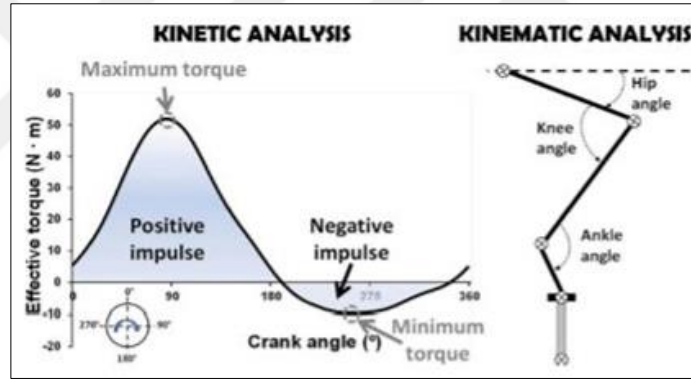
CIGS	: Bakır İndiyum Galyum Diselenit (Cu(InGe)Se_2)
DSSCs	: Boya duyarlı güneş pilleri
BMX	: Bicycle motoCross
MTB	: Mountain bike – dağ bisikleti
2D	: İki boyutlu
3D	: Üç boyutlu
inç	: Inch – uzunluk birimi
mm	: Milimetre – uzunluk birimi
m	: Metre – uzunluk birimi
cm	: Santimetre – uzunluk birimi
dk	: Dakika – zaman birimi
ms	: Milisaniye – zaman birimi
mph	: Milles per hour – mil / saat
kPa	: KiloPascal – basınç birimi
MR	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
MRI	: Manyetik Rezonans Görüntüleme Cihazı
EMG	: Elektromiyografi
OEM	: Original Equipment Manufacturer – Orijinal Ürün Üreticisi
3/6 DoF	: Three/Six degrees of freedom – 3/6 Serbestlik Derecesi
HMD	: Helmet-mounted display – kaska monteli ekran
LED	: Light emitting diode – ışık yayan diyot
IR	: Infrared – kızılötesi
fps	: Frame per second – saniyedeki kare sayısı
ID	: Identifier
hz	: Hertz – frekans birimi
MIT	: Massachusetts institute of technology – massachusetts teknoloji enstitüsü
NASA	: National aeronautics and space administratio - ulusal havacılık ve uzay dairesi
IMU	: Inertial measurement unit - atalet ölçüm birimi
g :	G-force (G kuvveti) – ivme birimi
AC	: Alternating current - alternatif akım
DC	: Direct current - doğru akım
WHO	: World Health Organization = Dünya Sağlık Teşkilatı
ACL	: Anterior cruciate ligament – ön çapraz bağ
ITB	: Iliotibial Band
PRO Seri	: Profesyonel seri
AC Ekleme	: Acromioclavicular Ekleme
COG	: Ağırlık Merkezi

TDC	: Üst Ölü Merkez
BDC	: Alt Ölü Merkez
BUP	: Bisiklet Ulaşım Platformu
HA	: High angle – dik açı
Ers veya in	: Jant ölçüsü
W	: Watt – güç birimi
COP	: Center of pressure – basınç merkezi
rpm	: Revolutions per minute – dakikadaki devir sayısı



1. GİRİŞ

Spor performanslarında hareket yakalama, sporcuların insan hareketlerini gerçek zamanlı olarak izleyerek ve kaydederek fiziksel durumu, sportif performansı, teknik uzmanlığı ve yaralanma mekanizmasını önleme ve rehabilitasyonu analiz etmeyi amaçlamaktadır. Spor biyomekaniği, spor bilimlerinin daha geniş alanındaki temel disiplinlerinden biridir. Yarışmalarda yaralanma riskini azaltmak ve spor performansını artırmak amacıyla spordaki temel hareketlerin detaylı analizini içerir. [1]. Performansın fiziksel yönlerine bakan araştırmacılar, kinetik ve fiziksel performans arasındaki ilişkiyi anlamaya çalışmak için spor biyomekanik analizini kullanır. Biyomekanik analiz, optimum hareket ve yük analizi için modeller oluşturarak performans üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir. Bu, bir beceriyi hareket ettirmenin veya gerçekleştirmenin en güvenli veya en etkili yolunu belirlemek ve farklı bir çevrenin vücudun nasıl hareket ettiği veya tepki verdiği üzerindeki etkisini araştırmak için kullanılmaktadır.



Şekil 1.1. Kinetik ve kinematik analiz [2].

Spor biyomekaniği üzerine yapılan araştırmalar geleneksel olarak kinetik ve kinematik çalışmalara bölünmüştür. Şekil 1.1’ de verildiği üzere kinetik, vücuda etki eden kuvvetler ile bu kuvvetlerin hareketi nasıl etkilediği arasındaki ilişkinin incelenmesidir. Sporcunun performans analizi, uzun bir süre boyunca yapılan antrenmanın bir sonucu olarak sporcuların gelişmelerini, fiziksel kondisyon derecesini veya teknik uzmanlığı değerlendirmeyi amaçlar. Optimum performans ve teknik arayan spor eğitmenleri, özel bir antrenman planı geliştirir ve farklı araçlar aracılığıyla sonuçları izler [3]. Tüm bu sistemler, uygun eklem ve segment kinematiğini hesaplamak için vücut segmentlerinin hareketini izlemeyi amaçlar. Ek bilgiler için ise, daha ileri işlemlerle ya cihazın kendisinden ya da karmaşık kas ve/veya iskelet modelleri aracılığıyla çıkarılabilir. Spor hareketi için insan hareketini analiz etmenin iki ana yöntemi vardır. İlk yöntem video tabanlı yaklaşımda kameralar kullanarak, sporcuları antrenman veya yarışma sırasında

kaydetmek ve onlara dışsal görsel geri bildirim sağlamak için kullanılır [4]. Bu geri bildirim, görev tamamlanır tamamlanmaz veya özel yazılımlar yoluyla ilgi çekici vücut yer işaretlerinin (body landmarks) manuel olarak dijitalleştirilmesinden sonra teslim edilebilir. İkinci yöntem ise, hareket yakalama olarak da bilinen otomatik izleme hareket analiz sistemleri, gecikmeli bir sayısallaştırma süreci olmaksızın insan hareketini gerçek zamanlı olarak izlemeyi ve kaydetmeyi amaçlar [5]. Bu sistemler, kızılötesi ışıkla çalışan çoklu video kameralardan, sahneden derinlik bilgisi almak için ek sensörlere sahip tek kameralı sistemlere kadar çeşitli yakalama teknikleri kullanır [6].

Hareket yakalama, bir canlı hareket olayını kaydetme ve zaman içinde bir dizi önemli noktayı izleyerek ve performansın iki boyutlu (2D) veya üç boyutlu (3D) temsilini elde etmek için birleştirerek bunu matematiksel terimlere yazmak işlemidir. Özetle, canlı performansı dijital performansa dönüşünü mümkün kılan teknolojidir. Zaman içinde optik, optik olmayan ve işaretsiz (markerless) gibi farklı hareket yakalama yaklaşımları geliştirilmiştir. Hareket yakalama, teknik ve yarışma değerlendirmesi gibi çeşitli spor disiplinleri ve etkinliklerinde nicel amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. Ayrıca, biyomekanik bir perspektiften hareket yakalama, araştırmacıların insan hareketini yöneten mekanik hakkında bilgi edinmelerine yardımcı olan birincil veri kaynağıdır.

Çalışma, bisiklet sporcusu vücut segmentlerinin küresel konumunu kaydetme yöntemiyle veri elde etme ve elde edilen verilerin bike fit işleminde kullanımına odaklanmaktadır.  l  m sistemlerinin doğruluğu ve pratik kullanımı hakkında bilgi almak yoğun zaman gerektirmektedir ve farklı konumlar ( rn. iç mekan - dış mekan), hava koşulları ( rn. sıcaklık, nem), ölçüm parazitleri ( rn. gürültü, saçılma, manyetik bozulmalar) ve alanda tıkanıklığa neden olan engeller gibi çeşitli zorluklarla karşılaşılabilmektedir.

Sporcunun kullandığı aksesuarları sporcu performansı için önem arz etmektedir. Bisiklet sporu içinde en önemli aksesuar kullanım yöntemine göre seçim yaptıkları bisikletleridir. Bisiklet, iki teker üzerine çeşitli ekipmanların birleşmesi sonucu oluşan motorsuz bir taşıt olarak açıklanabilir. Kullanıcı, beden gücü yardımıyla bisikleti harekete geçirerek onu ulaşım ihtiyaçları doğrultusunda kullanabilmektedir. Arapça derr ce kelimesinin 19. yüzyılın sonlarında bisiklet anlamında kullanıldığı da belirtilmektedir[8,9].

Hem profesyonel hem de amatör bisikletçilerin ortak isteği artan performans değerleri ve azalan yaralanma riskleridir. Hareket yakalama teknolojisinden elde edilen veriler ile bisikleti kullanım amaçlarına da bakılarak bisikletçiye özgü bir bike fit işleminin yapılması gerekmektedir ve böylece tüm beceri seviyelerindeki bisikletçilerin tekniklerini geliştirmelerine olanak sağlayacaktır.

Hareket yakalama, kullanıcıların bir nesnenin hareket desenlerini kaydetmesine olanak tanımaktadır. Hareket yakalama sürecinin veya tekniğinin kullanılmasının temel nedeni, gerçekçi

sonuçlar elde etmenin kolay olmasıdır. Bir oyun veya filmin yapımcıları, sanatçıların vücudunun ve yüzünün karmaşıık hareketini hareketli bir karaktere iletmek için hareket yakalama teknolojisi kullanmaktadır. Elle dijital animasyon oluşturmak, "anahtar çerçeveleme (keyframing)" veya farklı anahtar ereve pozları arasında karakter hareketini doldurmak olarak bilinir. Bu süreci otomatikleştirmek için animatörler hareket yakalama teknolojisini kullanmaktadır. Hareket yakalama teknolojisi kullanan bazı alanlar şoyledir: Mühendisler, Hukukçular, Eğlence Dünyası, Bilgisayar Oyunları, Televizyon Sinema Filmleri, Sağlık Sektörü, Spor Mühendisliği, Savunma Sanayidir [10,11]. Zaman içinde pasif optik, aktif optik, atalet (inertial), mekanik ve işaretsiz (markerless) gibi farklı hareket yakalama yaklaşımları geliştirilmiştir. En yaygın hareket yakalama sistemlerinden biri, hareket halinde yakalanan sporcunun, kameraların daha sonra veri olarak okuduğu yansıtıcı işaretleyicilerle (markerlar ile) kaplanmış bir hareket yakalama giysisine sahip olduğu pasif optik hareket yakalama sistemidir. Profesyonel bir pasif optik hareket yakalama stüdyosuna erişmek, ortalama bağımsız geliştiricinin karşılayabileceğinden daha fazla maddi g gerektirmektedir ve küçük oyun stüdyoları ve bağımsız geliştiriciler için sorun teşkil etmektedir. Pasif optik sistemin bir başka popüler biçimi de işaretsiz hareket yakalama sistemleridir. Hareket yakalama verilerini yakalamak için piyasada bulunan derinlik sensörlerini kullanır ve hareketi yakalamak için herhangi bir işaretleyiciye ihtiyaç duymaz.

Çalışmada hareket yakalama teknolojisi kullanılarak sporcuların performans ölçümlerinin, verimliliğinin, sürüş hatalarının, sakatlanma veya yaralanmaların önlenmesi için gerçek zamanlı verilerinin toplanma yöntemleri ve elde edilen verilerin sporcunun antropometrik değişkenleri ile optimal aı değerlerinin bulunması ve sonrasında ise belirlenen optimal açısal veriler ile bike fit işleminin gerçekleştirilmesi ve oluşturulan biyomekanik modelin spor biyomekaniğine etkisine odaklanılacaktır.

2. BİSİKLET TEKNOLOJİSİ

Bisikletin ilk ne zaman tasarlandığı ya da ne zaman üretildiği ya da kim tarafından üretildiği konusunda tarihçilerin kesin olarak fikir birliğine vardıkları bilgiler bulunmamaktadır. Şekil 2.1’ de verildiği üzere bisiklet hakkındaki bilgilere bakıldığında bisikletin tek bir kişi tarafından icat edilmediği aksine bir temel üzerine çeşitli kişiler tarafından ekleme ya da çıkarmalar yapılması sonucunda günümüze kadar ulaştığı görülmektedir.

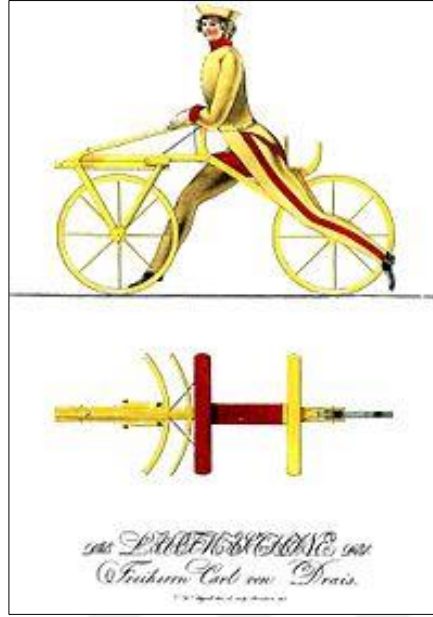


Şekil 2.1. Çin yapımı ‘Uçan Güvercin’ [8].

Tezin ikinci bölümünde bisikletin tarihi ve evrimi, bisiklet türleri, bisiklet donanımları, bisiklet aksesuarları, bisiklet model seçimi ve kadro geometrisi hakkında bilgilere alt başlıklarda yer verilmiştir.

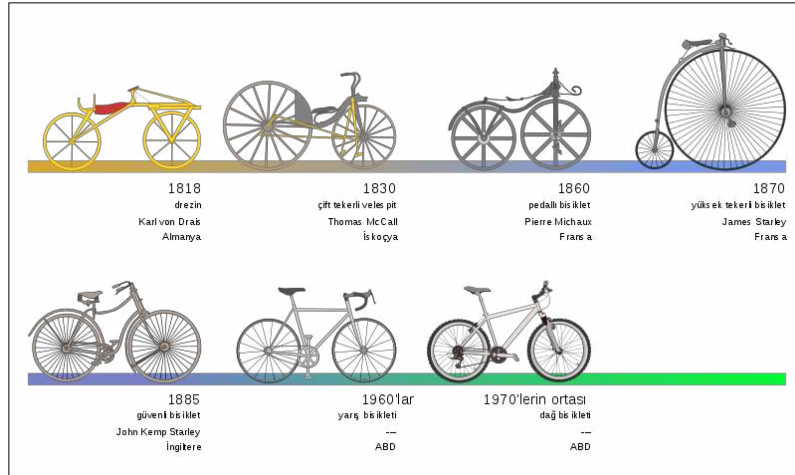
2.1. Bisiklet Tarihçesi ve Evrimi

İlk üretilen bisiklet, tahtadan sabit bir gidona sahip olduğu ve pedallara sahip olmadığından dolayı koşu makinesi olarak adlandırılmıştır ve şekil 2.2’ de verilmiştir. Kullanıcının kolları denge tahtası tarafından desteklenmekte ve pedallar yerine yerden destek alınarak hareket sağlanmaktaydı. Zamanla bu isim yerine daha popüler olan “draisienne ve velosipede” şeklinde değişime uğramıştır [12].



Şekil 2.2. Laufmaschine (Koşu Makinası) [8].

İlk geniş çaplı seri bisiklet üretimi yılda 140 bisiklet ile “Michaux Company” tarafından yapılmıştır. Bu dönemlerde ilgi gören bisikletler zamanın devletleri tarafından da dikkate değer bulunmuş ve savunma sanayi aracı olarak kullanılmıştır. Şekil 2.3’ de bisikletim evrimi gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Bisikletin evrimsel gelişimi [8].

Bisikletin en aktif kullanıldığı dönem 2. Dünya Savaşı’nda Şekil 2.4’ de gösterileceği üzere ordu süratinin artırılması için kullanılmıştır [13].



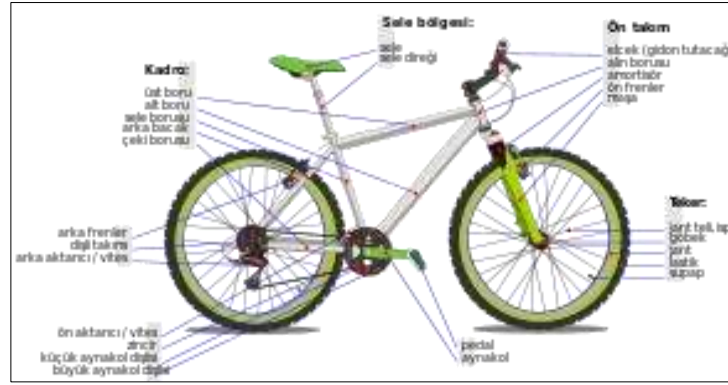
Şekil 2.4. Ordu kullanımındaki bisiklet gösterimi [8].

2.2. Bisiklet Türleri

Tekerlek çapları ve kullanım amaçlarına göre bisiklet türleri 2 başlık altında sınıflandırılabilir. Tekerlek çaplarına göre incelendiğinde günümüzde 28, 26 ve 20 inç tekerlek çapları kullanılmaktadır. Yol bisikletleri için 27 inç, dağ bisikletleri için 29 inç kullanımları da mevcuttur. Bisikletler kullanım amaçlarına göre; yol bisikletleri, dağ bisikletleri, tur bisikletleri, şehir bisikletleri, BMX bisikletler, tandem bisikletleri, yatay bisikletler ve iş bisikleti olarak kategorize edilebilir.

2.3. Bisiklet Donanımı

Bisikletin birçok donanımın birleşimi sonucu meydana gelmektedir. Bisikletin temel parçaları kadro, maşa, gidon ve sele, fren, tekerlek ve vites donanımdır [14]. Şekil 2.5’ de temel parçalara ait isimlendirme ve açıklamalar bulunmaktadır.



Şekil 2.5. Bisiklet donanımını oluşturan temel parçaların gösterimi [14].

2.4. Bisiklet Aksesuarları

Bisiklet temel bileşenlerine ek olarak güvenlik, performans, kullanım kolaylığı sağlayan bazı bisiklet parçaları başlık/kask, ışık ve refleksler, yüksek flama, çamurluklar, açılabilir ayak, kilit/kilitli zincir, sepet/çanta, kargo sandığı, ayna, zil, korna ve kamera örnek verilebilir [15].

2.5. Bisiklet Model Seçimi

Bisiklet alınmadan önce nerede kullanılacağına, nasıl kullanılacağına ve bisikletten beklentinin ne olduğuna karar vermek bisikletçilerin yaşadığı örneğin bisiklet bana göre ağır - hafif veya büyük - küçük veya yavaş gibi yaşanacak pişmanlıklardan büyük ölçüde uzak tutacaktır [16]. Şekil 2.6' da üç bisiklet tiplerinden yol bisikleti, dağ bisikleti ve şehir bisikleti örneği verilmiştir.



Şekil 2.6. Bisiklet tipleri [16].

Bisiklet tiplerine bakıldığında şehir bisikletleri (City Bike), dağ bisikletleri (MTB – Mountain Bike), yol bisikletleri (Road Bike), hibrit bisikletler, katlanır bisikletler (Folding Bike) ve elektrikli bisikletler (Pedelec) gibi çeşitleri mevcuttur.

BUP tarafından hazırlanmış ve bisiklet sporcuları ve amatör sporcular için örnekte teşkil edecek bisiklet kategorileri ile ilgili info-grafikleri tezin ilerleyen bölümlerinde verilmiştir. Hazırlanan info – grafiklerde bisikletlerin temel özellikleri, kullanım alanları ve ortalama fiyat bilgileri yer almaktadır [17,18]. Şekil 2.7’ de hibrit bisiklet seçim grafiği verilmiştir. Şekil 2.8’ de dağ bisikleti seçim grafiği verilmiştir. Şekil 2.9’ da yol bisikleti seçim grafiği verilmiştir. Şekil 2.10’ da gezi bisikleti seçim grafiği verilmiştir. Şekil 2.11’ de katlanır bisiklet seçim grafiği verilmiştir.



Şekil 2.7. Hibrit bisikletler için seçim grafiği [17].



Şekil 2.8. Dağ bisikleti için seçim grafiği [17].



Şekil 2.9. Yol bisikleti için seçim grafiği [17].



Şekil 2.10. Gezi bisikleti için seçim grafiği [17].

BİSİKLET SEÇİMİ | Yaşınız ya da bisiklet tecrübeniz ne olursa olsun, mutlaka sizin için de bir bisiklet var.
Herkes Göre Bir Bisiklet Var! **Yola koyulun ve bisiklet sürmeye başlayın!**

ŞEHİRLİ | Katabalık bir şehirde yaşıyorsanız, her zaman toplu taşıma kullanmaya ihtiyaç duyuyorsunuz ve paylaşacak fazla yerin yok.

KATLANIR BİSİKLET
Katta ve evde veya iş yerinde rahata istediğin yere koy, büyük şehirlerde her yere gitmek için en iyi tercih.

FIYAT:
\$150 - \$600

ZeMIN
Kaplama

Öne Çıkan Özellikler:

- Küçük Tekerlekler: Bisikleti muhafaza etmeyi kolaylaştırır, fakat hız limitini sınırlar.
- Hafiflik: Trene veya merdivenlerle 5. kata taşıyabilirsiniz.
- Ayarlanabilir Gidon: Boyun uzun da olsa kısa da olsa, istediğin pozisyonda sürebilirsin.
- Sınırlı Vites: Şehirli bisikletler için genellikle sorun değildir. Yeni modellerin bazıları daha çok vitesli olabiliyor.

Handikap: En hızlı veya en havalı sürüş olmasa da daha kullanışlı ve kolay taşıyıp saklanmasını bulmak zordur.

HİBRİT BİSİKLET
Katabalık şehirde yaşıyorsanız, her zaman toplu taşıma kullanmaya ihtiyaç duyuyorsunuz.

DAĞ BİSİKLETİ
Yol ve dağ bisikleti arasında, arazi bisikleti olarak da bilinir.

HOL BİSİKLETİ
Katabalık şehirde yaşıyorsanız, her zaman toplu taşıma kullanmaya ihtiyaç duyuyorsunuz.

GEZİ BİSİKLETİ
Katabalık şehirde yaşıyorsanız, her zaman toplu taşıma kullanmaya ihtiyaç duyuyorsunuz.

KATLANIR BİSİKLET
Katabalık şehirde yaşıyorsanız, her zaman toplu taşıma kullanmaya ihtiyaç duyuyorsunuz.

BİSİKLETLİ ULAŞIM PLATFORMU

Şekil 2.11. Katlanır bisiklet için seçim grafiği [17].

Dağ bisikleti, yol bisikleti veya treking gibi stiller söz konusu olduğunda, tablo 2.1' de genel ölçüler verilmektedir.

Tablo 2.1. Bisiklet Kadro Tablosu [19].

BOY	BACAK İÇ BOYU	KADRO BOYU	ÖLÇÜ	FRAME SIZE
		MTB / CROSS		YOL / ŞEHİR / TREKKİNG
152	71 cm	14" (36 cm)	XS	41 – 43 cm (16" - 17")
157	72 cm	15" (38 cm)	S	43 cm (17")
162	74 cm	16" (41 cm)		46 cm (18")
167	75 cm	16" (41 cm)		48 cm (19")
172	76 cm	17" (43 cm)	M	51 cm (20")
175	77 cm	17" (43 cm)		53 cm (21")
177	79 cm	18" (46 cm)		53 cm (21")
182	82 cm	18" (46 cm)	L	56 cm (22")
187	86 cm	19" (48 cm)		56 cm (22")
192	89 cm	20" (51 cm)		57 cm (22")
197	92 cm	21" (53 cm)		58 cm (23")

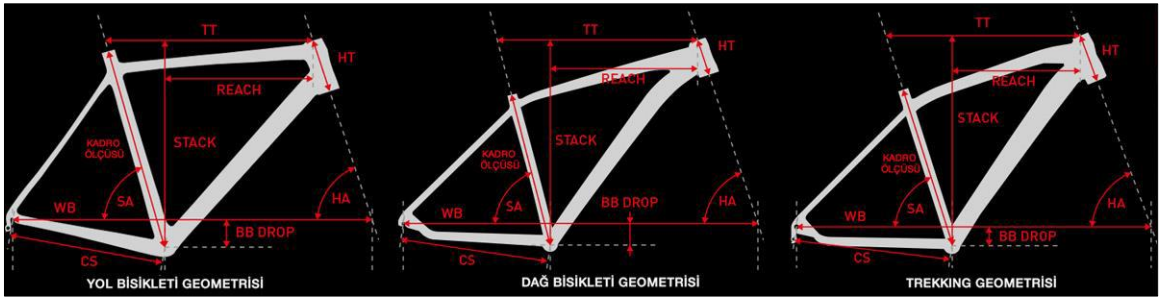
2.6. Kadro Geometrisi

Tezin bu bölümünde kadro geometrisini, “diamond-frame” (elmas kadro) tasarımı, nelerden oluştuğunu, etkilerini, özelliklerinden bahsedilecektir. Bisikletçinin bisiklet üzerindeyken kadroya yüklediği güçlere karşı en dayanıklı tasarımıdır ve şekil 2.12’ de verilmiştir.



Şekil 2.12. İki üçgenli kadro tasarımı [19].

Bisikletin geometrisi bisikletin kadosunu oluşturan parçaların uzunlukları ve bu parçaların birbirleriyle olan açılarıdır. Kadro geometrisi, bisikletin üzerindeki sporcu pozisyonunu ve bisiklet üzerindeyken verdiği tepkileri belirlemektedir. Değişik bisiklet türleri farklı kadro geometrilere sahip olmaktadır. Şekil 2.13’ de alınan ölçüm noktaları verilmiştir.

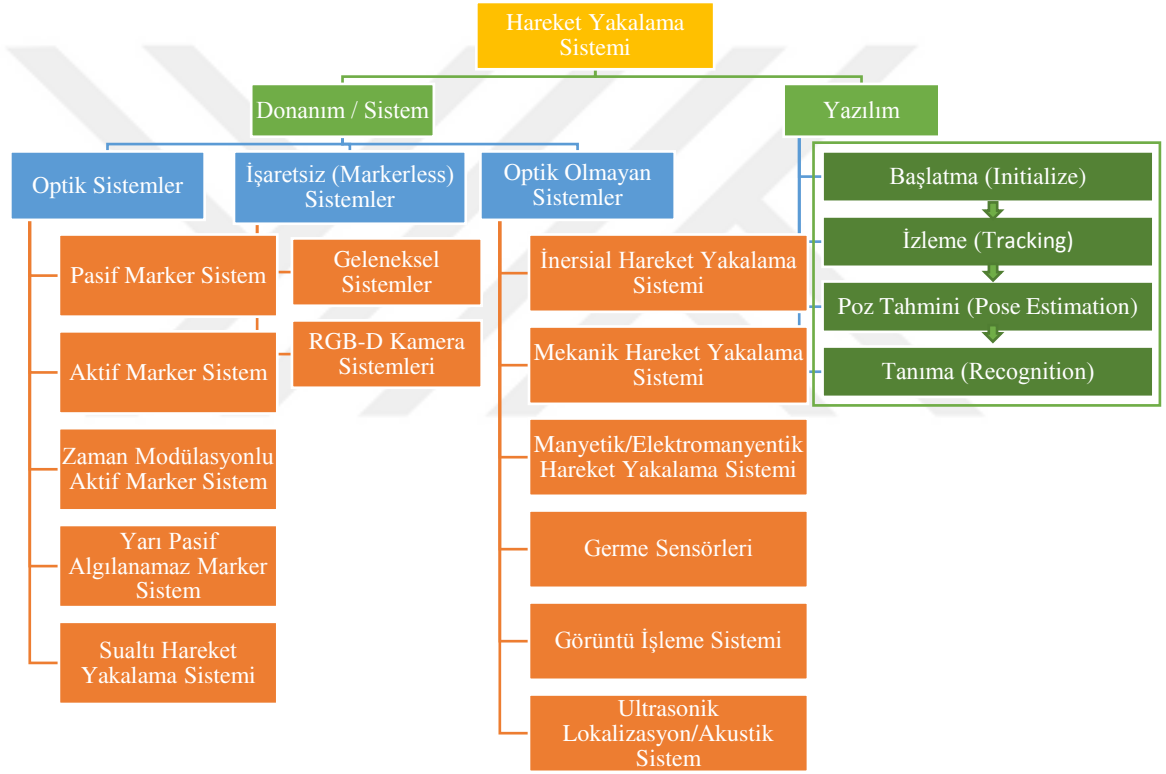


Şekil 2.13. Üç Tip Bisikletin Geometrisi [19].

Bisiklet geometrisi bir bilimdir. Her bisiklet kullanım özelliklerine göre farklı türlerde üretilmiştir. Mountain (dağ), road (yol), leisure bisiklet çeşitleri gibi geniş grupları farklı nişlere ayrılmaktadır.

3. HAREKET YAKALAMA TEKNOLOJİSİ

Hareket Yakalama, analizi yapılacak canlının vücut segmentlerine yerleştirilen işaretleyiciler ile kayıt altına alınan hareketlerinin X, Y, Z koordinatları olarak sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarımına hareket yakalama (motion capture) denilmektedir. İlgili koordinat bilgileri yine bilgisayarda oluşturulmuş 2D/3D bir modelin hareketlerini bire bir taklit etmesi için kullanılır. Birçok alanda, hareket yakalamaya bazen hareket izleme denir ancak film yapımında ve oyunlarda, hareket izleme genellikle hareketle eşleşmeyi (match moving) ifade eder. Hareket yakalama çalışmalarında, canlının/canlıların hareketi saniyede birçok kez örneklenmektedir.



Şekil 3.1. Hareket yakalama sistemlerinin donanım ve yazılıma göre sınıflandırılması.

Şekil 3.1’ de görüldüğü üzere hareket yakalama sistemi hem donanım hem yazılım bölümünden oluşmaktadır. Donanım kısmı, algılama işlemlerinin yapıldığı bölümdür. Donanım elemanları elektromekanik, optik fiberler, LED’ler, akustik, geri yansıtıcı markerlar, sensörler ve kameralardan oluşmaktadır. Algılama ortamından alınan veriler yazılım modülü ile verileri işleyecek konuma gelmeden önce başlatılması (initialize edilmesi) gerekir ardından sporcu monitöre edilir ve izleme (tracking) kare kare yapılır. Bu, sporcunun arka plandaki segmentasyonudur. Elde edilen verilerden bilgi edinmek amaçlı gerçek zamanlı poz tanıma

yapılabileceği için sporcunun duruşunun tahmin edilmesi yapılır. Spor performans analizi, basit ve yaygın olarak kullanılan bir insan bilgisayar arayüzü gibi aktif görüşe dayalı hareket yakalama teknolojileri sahada kullanılmaktadır, ancak yeterli çevresel kontrol gerektirmektedir. Kablo veya tel gerektirmeyen elektromanyetik dalgalar gibi doğal sinyallerin kökenlerine dayanan pasif yorumlama akıllı izleme ve Human Computer Interface (HCI) regülasyonu alanlarında uygulanır [15]. Hareket yakalama, bir 2D veya 3D modellerin geleneksel bilgisayar animasyonuna göre çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bunlar düşük gecikme ve gerçek zamana yakın sonuçların elde edilmesidir. Ayrıca çalışma miktarı, performansın karmaşıklığına veya uzunluğuna göre geleneksel teknikleri kullanmakla aynı derecede değişmemektedir. Bu, farklı tarzlar veya sunumlarla birçok testin yapılmasına olanak tanıyarak yalnızca oyuncunun yeteneğiyle sınırlı farklı bir kişilik kazandırmaktadır[21,22,23,24].

3.1. Uygulama Alanları

Hareket yakalama teknolojisinin başlıca kullanım alanları; Sanal Gerçeklik; etkileşimli sanal ortamlar, oyunlar, sanal stüdyolar, karakter animasyonu, film, reklam. Akıllı gözetleme sistemleri; erişim kontrolü, otoparklar, süpermarketler, otomatlar, trafik. Savunma sanayi; askeri uygulamalar, gelişmiş kullanıcı arayüzleri, personel biyomekanik incelemesi. Spor; sporcu biyomekaniği, akademik araştırmalar, kişiselleştirilmiş eğitim, klinik tıp çalışmaları, spor faaliyetlerinin analizinde kullanılmaktadır [25]. Çalışmanın uygulama alanı biyomekanik bisiklet sporcusu analizidir.

İnsan biyomekaniği araştırmaları klinik yürüyüş analizlerinde, yürüyüş araştırmalarında, işaretli ve işaret tabanlı hareket yakalama teknolojilerinde, ses ve hareket yakalama araştırmalarında, psikolojik hareket analizlerinde, sualtı insan hareketi araştırmalarında ve MR görüntüleme araştırmalarında kullanılabilir.

Spor biyomekaniği analizleri koşu, beyzbol, bisiklet, golf ve yüzme araştırmalarında kullanılmaktadır. Araştırmalar göstermektedir ki yaralanmaları önlemeye çalışmaları yaralanmaları % 25 oranında kesilebilmektedir. Beyzbol için ise pitching, çeşitli düzlemlerde dönüşler içeren karmaşık bir harekettir ve video kameralar gibi 2D sistemlerle bir atıcının hareketini doğru bir şekilde değerlendirmek imkansız hale gelir. Hareketin karmaşıklığına ek olarak, profesyonel atıcılar el ve top hızlarına 80 mph'nin ve omuz iç dönüş hızlarına 5000 derece/saniye'ye ulaşabilir ve yüksek yakalama hızları ve kısa pozlama süreleri talep edebilir [25]. Hareket yakalama, birden fazla kameranın görüntülerini birleştirerek sporcunun vücuduna veya ekipmanına yerleştirilen işaretleyiciler ile üç boyutlu hareketini izlemek için kullanılmaktadır.

Hem profesyonel hem de amatör bisikletçilerin ortak isteği artan performans değerleri ve azalan yaralanma riskleridir. Hareket yakalama teknolojisinden elde edilen veriler ile bisikleti

kullanım amaçlarına da bakılarak bisikletçiye özgü bir bisiklet montajı işleminin yapılmasıdır ve böylece tüm beceri seviyelerindeki bisikletçilerin tekniklerini geliştirmelerine olanak sağlayacaktır. Hareket yakalama teknolojisi, yüzme ve spor performansı, rehabilitasyon ve yürüme analizi ve su altı animasyonu gibi çeşitli kullanımlar için su üstünde, su altında veya her ikisinin bir kombinasyonu halinde biyomekanik hareketlerin yakalanmasına olanak tanımaktadır.

Mühendislik analizleri otomatik, OEM, sibernetik robotik ve deniz su altı araştırmalarında kullanılmaktadır. Otomatik için kesin referans verilerinin çıkarılması, aracın konumsal hareketini ve dinamik yön seçme işlemlerinde kullanılabilir. Hareket yakalama sistemleri lidar, radar ve diğer sensörlerin doğruluğunu onaylayan hassas veriler sağlar ve yollardan iç ortama geçiş gibi karmaşık senaryolarda performansın iyileştirilmesine yardımcı olur. Hareket yakalama sistemleri tarafından 3 boyutlu ve gerçek zamanlı olarak üretilen “gerçek” görselleştirmeler, otonom araçlara güç sağlamak için gereken çeşitli teknolojilerin ayrı ayrı ve uyum içinde çalıştığını doğrulamak için önemlidir. Hareket yakalama teknoloji sistemi ile diğer harici zaman tabanlı sistemlerle senkronize edilebilen, doğru veriler elde edilebilmektedir. Sistem, otonom araçlarda hareket performansını ölçmek için hem iç hem de dış mekân testleri için kullanılabilir.

Hareket yakalama teknolojisiyle eğlence alanında sanal gerçeklik (VR) ve animasyon ve film gerçekleştirmeleri yapılmaktadır. Örneğin sanal gerçeklik (VR) uygulamaları HMD’ler, silahlar, kontrolörler veya sahne unsurları gibi nesnelerin pasif ve aktif işaretçilerle izlenmesi işlemidir. Dolum, The Mummy, King Kong, Tron: Legacy ve Hobbit: Beklenmedik Yolculuk hareket yakalama teknolojisinin kullanıldığı filmlere örnek verilebilmektedir. Film yapımında ve oyun geliştirmede, animasyonlar veya görsel efektler için oyuncuların eylemlerini kaydetmeyi ifade eder. Çok sayıda hareket yakalama teknolojisine sahip bir filmin ünlü bir örneği Avatar’dır [20]. Hayvan biyomekaniği araştırmaları at topallığı yürüyüş analizi ve hayvan hareketi araştırmalarında kullanılabilmektedir. At topallığı yürüyüş analizi, binicilik alanında yirmi kamera tarafından tespit edilen baş, omuz ve pelviste işaretleyicilerle donatılmıştır. Düz çizgi üzerinde olduğu kadar çember üzerinde de at değerlendirilebilir [25]. Sonuçlar doğrudan analiz edilmektedir. Bir atın veteriner muayenesi için kliniğe sunulmasının birçok farklı nedeni vardır. At sahibi, ister bacak isterse üst düzey bir sorun olsun, atın total olduğunu veya en iyi performansını göstermediğini deneyimlemiş olabilir. Veya at satılmak üzeredir ve alıcı atın sağlam ve fiziksel olarak olması gerektiği gibi performansına dair bir kayıt istemektedir. Hayvan hareketi araştırmalarında optik hareket yakalama, farklı uzuvların ve vücut parçalarının doğru 3 boyutlu konumlarını sağlar ve böylece hayvanların hareket aparatlarını tanımlayan biyomekanik modellerin oluşturulmasına olanak tanır. Örneğin saldırıya uğrayan (test sırasında korunan) kolluk kuvvetlerinin ve askeri köpeklerin boynundaki yükü ve stresi ölçmektedir.

3.2. Yöntemler ve Sistemler

Hareket analizi, insan hareketlerinin gözlemlenmesi ve tanımlanmasıdır. Analiz için gerekli kinematiği üretmek amaçlı yüksek hız veya optik/optoelektronik kameralar kullanılmaktadır[27]. Birçok farklı disiplin, insan vücudunun hareketini ve duruşunu yakalamak için hareket analiz sistemleri kullanır. Temel bilim adamları, eklemlerin hareketleriyle ilgili kas kasılmalarını işlevsel başarıya dönüştürmek için kullanılan mekanizmaları örneğin spor antrenmanı sırasındaki eklem hareketlerini daha iyi anlamaya çalışmaktadır. Araştırmacılar, insan motor kontrol sistemi ile hareket dinamikleri arasındaki ilişkiyi giderek daha iyi anlamaya çalışıyor. Klinik yürüyüş analizi alanında, tıp uzmanları, tedavi protokollerinin planlanması için, örneğin ortotik reçete ve cerrahi müdahale için, bozulmuş ambulatorlerin yürüme paternlerinin yorumlanmasında gelişen bir bilgi tabanı uygulayıcılar ve klinisyenin bir bireyin ne ölçüde olduğunu belirlemesine izin vermektedir. Sporla ilgili olarak, sporcular ve koçları, yaralanmadan kaçınırken performansta iyileştirme için durmaksızın hareket analizi tekniklerini kullanırlar. Bilgisayar karakter animasyonu veya sanal gerçeklik (VR) uygulamaları için hareket yakalama kullanımı nispeten yenidir. Yakalanan bilgiler, vücudun uzaydaki konumu kadar genel veya yüz ve kas kütlelerinin deformasyonları kadar karmaşık olabilir. Bir karakterin kol hareketini kontrol eden insan kolu hareketi gibi haritalama doğrudan olabilir veya bir karakterin ten rengini veya duygusal durumunu kontrol eden insan eli ve parmak kalıpları gibi haritalama dolaylı olabilmektedir.

Genel olarak, hareket analizi veri toplama protokolleri, ölçüm hassasiyeti ve veri azaltma modelleri, özel ayarlarının gereksinimlerini karşılamak için geliştirilmiştir. Örneğin, spor değerlendirmeleri, normal yürüyüşe kıyasla hızların artması nedeniyle genellikle daha yüksek veri toplama oranları gerektirir. VR uygulamalarında, kullanıcının gerçekçi bir deneyimi için gerçek zamanlı izleme şarttır, bu nedenle gecikme süresi minimumda tutulmalıdır. İnsan vücudu genellikle eklemlerle birbirine bağlanan sert bağlantılardan oluşan bir sistem olarak kabul edilir. İnsan vücudu parçaları aslında katı yapılar değildir, ancak insan hareketi çalışmaları sırasında geleneksel olarak bu şekilde muamele görmektedirler. Yıllar süren teknolojik gelişme birçok sistemle sonuçlandı ve optik ve optik olmayan sistemler (mekanik, manyetik ve atalet izleyiciler) olarak kategorize edilebilmektedir.

3.3. Optik Sistemler

Optik algılama, geniş ve değişken bir teknoloji koleksiyonunu kapsar. Görüntü tabanlı sistemler, belirli kemik işaretleriyle hizalanmış, öznenin vücut bölümleri üzerinde önceden belirlenmiş noktaları (işaretçiler) izlemek için birden fazla kamera kullanarak konumu belirler. Pozisyon, çalışma hacminin birden fazla 2D görüntüsü kullanılarak tahmin edilir. Stereometrik

teknikler, her bir görüntüdeki izlenen nesneler üzerindeki ortak izleme noktalarını ilişkilendirir ve bu bilgiyi, her bir görüntü ve kamera parametreleri arasındaki ilişki ile ilgili bilgilerle birlikte konumu hesaplamak için kullanır. Optik sistemler; pasif marker sistem, aktif marker sistem, zaman modülasyonlu aktif marker sistem, yarı pasif algılanamaz marker sistem ve sualtı hareket yakalama sistemlerinden oluşmaktadır. Markerlar pasif (yansıtıcı) veya aktif (ışık yayan) olmaktadır [20,21,22].

Yansıtıcı sistemler, kamera merceğinin etrafına monte edilmiş kızılötesi (IR) LED'leri, kamera merceğinin üzerine yerleştirilen IR geçiş filtreleri ile birlikte kullanır ve markerlardan yansıyan ışığı ölçer [23,24]. Darbeli LED'lere dayalı optik sistemler, gövde bölümlerine yerleştirilen LED'lerin yaydığı kızılötesi ışığı ölçer. Ayrıca, doğal nesnelerin markerların yardımı olmadan kamerayla izlenmesi mümkündür, ancak genel olarak daha az doğrudur. Büyük ölçüde örüntü tanıma için computer vision tekniklerine dayanır ve genellikle yüksek hesaplama kaynakları gerektirir. Optik sistemler, gerekli bir ışık yolu engellendiğinde tıkanma (görüş hattı) sorunlarından muzdariptir. Diğer ışık kaynaklarından veya yansımalarından kaynaklanan parazit de sözde hayalet markerlarla sonuçlanabilecek bir sorun olabilir [26,28].

Gerçek zamanlı uygulamalarda hareket yakalama sistemlerinden optik sistemler, diğer kullanılan sistemlere göre daha etkindir. Optik sistemlerden elde edilen veriler tam konum doğruluğu sağlamaktadır [29,30]. Optik sistemlerin türlerine bakıldığında; pasif marker sistemleri, aktif marker sistemleri, zaman modülasyonlu aktif marker sistemleri, yarı pasif algılanamaz marker sistemleri ve sualtı hareket yakalama sistemi örnek gösterilebilir [31,32,33]. Çalışmada optik sistemlerden pasif marker sistemi kullanılmıştır.

Optik sistemler olarak geçen pasif/aktif sistemler, kamera merceğinin algıladığı ortama göre üretilen ışığı yansıtmak için retroreflektif bir malzeme ile kaplı marker'lar kullanmaktadır. Sistemde kullanılacak kamera eşikleri, cilt ve kumaş göz ardı edilerek yalnızca pasif/aktif marker örneklenerek şekilde ayarlanmaktadır. Marker türleri olarak tek fark aktif markerlar kendiliğinden ışık yayarlar fakat pasif markerlar ise IR Illuminator kullanımını zorunlu kılarak IR'dan yansıyan ışığı kamera açısına yansıtmaktadırlar. Tespit edilen marker'ın ağırlık merkezi, hareket yakalama sistemi içerisinde bir konum olarak tespit edilir. Her pikselin gri tonlama değeri, Gauss'un merkezini bulmak için alt piksel doğruluğu sağlamak için kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan kamera sayıları 2 ila 48 olabilmektedir. Sistemde kullanılacak her kamranın kalibre edilmesi gerekmektedir bu işlem için de öncelikli olarak kullanılacak kameraların mercek distorsiyonu ölçümünün yapılması gerekmektedir. Kalibre edilen 2 kamera bir marker yakalarsa, 3D bir sabitleme elde edilmiş olmaktadır [30,31,35]. Markerlar genellikle doğrudan cilde (biyomekanik gibi) bağlanır veya hareket yakalama için özel olarak tasarlanmış tam vücut spandeks / likra elbisesi ile bir performans gösterenine göre eğilir. Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Pasif marker takılı hareket yakalama için özel olarak tasarlanmış tam vücut spandeks / likra elbisesi [20].

3.4. Marker Kullanılmayan (İşaretsiz) Sistemler

Nesnelerin izlenmesi için özel ekipman giymesi gerekmeden video ve diğer sensörlerden 3D hareketi yeniden oluşturmak için gelişmiş bilgisayarlı görüntü işlemedir. Genel olarak, kızılötesi ve ultrasonik sensörlerle birlikte bir veya iki normal video kameradan oluşan vücut bölümlerinin ve eklemlerinin çıkarılacağı insan formlarını tanımlamak için kullanılır. İşaretsiz sistemlerde kullanılan derinlik kamerasının dezavantajı, mekânsal ve zamansal doğruluk düzeyidir. Bu tür sistemlerdeki video kameralar genellikle 640x480 piksel çözünürlükte çalışır ve bu da oyunlarda vücut tanıma için yeterlidir ancak amaç bir vücut segmentinin hareketini izlemek olan uygulamalarda bazı sorunlar ortaya çıkabilir. RGB-D kameralar hem renkli hem de derinlik görüntülerini yakalar. İki görüntüyü birleştirerek, 3D renkli voksel yakalanabilir, bu da 3D insan hareketinin ve insan yüzeyinin gerçek zamanlı olarak hareket yakalanmasına olanak tanır. Tek bir görüş kamerasının kullanılması nedeniyle, yakalanan hareketler genellikle gürültülüdür. Lazy learning ve Gauss modelleri gibi yöntemler kullanılarak, bu tür gürültülü hareketleri daha yüksek kaliteli hareketlere otomatik olarak yeniden yapılandırmak için makine öğrenimi teknikleri önerilmektedir. Bu yöntem, ergonomik değerlendirme gibi ciddi uygulamalar için yeterince doğru hareket üretmektedir [20].

3.5. Optik Olmayan Sistemler

Optik olmayan sistemler, uzaydaki konumları hakkında veri göndermek için vücut parçalarına bağlı sensörler kullanır. Optik olmayan sistemler inersiyal (atalet) sistemleri, mekanik

sistem, manyetik/elektromanyetik sistem, germe sensörleri, görüntü işleme, ultrasonik lokalizasyon sistemi, füzyon sistemi ve akustik sistem olarak içeriklendirilmektedir. İnarsiyal (atalet) sistemi teknolojisi, ivmeölçerler içeren küçük mikromekanik sensörler olan, genellikle üç koordinatı ölçmek için üç eksenli ve genellikle jiroskoplar ve manyetometrelerle birleştirilen atalet ölçüm birimlerine (IMU) dayanan başka bir optik olmayan sistem türüdür. Statik nesneler için, ivmeölçerler açısal dönüşleri ölçebilir, ancak dinamik hareketler için jiroskoplar ve manyetometreler, sensör füzyon algoritmaları aracılığıyla ivmeölçer ile birleştirilir. Atalet sistemi verileri, sensör başına 6-DoF serbestlik derecesi ile gerçek zamanlı olarak genellikle kablosuz olarak bir bilgisayara iletilir. Literatürde genellikle hız entegre jiroskopları ve ivmeölçerler olarak anılırlar [34]. Sistemin kalitesi sadece içerdiği algılama unsurları tarafından değil, aynı zamanda sinyal işleme hattının kalitesi ile de belirlenir. Atalet sensörleri sırasıyla kuvvetler veya torklardan etkilenmedikçe, sabit öteleme ve dönme hızını korumak için cisimlerin özelliğini kullanmaktadır. İç kulakta bulunan vestibüler sistem biyolojik bir 3D atalet sensörüdür. Başın doğrusal ivmesinin yanı sıra açısal hareketi de algılayabilir. Vestibüler sistem, gözlerin çevreye göre dengesini ve stabilizasyonunu sağlamak için önemlidir. Pratik atalet takibi, özellikle silikon ivmeölçerler ve hız sensörlerinde minyatürleştirilmiş ve mikro işlenmiş sensör teknolojilerindeki gelişmelerle mümkün kılınmıştır. Bir hız jiroskopu açısal hızı ölçer ve eğer zaman içinde entegre edilirse, başlangıçta bilinen bir açıya göre açıda değişikliği sağlar. Bir ivmeölçer, yerçekimi ivmesi g dahil olmak üzere ivmeleri ölçer. Küçük ve ucuz sensörlerle ilişkili gürültü ve önyargı hataları, herhangi bir telafi uygulanmadığında uzun süre yön ve konumun izlenmesinde pratik değildir. Atalet sensörlerinden gelen sinyalleri yardımcı/tamamlayıcı sensörlerle birleştirerek ve sinyal karakteristikleri hakkındaki bilgileri kullanarak sapma ve diğer hatalar en aza indirilebilir. Atalet sistemlerini kullanılması hızlı, kolay kurulum nedeniyle ve dar alanlarda avantajlıdır fakat düşük konumsal doğruluğu ve zamanla birleşebilen konumsal kayma nedeniyle dezavantajlı bir sistemdir. Sistemin taban fiyatları 1.000\$ - 80.000\$ arasında değişmektedir.

Mekanik hareket yakalama sistemine bakıldığında aktörün dış iskelete benzeyen mekanik yapıyı vücuduna yerleştirerek oluşmuş bir sistemdir. Kıyafeti giyen kişi hareket ettikçe dış iskelet de uygulanan kuvvet ile hareket etmektedir. Işıktan ya da manyetik alandan etkilenmemektedir. Mekanik hareket yakalama sistemi zemini algılayamadığından zıplama gibi hareketler yakalanamamaktadır.

Manyetik/Elektromanyetik hareket yakalama sistemine odaklanıldığında EMS'ler, transponderden baz istasyonlarına giden elektromanyetik dalgaların – radyo dalgalarının – uçuş süresi vasıtasıyla ölçüm transponderlerinin bilinmeyen konumlarını bulur [36]. Bir OMS'den farklı olarak, transponderlerin konumlarını bulmak için görüş hattı gerekli değildir; ayrıca insan vücudu uygulanan alan için şeffaftır [37]. Deneysel kurulumla ilgili olarak sistemin sınırlamaları, ortamdaki ferromanyetik malzeme için verilerin doğruluğunu azaltan hassasiyetidir [38] üstelik

baz istasyonu ile transponder arasındaki mesafe arttıkça gürültü artmakta ve sinyal kalitesi düşmektedir [38, 39]. EMS genellikle spor analizi için bir dezavantaj olan düşük örnek frekanslarına sahiptir. Birden fazla işaretleyici kullanıldığında frekanslar düşer.

IMS genellikle EMS ile karşılaştırıldığında daha iyi doğruluğa ve OMS ile karşılaştırıldığında daha iyi bir aralığa-menzile sahiptir. Görüntü işlemede çekilen filmler veya fotoğraflar dijital olarak analiz edilir. Sensör tabanlı olan diğer ölçüm yöntemlerinin aksine, bu yöntem optik kameralar ve bilgisayarlı görme algoritmaları (computer vision algorithm) kullanılarak görüntü tabanlıdır. Bu işaretsiz izleme, olay tespiti (event-detection) gibi durumlarda sporlarda büyük bir avantaj olabilir [40]. Görüntü işlemenin bazı dezavantajları da vardır bunlar gerçek zamanlı görüntü tanıma gerçekleştirmek kolay değildir ve pahalıdır, yüksek kaliteli ve/veya yüksek hızlı kameralar gerektirebilir. Doğruluk aynı zamanda deneysel kurulumla, yani kameranın nesne yörüngesine göre konumu ve kamera sayısına da bağlıdır [41]. Ayrıca, genel olarak, kamera çözünürlüğündeki bir artış, uygulanabilir maksimum örnekleme frekanslarında bir azalma ile sonuçlanır.

Görme tabanlı sistemler (vision-based) iki kategoriye ayrılabilir: Model tabanlı izleme (model-based tracking) ve özellik tabanlı izleme (feature-based tracking). Model tabanlı izleme, izlenen nesnenin 3D modelini kullanır. Model tabanlı izlemenin temel konseptinde, her video karesinde poz bilgisi, önce bir tahmin filtresi aracılığıyla dinamik bir model kullanılarak ve ardından video karesindeki ölçümlerle güncellenir. Model tabanlı izleme sistemlerinin bir dezavantajı, katılımcıların ve ortamın 3 boyutlu modelleri gibi ek bilgilere ihtiyaç duyulması nedeniyle bilinmeyen ortamlarda kullanımlarının zor olması ve kamera hareketini kısıtlamalarıdır [42]. Özellik tabanlı izleme algoritmaları, nesneyi izlemek için çerçevelerdeki ilgili noktaları kullanır.

Ultrasonik yer belirleme sistemleri (UMS) en yaygın olarak kısa mesafeli ölçümlerde kullanılır. UMS, havada hareket eden bir ultrason dalgasının Uçuş Süresi aracılığıyla bir nesnenin konumunu belirler. Bu sistemlere akustik ölçüm sistemleri de denir, çünkü sistem ses dalgaları aracılığıyla çalışır. Ses ve ultrason arasındaki fark, ultrasonun insan kulağı için gizli olmasıdır, bu da araştırmalarda faydalıdır. Ultrasonun bir dezavantajı, menzilin sese kıyasla sınırlı olmasıdır. Ayrıca, dinamik ölçümlerle çalışırken ultrasonun yönlülüğü bir dezavantaj olabilir. Sporda ultrasonik lokalizasyona dayalı, 9 metrekaare alanda 0,05m hassasiyette bir sistem yer almaktadır [43].

4. SPORCU ANATOMİSİ VE YARALANMALARI

Spor, tüm ülkelerin farklı branşlarda ve özellikle olimpiyatlarda kendini gösterme çabası sarf ettiği, ayrıca evrensel bir dile sahip olduğu kabullenilen, kimilerinin sadece sağlık, kimilerinin ise profesyonelce yapmayı tercih ettiği, belli kuralları ve teknikleri olan, bedensel gelişime faydalı, eğlenmek veya yarışmak amacı ile yapılan bedensel hareketlerinin tümünün ortak adıdır [44,45].

Sporun bilimselliği üzerine yapılan tüm çalışmalar, spor teknolojisi ile birlikte ele alındığında, kat edilen mesafe gözle görülür bir şekilde ilerlemiştir. Sporcuların en iyi şekilde ve en iyi şartlar altında antrenman yapabilmesi, sağlıklı bir şekilde performans çitasını en üst seviyelere taşıyabilmesi için spor üzerine bilimsel çalışmalar yapan bilim insanları, spor bilimlerinin temelini oluşturmuşlardır. Performans ve antrenman teknikleri, sporcu sağlığı, zihinsel ve bedensel kontroller, giyilebilir spor teknolojisi de dâhil birçok sportif alanda yapılan bilimsel araştırmalar sporu daha ilgi çekici, daha profesyonel bakış açılarıyla yapılabilir hale getirmeye devam etmektedir.

4.1. Sporcu Yaralanmaları ve Önlenme Yöntemleri

Doğru pozisyon ve bisiklet ayarı sayesinde ağrılardan kurtulabilmektedir. Bisiklet sakatlıklarına örnek olarak sırt ve bel ağrıları, acromioclavicular eklem burkulması, boyun ağrıları, el ve bilek ağrıları, iliotibial bant sendromu, aşıl tendon ağrıları, yumuşak doku ve cilt yaralanmaları, diz eklemi yaralanmaları ve ayak hissizleşmesi verilebilmektedir. Yaralanmalar genellikle uygun ekipman kullanılmaması ve kullanılan ekipmanların sporcuya uygun olmaması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Uzun soluklu turlarda uzun saatler boyunca sele üzerinde kalmak ve pedal çevirmek vücudun belli başlı bölgelerine daha fazla baskı uygulanmaktadır [46,47]. Esneme yapmanın faydaları, sürüş esnasında kaslar ve sinirler üzerinde meydana gelen baskıları azaltıp daha çabuk toparlanmayı sağlar. Bisiklet sürüşlerinden kaynaklanabilen örneğin kas kasılmaları gibi basit yaralanmalarının önüne geçmeye yardımcı olur. Sele üzerinde geçirilen zamanın uzamasına yardımcı olur. Vücuttaki kan dolaşımına yardımcı olur. Kas üzerindeki gerginliklerin azalmasını sağlar. Kas ve eklemlerin hareket kabiliyetini artırır ve kolaylaştırır.

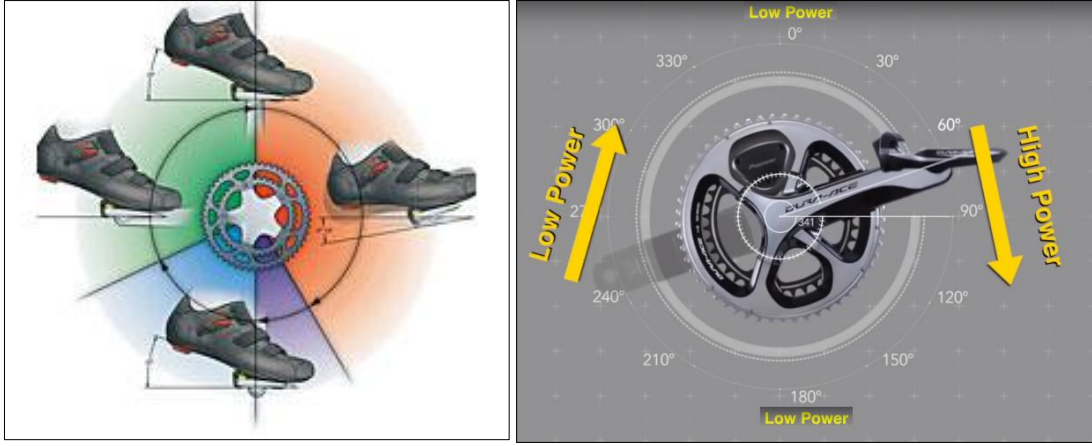
Hissizlik ve ağrılar ile savaşılabilmek için esneme hareketlerinin düzenli olarak yapılmasında fayda vardır. Esneme hareketleri quadriceps esnetme, pelvis ve alt sırt bölgesi esnetme, kalf kası esnetmesi, pelvis fleksörü ve psaaes esnetme, omuz esnetme, plantar fasya esnetme ve hemstring grubu esnetme hareketleri örnek verilebilir [48]. Quadriceps Esnetme, üst bacak kasları bisikletlinin en yoğunluklu olarak kullandığı kas grubudur, bu nedenle yorulmaya en meyilli olan kaslar da bunlardır. Pelvis ve alt sırt bölgesi esnetme hareketi bu bölgeler için

faydalı bir harekettir. Sele üzerinde oturma pozisyonu, bu kas gruplarının kısılmasına ve diğer taraftan ters taraftaki kas gruplarının uzamasına neden olur. Bu sebeple esnetmek iyi gelecektir. Kalf kası bacağın alt ve arka kısmında bulunur. Pedal çevirme esnasında kalf kaslarımızı sürekli ve etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kasın üzerindeki gerginliği azaltmak için esnemesini sağlamakta fayda vardır. Pelvis fleksör kas grubu bacağı gövdeye yaklaştırma görevini üstlenen kaslardır. Bisiklet sürüşü esnasında pelvis fleksör grubu genellikle sıkı bir şekilde kalmaktadır. Çünkü pedal çevirme hareketi bu kasların tamamen uzayıp rahatlayacağı pozisyona gelmesini sağlayamaz. Sürüş sonrası bu kaslardaki sertlikten kaçınmak için esnetme yapmak çok elzem bir durumdur. Bisiklet üzerinde geçirilen uzun süreler neticesinde gidon üzerine doğru uzanmadan kaynaklı göğüs ve omuz kaslarında sıkışmalar meydana gelmektedir [49]. Basit bir omuz gevşetme hareketi ile birlikte omuz ve göğüs kasları rahatlatılabilmektedir. Plantar fasya, topuk kemiğini ayak parmaklarına bağlayan bir dokudur [50,51]. Bu dokunun baskı görmesi ve zedelenmesi topuğunuzun üzerine rahat basamamanıza sebep olabilir. Uzun süren pedal çevirme durumlarında ve yürüyüşler de dâhil topukta şiddetli ağrılar şeklinde belirebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı plantar fasya dokusunu esneme hareketleriyle rahatlatılabilmektedir. Pelvis fleksörü gibi arka bacak kasları da pedal çevirme esnasında bulunduğu pozisyonlardan oturu tam olarak esneyemez ve sürekli kasılı kalma durumu oluşabilir. Bu nedenle esneyerek uzamasına yardımcı olmakta fayda vardır.

4.2. Performans Analizi

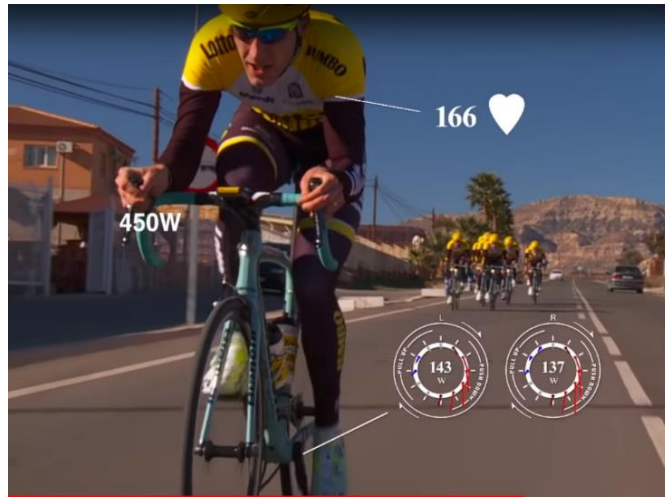
Sporcunun performans analizi, uzun bir süre boyunca yapılan antrenmanın bir sonucu olarak sporcuların gelişmelerini, fiziksel kondisyon derecesini veya teknik uzmanlığı değerlendirmeyi amaçlar. Optimum performans ve teknik arayan spor eğitimcileri, özel bir antrenman planı geliştirir ve farklı araçlar aracılığıyla sonuçları izler. İnsan hareketinin analizi, elit sporların sonuçlarını ele almak için en kesin tekniklerden biri olarak kabul edilmektedir.

Bisiklet pedal çevriminin 2 ana aşaması vardır bunlar güç aşaması ve kurtarma aşamasıdır. Pedal döngüsünü bir saat kadranı olarak hayal ederseniz ve saat 12 konumunda pedal ile başlarsanız, buna Üst Ölü Merkez (TDC) denir. Pedal daha sonra 12'den saat 6'ya kadar aşağı doğru itilir, bu pozisyon Alt Ölü Merkez (BDC) olarak bilinir [52]. Şekil 4.1' de örnek bir pedal çevirme sırasında örnek ayak duruşları verilmiştir.



Şekil 4.1. Pedal çevirme sırasındaki örnek ayak duruşları [52].

Bu iki aşama arasındaki, tüm gücün genellikle bisikleti ileriye doğru itmek için saat 3 yönünde kuvvet uygulanarak aşağı vuruş ile saat 6 yönüne inmesiyle üretilen aşama güç aşaması olarak bilinir. BDC yedeklemesinden TDC'ye geçiş yani saat 6 yönünden saat 12 yönüne geçilmesiyle üretilen aşama kurtarma aşaması olarak bilinmektedir. Bu aşamada, güç aşaması kadar aktif değildir, tüm kaslar değişmemektedir [53]. Şekil 4.2' de uygulanan güçlerin açısal karşılıkları verilmiştir. Alt ölü merkezde kranka çok fazla kuvvet uygulanmamalıdır. Saat 3 yönü aşağı vuruşta yani güç aşamasında en fazla kuvvet uygulanmaktadır ve yukarı vuruşta yani kurtarma aşamasında en az kuvvet uygulanmaktadır.



Şekil 4.2. Pedal çevirme sırasındaki örnek ayak duruşları [52].

Araştırmanın sonucunda elde edilen bulgular şekil 4.2. 'de görüldüğü üzere güç aşamasındayken krankın aşağı doğru hareket etmesi krank üzerinde 90°lik teğetlerin oluşturulması anlamına gelmektedir. En azından ilk bölümlerde 90°lik teğetler oluşturmak

önemlidir böylece sürücü doğru bir sürüş tekniğinde sürüş gerçekleştirir ve krankı 9-12 yönünde çevirme içi kullandığı kaldırma kuvvetini nötralize etmektedir ve diğer bacak için kullandığı güç aşaması sırasındaki kuvvetini ileriye gitmek için kullanabilmektedir. Böylece sürüş daha verimli ve performanslı olmaktadır. Genelde yarış bisikletçileri için önemli bir konu olduğu düşünülse de bisiklet kullanan herkes için verimli sürüş gerekmektedir. Ayrıca hangi açılarda hangi vuruşun yapılacağını bilmek bisiklet sürücüsünün bisiklet üzerindeyken düşmemesini sağlamaktadır. Böylelikle daha az güç uygulanarak daha performanslı sürüş gerçekleştirilmektedir.



5. SPOR BIYOMEKANIĞI ANALİZİ

Spor biyomekaniği tekniklerinin ve fizik – matematik bilimlerinin gelişimiyle sporcuların hareket analizlerini kullanarak yaralanmaların ve meydana gelebilecek sakatlanmaların en aza indirilmesi ve doğru kas bölgelerinin çalıştırılması üzerine birçok metotlar günümüze kadar ulaşmıştır. Tezin ilerleyen bölümlerinde bisikletçiler için bisiklet uyumunun hangi materyaller ve metotlar ile gerçekleştirilebileceği açıklanmıştır. İlerleyen bölümlerde spor biyomekaniği veya spor biyomekanik analizi olarak adlandırılan metodun ne olduğu ve kullandığı fiziksel başlıklar açıklanmıştır.

5.1. Spor Biyomekaniği

Spor Biyomekaniği veya Spor Biyomekanik analizi, spor sırasında insan hareketinin biyomekanik parametrelerini inceleyen Spor Bilimindeki bilimsel disiplindir [44]. Profesyonel sporcuların ve genel olarak spor faaliyetlerinin analizine dayanmaktadır, ayrıca spor fiziği olarak da adlandırılır [54,55,56,57,58]. Bu çalışmalar, insan vücudu kinematiğini ölçerek atletik performansı daha iyi anlamak için yapılır.

Spor ve egzersizde biyomekaniğin rolünü incelerken biyomekanik terimleri ve ilkeleri bilmek önemlidir. Tezin ilerleyen bölümlerinde kuvvet ve tork, Newton'un hareket kanunları, itme, ağırlık merkezi terimleri ve ilkelerinden bahsedilecektir.

Kuvvetler ve torklara bakıldığında kuvvet, basitçe bir itme veya çekmedir ve bir vücut bölümünün hareketini değiştirir. Hareket, kuvvetlerin etkisiyle çoğunlukla kas kuvvetleri, ama aynı zamanda çevreden gelen dış kuvvetler tarafından ortaya çıkarılır ve değiştirilir. Kuvvet bir vücut bölümünü döndürdüğünde, bu etkiye tork veya kuvvet momenti adı verilir [54, 58]. Örneğin kaslar, yokuş yukarı çıkan bisikletçi için bir tork oluşturmaktadır.

Newton'un hareket kanunlarına bakıldığında Newton'un üç hareket yasası, kuvvetlerin sporda nasıl hareket oluşturduğunu açıklar. Bu yasalara eylemsizlik, ivme ve tepki yasaları denmektedir [54, 58]. Newton'un birinci eylemsizlik yasası, nesnelerin hareket durumlarındaki değişikliklere direnme eğiliminde olduğunu belirtir. Hareket halindeki bir nesne hareket halinde kalma eğiliminde olacaktır ve hareketsiz haldeki bir nesne, üzerine bir kuvvet uygulanmadıkça hareketsiz kalma eğiliminde olacaktır. Newton'un İkinci Yasası, bir kuvvetin ne kadar hareket oluşturduğunu tam olarak açıklar [54, 58]. Bir nesnenin yaşadığı ivme (bir nesnenin hızı veya yönünü değiştirme eğilimi), kuvvetin boyutuyla orantılıdır ve nesnenin kütlesiyle ters orantılıdır ve denklem 5.1' de gösterilmiştir.

$$F = m \times a \quad (5.1)$$

Bir oyuncu aynı vücut kütleini korurken antrenman yoluyla bacak gücünü geliştirirse, bacakları kullanarak vücudu hızlandırma becerisi artar, bu da daha iyi çeviklik ve hız sağlar. Üçüncü yasa ise, her etki (kuvvet) için eşit ve zıt bir tepki kuvveti olduğunu belirtir [54]. Bu, kuvvetlerin tek başına hareket etmediği, etkileşen cisimler arasında eşit ve zıt çiftler halinde meydana geldiği anlamına gelir. Örneğin bacakların yere "itmesi" tarafından oluşturulan kuvvet, zeminin "geri ittiği" ve bisikletçinin sürüş sırasında hareket etmesine izin veren yer reaksiyon kuvvetlerine neden olmaktadır.

Newton'un ikinci yasası itme, bir nesnenin hızının ve kütleinin ürünü olan değişken momentumla da ilgilidir. Momentum, esasen bir nesnenin sahip olduğu hareket miktarıdır [54] . Momentum bir nesneden diğerine aktarılabilir. Her biri spor üzerinde farklı bir etkiye sahip olan farklı momentum türleri vardır. Bunlar doğrusal momentum ve açısal momentumdur. Doğrusal momentum, düz bir çizgideki momentumdur, örneğin, atlet pistte 100 metre düz bir çizgide koşarken doğrusal momentum yaratılır. Açısal momentum, dönme momentumudur ve çeşitli vücut bölümlerinin dönüşleri tarafından oluşturulur. Örneğin, açık duruş forehand önemli açısal momentum kullanmaktadır.

Hem profesyonel hem de amatör bisikletçilerin ortak isteği artan performans değerleri ve azalan yaralanma riskleridir. Yanlış spor yapım veya araçların yanlış kullanımları sonucu vücuttaki verimlilik oranının düşmesi, fazla güç kaybı ve spor sırasında yapılan hataların tespit edilememesi karşılaşılan problemlerdendir.

Biyomekanik analiz, optimum hareket ve yük analizi için modeller oluşturarak performans üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilmektedir. Bu, bir beceriyi hareket ettirmenin veya gerçekleştirmenin en güvenli veya en etkili yolunu belirlemek ve farklı bir çevrenin vücudun nasıl hareket ettiği veya tepki verdiği üzerindeki etkisini araştırmak için kullanılmaktadır. Eklem arası hareket koordinasyonu ve eklem senkronizasyonu, farklı eklemlerin çapraz korelasyonlu açısal kinematiği ile karakterize edilebilir. Vücut kinematiğinden bu tür sonuçları yorumlamak, işlevsel görevlerin nasıl tamamlandığına dair mekanik bilgimizi artırabilir ve bozulmuş popülasyonları araştırmak için bir ölçüt olarak hizmet edebilir.

Çalışmanın sözde kodu Algoritma 6.1’ de sistem ana hatları ile kullanılan değişkenler ve fonksiyonlar görülmektedir.

Algoritma 6.1 MainWindow
DEFINE Radius of drawn hand circles <i>HandSize</i>; DEFINE Thickness of drawn joint lines <i>JointThickness</i>; DEFINE Thickness of clip edge rectangles <i>ClipBoundsThickness</i>; DEFINE Constant for clamping Z values of camera space points from being negative <i>InferredZPositionClamp</i>; DEFINE Brush used for drawing hands that are currently tracked as closed <i>handClosedBrush</i>; DEFINE Brush used for drawing hands that are currently tracked as opened <i>handOpenBrush</i>; DEFINE Brush used for drawing hands that are currently tracked as in lasso (pointer) position <i>handLassoBrush</i>; DEFINE Brush used for drawing joints that are currently tracked <i>trackedJointBrush</i>; DEFINE Brush used for drawing joints that are currently inferred <i>inferredJointBrush</i>; DEFINE Pen used for drawing bones that are currently inferred <i>inferredBonePen</i>; DEFINE Drawing group for body rendering output <i>drawingGroup</i>; DEFINE Drawing image that we will display <i>imageSource</i>; DEFINE Active Kinect sensor <i>kinectSensor</i>; DEFINE Coordinate mapper to map one type of point to another <i>coordinateMapper</i>; DEFINE Reader for body frames <i>bodyFrameReader</i>; DEFINE Array for the bodies <i>bodies</i>; DEFINE List for definition of bones <i>bones</i>; DEFINE Width of display (depth space) <i>displayWidth</i>; DEFINE Height of display (depth space) <i>displayHeight</i>; DEFINE List of colors for each body tracked <i>bodyColors</i>; DEFINE Current status text to display <i>statusText</i>;

Algoritma 6.1 MainWindow

```
GOTO MainWindow;
DEFINE event to allow window controls to bind to changeable data PropertyChanged;
GOTO ImageSource;
GOTO StatusText;
GOTO MainWindow_Loaded;
GOTO MainWindow_Closing;
GOTO Reader_FrameArrived;
GOTO SetRealTimePosition;
GOTO GetKinematicAnalysis;
GOTO GetAngle;
GOTO GetSlope;
GOTO GetPointToVector;
GOTO GetDotProduct;
GOTO GetVectorLength;
GOTO DrawBody;
GOTO DrawBone;
GOTO DrawHand;
GOTO DrawClippedEdges;
GOTO Sensor_IsAvailableChanged;
% one sensor is currently supported
kinectSensor = KinectSensor is get default;
% get the coordinate mapper
coordinateMapper =CoordinateMapper value of kinectSensor;
% get the depth (display) extents
DEFINE frameDescription = kinectSensor.DepthFrameSource.FrameDescription;
% get size of joint space
displayWidth =Width value of frameDescription;
displayHeight =Height value of frameDescription;
% open the reader for the body frames
bodyFrameReader = kinectSensor.BodyFrameSource open reader
% a bone DEFINED as a line between two joints
bones.Add(JointTypen,JointTypen+1);
% populate body colors, one for each BodyIndex
```

Algoritma 6.1 MainWindow

```
bodyColors.Add(Color,6);  
% set IsAvailableChanged event notifier  
kinectSensorIsAvailableChanged += GOTO Sensor_IsAvailableChanged;  
kinectSensor object is open  
% set the status text  
IF kinectSensor is available THEN  
Properties running statusText;  
ELSE  
Properties no sensor statusText;  
ENDIF  
imageSource = DrawingImage(drawingGroup);
```

Çalışmanın amacı antropometrik ölçümler (statik yöntem) ve hareket yakalama teknolojisinin (dinamik yöntem) bir arada kullanılmasıyla bike fit ve doğru sürüş tekniklerinin belirlenmesi ve mevcut sonuç ile olası sakatlanma ve yaralanmaların minimuma indirilmesi ve spor biyomekaniği çalışmaları için model oluşturması amaçlanmıştır.

6.1. Dinamik Yöntem

Hareket yakalama teknolojisinin kullanıldığı ve sporcu üzerinden gerçek zamanlı verilerin alındığı bölümdür. Optik algılama;

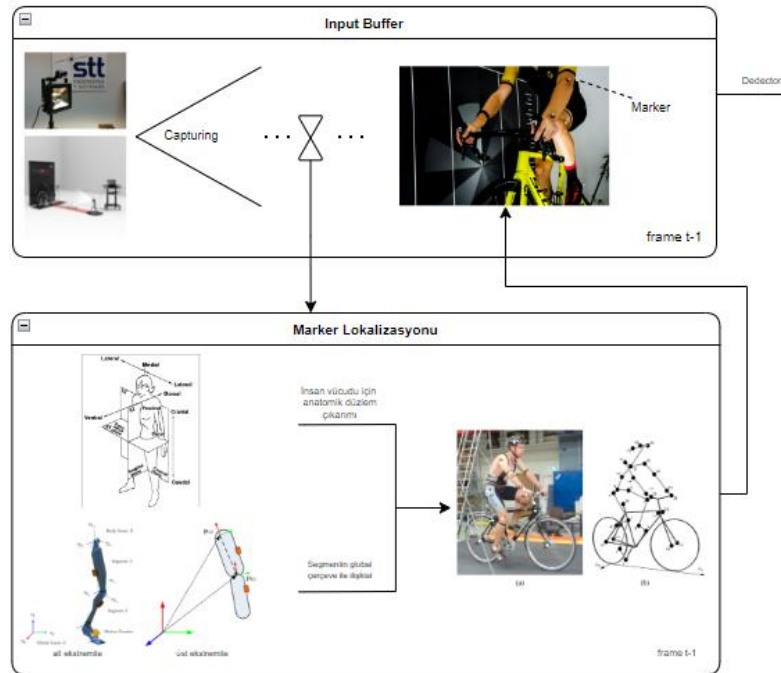
- Geniş ve değişken bir teknoloji koleksiyonunu kapsar.
- Görüntü tabanlı sistemler, belirli kemik işaretleriyle hizalanmış, öznenin vücut bölümleri üzerinde önceden belirlenmiş noktaları (markerlar ile) izlemek için birden fazla kamera kullanarak konumu belirler.
- Pozisyon, çalışma hacminin birden fazla 3D görüntüsü kullanılarak tahmin edilir.
- Stereometrik teknikler, her bir görüntüdeki izlenen nesneler üzerindeki ortak izleme noktalarını ilişkilendirir ve bu bilgiyi, her bir görüntü ve kamera parametreleri arasındaki ilişki ile ilgili bilgilerle birlikte konumu hesaplamak için kullanır.
- İşaretleyiciler pasif (yansıtıcı) veya aktif (ışık yayan) olabilir. Çalışmada pasif marker kullanılmaktadır.

OMS'ler diğer sistemlerden daha hassastır. Optik sistemler literatürde genellikle hareket yakalamada altın standart olarak kabul edilmektedir [59]. Bir OMS ışığı algılar ve bu algılamayı, zaman aşımı üçgenlemesi (time-offlight triangulation) yoluyla bir markerın 2D konumunu tahmin

etmek için kullanır. Ayrıca, kamera çözünürlüğü ile örnekleme frekansı arasında bir değiş tokuş söz konusudur. OMS, sabit kameralara dayalıdır ve bu nedenle yalnızca sınırlı bir alanda veri alabilir [60]. Yakalama hacmi, maksimum kamera sayısına ve her kameranın görüş alanına bağlıdır. Fazladan markerlar genellikle hata olasılığını azaltan tıkanıklıkların üstesinden gelmek için kullanılır, ancak markerların sayısını artırmak aynı zamanda işleme gecikmesini de artırır. Sistemin diğer sınırlamaları, görüş hattı gerekliliğidir; bu, kameralar işaretleri gözden kaybettiğinde veri çıkışının kesileceği anlamına gelir [61, 62]. Ayrıca, sistemler kurulumdaki değişimlere (örneğin; kameranın yanlışlıkla kayması nedeniyle) karşı son derece hassastır [63]. Sistemler daha çok karanlık alanlarda (iç mekanlarda) kullanılır çünkü parlak güneş ışığı ölçümleri etkiler [61,63].

6.1.1. Input Buffer – Marker Lokalizasyonu

Hareket yakalama sisteminin ön hazırlık bölümü uygun ortamın hazırlanma işlemidir. İlgili bölümün akış diyagramı şekil 6.2’ de verilmiştir. Çalışmada kullanılan kamera özelliklerine bakıldığında içinde RGB kamera, IR illuminator geçiş filtreli kamera ve derinlik kamerası bulunmaktadır. Kameranın doğru pozisyonlamasının ardından lateral - medial eksenlerde insan vücudu için anatomik düzlem çıkarımı ve alt – üst ekstremité global çerçeve ile ilişkisi belirlenerek marker lokalizasyonları belirlenip sporcu üzerine yerleştirme işlemi çalışmanın ilk aşamasıdır.



Şekil 6.2. Input Buffer – Marker Lokalizasyon Aşaması.

Sistemlerin doğruluğu, deneysel kurulumun aşağıdaki bölümlerine bağlıdır;

- Kameraların birbirine göre konumları,
- Kameralar ve markerlar arasındaki mesafe,
- Alandaki markerların konumu, sayısı ve türleri,
- Yakalama hacmi içindeki markerların hareketi. [64].

Marker lokalizasyonu işlemi sırasında kinematik çalışmalarda yaygın olarak iki tip vücuda

bağlı marker seti kullanılır;

- Anatomik
- Küme işaretleyici seti.

Her iki tip de araştırılan DoF (Degree of Freedom)'lerden bağımsızdır ve kemikli anatomik işaretlere dayanır. Ancak, küme işaretleyici seti, işlevsel görevler sırasında tipik olarak yalnızca kümeleri izler. Anatomik marker set özelliklerine bakıldığında;

- Tek işaretçilerin bağlanma yeri olarak kemikli anatomik işaretler kullanır.
- Anatomik işaretler, bir kemik çıkıntısını kaplayan bir yumuşak doku tabakası ile karakterize edilir ve özellikle yöneticiler arasında hatalardan kaçınmak için açıkça belirlenmiş ve iyi uygulanmış palpasyon prosedürleri yoluyla işaretleyici yerleştirmeyi gerektirir. Birkaç milimetreye kadar yaygın palpasyon hatalarının sadece birkaç derecelik açısal hatalara neden olduğu gösterilmiş olsa da katılımcılar arasındaki önemli farklılıklar, büyük değişkenlik nedeniyle geçerlilik ve güvenilirlik için bir tehdit oluşturabilir.
- Anatomik bir işaret setinin amacı, anatomik olarak anlamlı bir taban çizgisine göre her segmentin LCS'sinin anlık yönünü güvenilir bir şekilde tahmin etmektir (örneğin, anatomik bir pozisyonda 0 derece).
- Her LCS, o segmente yapıştırılmış bir anatomik referans çerçevesi oluşturmak için bir segment üzerinde en az üç anatomik işaret kullanılarak elde edilir.
- LCS tanımının güvenilirliği, daha fazla anatomik yer işareti izlendikçe ve bu bilgi fazlalığı daha gelişmiş en küçük kareler minimizasyon teknikleriyle kullanıldığında artar. Bununla birlikte, ek belirteçlerin kullanılması, klinik uygulamalarda dikkate alınan idari yükün artmasına neden olur.

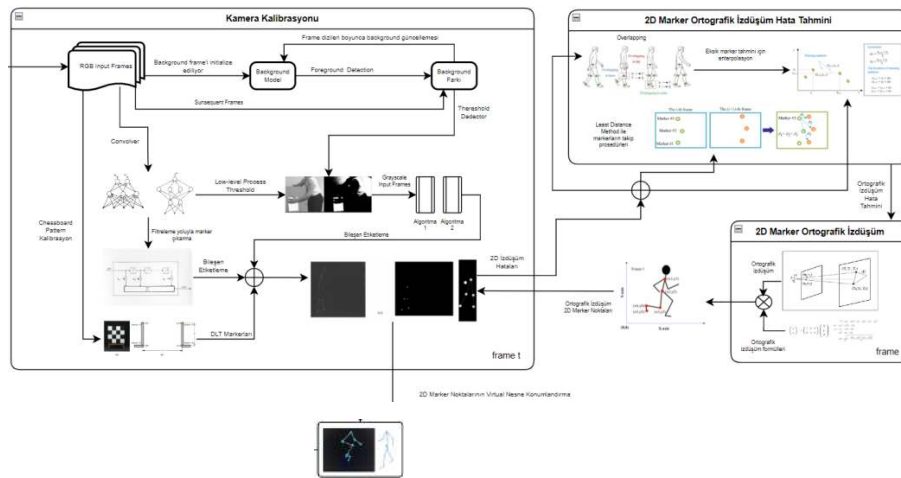
Küme marker set özelliklerine bakıldığında;

- Geometrik olarak düzenlenmiş ve elastik bir bant veya sert veya yarı sert bir plaka üzerine monte edilmiş işaret kümelerini kullanır.

- Bazı alt ekstremite segmentleri için, bu tekniğin kemik üzerindeki yumuşak doku hareketiyle ilgili yumuşak doku artefaktlarını azalttığı gösterilmiştir, çünkü fonksiyonel görevler sırasında sadece plakalar üzerindeki işaretler izlenir. Bununla birlikte, üst ekstremitelerde yumuşak doku artefaktlarının insidansını azaltmak için belirteç kümelerinin kullanımına ilişkin sınırlı bilgi mevcuttur.
- Hata yayılımını LCS'nin tahminine indirgemek amacıyla, küme işaretleyici kümeleri oluşturmaya yönelik yönergeler oluşturulmuştur, bunlara aşağıdakiler dahildir:
 1. Küme başına en az dört marker kullanılmalıdır.
 2. Belirteçlerin ortalama konumlarından ortalama uzaklığının karesi olan beden indeksi, mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır (ancak vücut segmenti boyutu ile sınırlı)
 3. Kümeler, genel cilt hareketi artefaktlarını en aza indirecek konumlara yerleştirilmelidir.
 4. Kümelerin deformasyonlarına ve/veya yer değiştirmelerine neden olabileceğinden kas kasılma paternlerinin etkileri dikkate alınmalıdır. Özellikle kılavuz ilkeler (3) ve (4), yumuşak doku artefaktlarının potansiyel etkisini ortadan kaldırmaya da azaltabilir.

Küme yerleşimine ek olarak, ilgili anatomik yer işaretlerinin konumuna göre bir kümenin oryantasyonunu yakalayan bir tür küme kalibrasyonu hala gereklidir. Bu kalibrasyon yaklaşımı, tipik olarak, daha önce açıklanan sınırlamalarla ilişkili anatomik dönüm noktası tanımlamasına dayanır ve çalışmada anatomik marker türü kullanılacaktır. Aşamanın çıktısı dedektör verisidir. Bu veri, kamera kalibrasyonu için giriş verisidir.

6.1.2. Kamera Kalibrasyonu



Şekil 6.3. Kamera kalibrasyonu – 2D marker ortografik izdüşüm.

Giriş verisi dedektör olan kamera kalibrasyonu aşamasında elde edilen RGB giriş frame'lerinin ilk yöntem olarak; arkaplan çıkarımlarının initialize edilmesi ve çıktı olarak arkaplan modelinin elde edilmesi ve önplan algılama ile arkaplan farkının elde edilmesi ve frame dizilerini boyunca arkaplan güncellemesi işleminin tekrar edilmesi işlemidir. Arkaplan farkının elde edilmesiyle kamera kalibrasyonu için threshold algılama gri tonlamalı giriş verisi elde edilmiştir. Elde edilen gri tonlamalı giriş frame'lerini algoritmalarla geçirilip giriş verisi elde edilmiştir. Şekil 6.3' de belirtilen algoritmalar ise "Least Square Method" ve "2D Conformal Transformation" dir. RGB giriş frame'leriyle convolver ve low-level process threshold yöntemleri ve öncesinde bulunan threshold dedektör birlikte kullanılarak gri tonlamalı giriş verisi elde edilmiştir. Ayrıca convolver çıkışı filtreleme yoluyla marker çıkarma ve bileşen etiketleme çıktısı elde edilmiştir. RGB giriş frame'leriyle chessboard pattern kalibrasyonu yöntemiyle DLT marker çıkarımı çıktısı elde edilmiştir. "Conformal Transformation" adımları şekil 6.4' de verilmiştir.



Şekil 6.4. Conformal Transformation Adımları.

Ölçekleme; (x,y) sisteminde tanımlanan çizgi uzunluklarını (X,Y) sisteminde de aynı uzunluğa getirmek için, (x,y) koordinatlarını ölçekleme faktörüyle (S) çarpmak gerekmektedir. Burada ölçeklendirilmiş koordinatlar x' ve y' dir.

$$x' = Sx \quad (6.1)$$

$$y' = Sy \quad (6.2)$$

Dönme; Ölçeklendirilmiş sistemde (x', y') iki sistemin birbirlerinden alınan eksenlerin aynı doğrultuda olması için ölçeklendirilmiş sistemin (θ) açısı kadar döndürülmelidir. Burada döndürülmüş koordinatlar X' ve Y' dir.

$$X' = x' \cos \theta - y' \sin \theta \quad (6.3)$$

$$Y' = x' \sin \theta - y' \cos \theta \quad (6.4)$$

Öteleme; Sistemler arası ortak başlangıç noktası oluşturulma gereksiniminde, (X', Y') sisteminin başlangıç noktasını (X, Y) sisteminin başlangıç noktasına ötelenmesi gerekir. Burada ötelenmiş koordinatlar X ve Y dir.

$$X = X' + T_x \quad (6.5)$$

$$Y = Y' + T_y \quad (6.6)$$

Denklem 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 birleştirildiğinde sistem uyumlu tek bir eşitlik sistemine dönüşmektedir. (x, y) koordinatlarını doğrudan (X, Y) sistemine dönüştürebilir.

$$X = (S \cos \theta)x - (S \sin \theta)y + T_x \quad (6.7)$$

$$Y = (S \sin \theta)x - (S \cos \theta)y + T_y \quad (6.8)$$

Denklem 6.7 ve 6.8'de elde edilen denklemleri düzenli formata çekmek için (S cos θ)=a, (S sin θ)=b, T_x = c, T_y = d eşitlikler oluşturularak denklemler tekrar oluşturulmuştur.

$$ax - by + c = X \quad (6.9)$$

$$ay + bx + d = Y \quad (6.10)$$

Dört bilinmeyenli (a,b,c ve d) iki boyutlu uyum dönüşümünü göstermektedir. Buradaki bilinmeyenler dönüşüm parametrelerini S, θ, T_x, T_y de içermektedir. Her bir kalibrasyon noktası için iki eşitlik yazıldığından sistemin tek çözümü için sadece iki nokta yeterli olacaktır. İki kalibrasyon noktasından fazla olan artık sistemlerde (redundant system) ise “Least Square Method” kullanılarak çözüm bulunmaktadır.

$$ax_a - by_a + c = X_A \quad (6.11)$$

$$ay_a + bx_a + d = Y_A \quad (6.12)$$

$$ax_b - by_b + c = X_B \quad (6.13)$$

$$ay_b + bx_b + d = Y_B \quad (6.14)$$

$$ax_c - by_c + c = X_C \quad (6.15)$$

$$ay_c + bx_c + d = Y_C \quad (6.16)$$

Denklem 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.15 ve 6.16 çıktıları matris formatına getirildiğinde çıktıları 6.17, 6.18, 6.19, 6.20 ve 6.21 gibidir.

$$A = \begin{bmatrix} x_a & -y_a & 1 & 0 \\ y_a & x_a & 0 & 1 \\ x_b & -y_b & 1 & 0 \\ y_b & x_b & 0 & 1 \\ x_c & -y_c & 1 & 0 \\ y_c & x_c & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.17)$$

$$X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} \quad (6.18)$$

$$L = \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ X_B \\ Y_B \\ X_C \\ Y_C \end{bmatrix} \quad (6.19)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad (6.20)$$

$$S = \frac{a}{\cos \theta} \quad (6.21)$$

Least Square Method çözüm yolu;

$$S_x = I_{calib} \quad (6.22)$$

$$S^T S_x = S^T I_{calib} \quad (6.23)$$

$$x = (S^T S)^{-1} S^T I_{calib} \quad (6.24)$$

Sonlu farklar analizi ile merkezden fark metodu çözüm yolu;

$$v_i = \frac{s_{i+1} - s_{i-1}}{2\Delta t} \quad (6.25)$$

$$a_i = \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2\Delta t} = \frac{s_{i+2} - 2s_i + s_{i-2}}{4(\Delta t)^2} \quad (6.26)$$

$$a_i = \frac{s_{i+1} - 2s_i + s_{i-1}}{\Delta t^2} \quad (6.27)$$

Elde edilen giriş verileri ile 2D izdüşüm noktalarının tespit edilme işlemi gerçekleştirilmiştir. 2D izdüşüm noktaları içinde ortografik izdüşüm hataları meydana gelmektedir. Tespit edilen 2D izdüşüm hataları için 2D ortografik izdüşüm hata tahmini işlemi yapılmaktadır. Gönderilen hatalar overlapping durumunun tespitinde veya eksik marker pozisyon tespitinde pozisyon tahmini için enterpolasyon işlemi yapılmaktadır. Bulunan marker pozisyonları ortografik izdüşüm formülleri kullanılarak ortografik izdüşüm 2D marker noktalarını

vermektedir. Kamera kalibrasyonu sonucu çıktı verileri markerların görsel tespitleridir yani 2D marker noktalarının virtual nesne konumlandırması işlemi gerçekleştirilmiştir.

Algoritma 6.2. StatusText

```
% Gets or sets the current status text to display
GET statusText;
SET IF statusText is not equal value THEN
statusText = value;
    %notify any bound elements that the text has changed
    IF PropertyChanged is not equal NULL THEN
        GOTO PropertyChanged(new instance PropertyChangedEventArgs("StatusText"));
    ENDIF
ENDIF
```

Algoritma 6.3. MainWindow_Loaded

```
%INPUT: sender: object sending the event%
%INPUT: e: event arguments%
% Execute start up tasks
IF bodyFrameReader is not equal NULL THEN
    FrameArrived is bodyFrameReader += GOTO Reader_FrameArrived;
ENDIF
```

Algoritma 6.4. MainWindow_Closing

```
%INPUT: sender: object sending the event%
%INPUT: e: event arguments%
% Execute shutdown tasks
IF bodyFrameReader is not equal NULL THEN
    Dispose of bodyFrameReader ;
    bodyFrameReader = NULL;
ENDIF
IF kinectSensor is not equal NULL THEN
    kinectSensor object is close
    kinectSensor = NULL;
ENDIF
```

Algoritma 6.5. Reader_FrameArrived

```
%INPUT: sender: object sending the event%
%INPUT: e: event arguments%
DEFINE dataReceived = false;
USING (DEFINE bodyFrame = a frame with all calculated real-time monitoring information) DO
  IF bodyFrame is not equal NULL THEN
    IF bodyFrame is equal NULL THEN
      Bodies = bodyFrameBodyCount;
    ENDIF
    Get bodyFrame and refresh body data(bodies);
    dataReceived = true;
  ENDIF
END
IF dataReceived THEN
  USING (DEFINE dc = drawingGroup object is open) DO
    dc was created using DrawRectangle(Brushes.Black, null, new Rect(0.0, 0.0, displayWidth,
      displayHeight))
    DEFINE penIndex = 0;
    FOR all body body in bodies DO
      DEFINE drawPen = bodyColors[penIndex++];
      IF body is tracked THEN
        DEFINE joints = Joints value of body;
        DEFINE jointPoints;
        FOR all joint type jointType in Key value of joints DO
          DEFINE position = Position value of joints[jointType] ;
          IF z-axis of position value < 0 THEN
            z-axis of position value = GOTO InferredZPositionClamp;
          ENDIF
          DEFINE depthSpacePoint = coordinateMapper.MapCameraPointToDepthSpace(position);
          jointPoints[jointType] = (depthSpacePoint.X, depthSpacePoint.Y);
        ENDFOR
        GOTO SetRealTimePosition(jointPoints);
        GOTO DrawBody(joints, jointPoints, dc, drawPen);
        GOTO DrawHand(HandLeftState value of body, jointPoints[HandLeft value of JointType], dc);
```

Algoritma 6.5. Reader_FrameArrived

```
GOTO DrawHand(HandRightState value of JointType, jointPoints[HandRight value of
JointType], dc);

ENDIF

ENDFOR

% prevent drawing outside of our render area

ClipGeometry value of drawingGroup = using RectangleGeometry(0.0, 0.0, displayWidth,
displayHeight);

ENDFOR

ENDIF
```

Algoritma 6.6. Sensor_IsAvailableChanged

```
%INPUT: sender: object sending the event%
%INPUT: e: event arguments%
% on failure, set the status text
IF kinectSensor is available THEN
    StatusText = Properties running status text
ELSE
    StatusText = Properties sensor not available status text
ENDIF
```

Algoritma 6.7. DrawClippedEdges

```
%INPUT: body: body to draw clipping information for%
%INPUT: drawingContext: drawing context to draw to%
DEFINE clippedEdges = ClippedEdges value of body;
IF clippedEdges is (frame edges is bottom) THEN
    drawingContext was created using DrawRectangle(0, displayHeight - ClipBoundsThickness,
displayWidth, ClipBoundsThickness)
IF clippedEdges is (frame edges is top) THEN
    drawingContext was created using DrawRectangle(0, 0, displayWidth, ClipBoundsThickness)
IF clippedEdges is (frame edges is left) THEN
    drawingContext was created using DrawRectangle(0, 0, ClipBoundsThickness, displayHeight)
IF clippedEdges is (frame edges is right) THEN
    drawingContext was created using DrawRectangle(displayWidth - ClipBoundsThickness, 0,
ClipBoundsThickness, displayHeight)
ENDIF

ENDIF
```

Algoritma 6.8. DrawHand

```
%INPUT: handState: state of the hand%
%INPUT: handPosition: position of the hand%
%INPUT: drawingContext: drawing context to draw to%
IF handState is closed THEN
    drawingContext was created using DrawEllipse(handClosedBrush, null, handPosition,
    HandSize, HandSize)
IF handState is open THEN
    drawingContext was created using DrawEllipse(handOpenBrush, null, handPosition,
    HandSize, HandSize)
IF handState is lasso THEN
    drawingContext was created using DrawEllipse(handLassoBrush, null, handPosition,
    HandSize, HandSize)
ENDIF
```

Algoritma 6.9. DrawBone

```
%INPUT: joints: joints to draw%
%INPUT: jointPoints: translated positions of joints to draw%
%INPUT: jointType0: first joint of bone to draw%
%INPUT: jointType1: second joint of bone to draw%
%INPUT: drawingContext: drawing context to draw to%
%INPUT: drawingPen: specifies color to draw a specific bone%
DEFINE joint0 = joints[jointType0];
DEFINE joint1 = joints[jointType1];
%If we can't find either of these joints, exit
IF TrackingState value of joint0 is equal NotTracked value of TrackingState OR TrackingState value of
joint1 is equal NotTracked value of TrackingState THEN
    RETURN;
ENDIF
% We assume all drawn bones are inferred unless BOTH joints are tracked
DEFINE drawPen = inferredBonePen;
```

Algoritma 6.9. DrawBone

IF *TrackingState* value of *joint0* is equal *Tracked* value of *TrackingState* AND *TrackingState* value of *joint1* is equal *Tracked* value of *TrackingState* THEN

drawPen = *drawingPen*;

ENDIF

drawingContext was created using *DrawLine*(*drawPen*, *jointPoints*[*jointType0*], *jointPoints*[*jointType1*])

Algoritma 6.10. DrawBody

%INPUT: *joints*: joints to draw%

%INPUT: *jointPoints*: translated positions of joints to draw%

%INPUT: *drawingContext*: drawing context to draw to%

%INPUT: *drawingPen*: specifies color to draw a specific body%

% Draw the bones

FOR all bones *bone* in *bones* DO

GOTO *DrawBone*(*joints*, *jointPoints*, *bone.Item1*, *bone.Item2*, *drawingContext*, *drawingPen*);

ENDFOR

% Draw the joints

FOR all joint type *jointType* in *joints.Keys* DO

DEFINE *drawBrush* = *NULL*;

DEFINE *trackingState* = *TrackingState* value of *joints*[*jointType*];

IF *trackingState* is equal *Tracked* value of *TrackingState* THEN

drawBrush = *trackedJointBrush*;

ENDIF

IF *trackingState* is equal *Inferred* value of *TrackingState* THEN

drawBrush = *inferredJointBrush*;

ENDIF

IF *drawBrush* is not equal *NULL* THEN

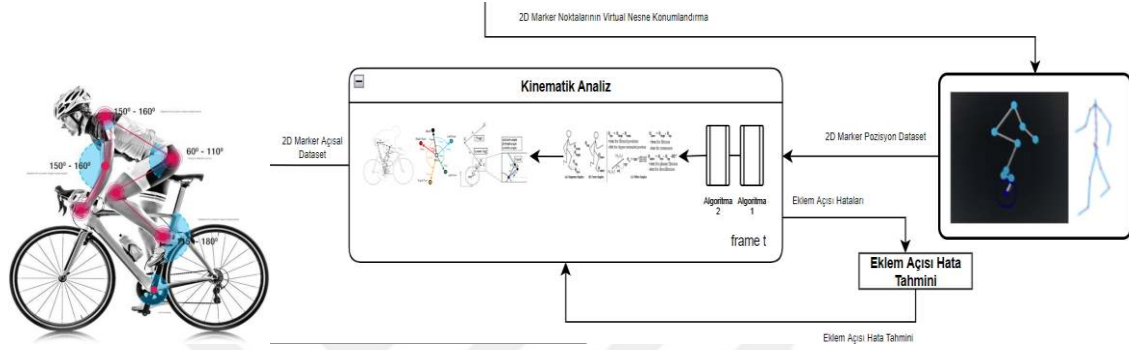
drawingContext was created using *DrawEllipse*(*drawBrush*, *null*, *jointPoints*[*jointType*], *JointThickness*, *JointThickness*)

ENDIF

ENDFOR

6.1.3. Kinematik Analiz

Vücut hareketi oldukça değişken ve karmaşıktır, genellikle fonksiyonel görevler sırasında kinematik zincirdeki tüm serbestlik derecelerine (DoFs) meydan okur. Bu tür değişkenlik ve karmaşıklık, kinematik değerlendirme amacıyla hareket standardizasyonunu zorlaştırır. Bu içsel değişkenlik ve karmaşıklığa yanıt olarak, genellikle vücut kinematiğini değerlendirmek için benzersiz deneysel protokoller geliştirilir.



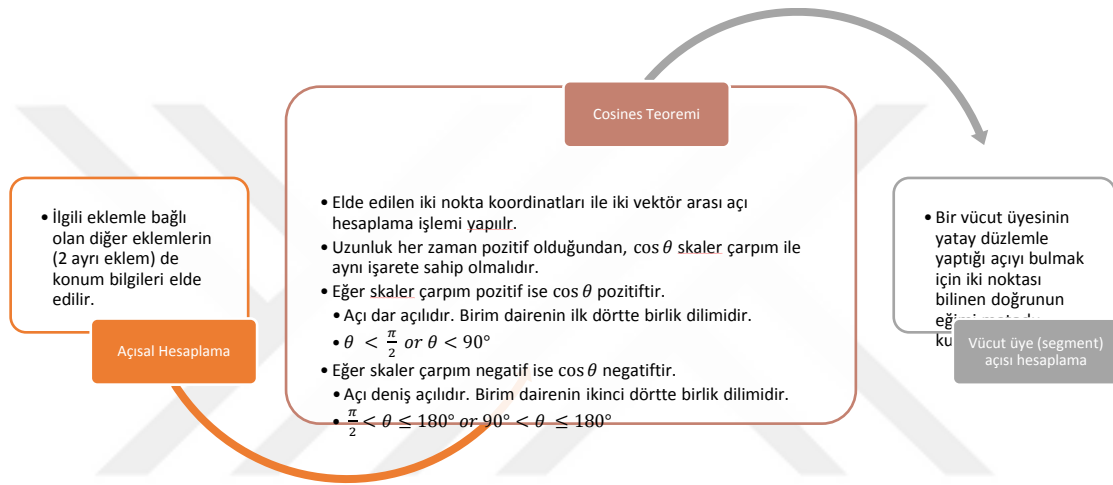
Şekil 6.5. Kinematik analiz sistem adımları.

Markerlar aldığı IR ışığını kameraya geri yansıtır. Derinlik kamerası, IR geçiş filtreli kamera ve RGB kameralardan alınan veriler gömülü sistem içerisindeki özel kamera yazılımı kullanılarak sporcunun 2D pozisyonu bulunur ve elde edilen pozisyon değerleri açısal verilere dönüştürülür ve şekil 6.5’ de verilmiştir.

- Fazladan işaretleyiciler genellikle hata olasılığını azaltan tıkanıklıkların üstesinden gelmek için kullanılır, ancak işaretçilerin sayısını artırmak aynı zamanda işleme gecikmesini de artırır.
- Sistemin diğer sınırlamaları, görüş hattı gerekliliğidir; bu, kameralar işaretleri gözden kaybettiğinde veri çıkışının kesileceği anlamına gelir.
- Ayrıca, sistemler kurulumdaki değişimlere (örneğin; kameranın yanlışlıkla kayması nedeniyle) karşı son derece hassastır. Sistemler daha çok karanlık alanlarda (iç mekanlarda) kullanılır çünkü parlak güneş ışığı ölçümleri etkiler.

Vücut segmentlerini izlemek için hem tip hem de konum açısından farklı işaretleyici konfigürasyonları kullanılmıştır ve eklem açılarını hesaplamak için çeşitli matematiksel kurallar kullanılmıştır ve şekil 6.6’ da açıklamalarına yer verilmiştir. Algoritma 6.11’ de gerçek zamanlı elde edilen pozisyon değerleri alınmaktadır.

Algoritma 6.11. SetRealTimePosition
<pre> %INPUT: jointPoints: detected joint points% FOR all joint type and point value data in jointPoints DO IF Key value of data is equal whatever JointType is THEN DEFINE point = Value value of data; ENDIF ENDFOR GOTO GetKinematicAnalysis; </pre>



Şekil 6.6. Eklem açılarının matematiksel hesaplama yöntemleri.

Ayak bileği, diz ve kalça eklemleri A(ankle), K(nee) ve H(ip) harfleriyle sembolize edilmiştir. Eklem koordinatları $A(x_A, y_A)$, $K(x_K, y_K)$ ve $H(x_H, y_H)$ değerleri olduğunu kabul edildiğinde gerekli vektör çıktıları;

$$\vec{KA} \cdot \vec{KH} = \|\vec{KA}\| \cdot \|\vec{KH}\| \cos \theta \quad (6.28)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{(x_A - x_K)(x_H - x_K) + (y_A - y_K)(y_H - y_K)}{\sqrt{(x_A - x_K)^2 + (y_A - y_K)^2} \cdot \sqrt{(x_H - x_K)^2 + (y_H - y_K)^2}} \right) \quad (6.29)$$

Algoritma 6.12, 6.13 ve 6.14’de görüldüğü üzere pozisyon değerleri kullanılarak vektör tespiti ve vektörler üzerinde işlemler görülmektedir.

Algoritma 6.12. GetDotProduct
<pre> %INPUT: startPoint: Coordinate of the joint start point % %INPUT: lastPoint: Coordinate of the joint last point % %OUTPUT: Scale multiplication of two vectors% RETURN (startPoint.X) × (lastPoint.X) + (startPoint.Y) × (lastPoint.Y); </pre>

Algoritma 6.13. GetPointToVector
%INPUT: <i>startPoint</i>: Coordinate of the joint start point % %INPUT: <i>lastPoint</i>: Coordinate of the joint last point % %OUTPUT: Point type coordinate data in Vector% DEFINE <i>result</i>; <i>result.X</i> = <i>lastPoint.X</i> – <i>startPoint.X</i>; <i>result.Y</i> = <i>lastPoint.Y</i> – <i>startPoint.Y</i>; RETURN <i>result</i>;

Algoritma 6.14. GetVectorLength
%INPUT: <i>point</i>: Coordinate of the joint point % %OUTPUT: Length of the vector known for its coordinates% RETURN $\sqrt{(point.X)^2 + (point.Y)^2}$;

Vücut üye (segment) açısı hesaplama;

$$m = \frac{y_H - y_K}{x_H - x_K} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (6.30)$$

$$\theta = \tan^{-1}(m) \quad (6.31)$$

Algoritma 6.15, 6.16. ve 6.17’de görüldüğü üzere vucüt üye segmentinin hesaplanması ve kinematik analiz açılarının tespiti verilmiştir.

Algoritma 6.15. GetSlope
%INPUT: <i>startPoint</i>: Coordinate of the joint start point % %INPUT: <i>lastPoint</i>: Coordinate of the joint last point % %OUTPUT: Body member (segment) angle calculation% RETURN $\tan^{-1} \frac{(lastPoint.Y - startPoint.Y)}{(lastPoint.X - startPoint.X)}$;

Algoritma 6.16. GetAngle
%INPUT: <i>startPoint</i>: Coordinate of the joint start point % %INPUT: <i>secondPoint</i>: Coordinate of the joint second point % %INPUT: <i>thirdPoint</i>: Coordinate of the joint third point % %OUTPUT: Function that finds the angular value of the three-point known coordinates% DEFINE <i>startToSecondPoint</i> = GOTO GetPointToVector(<i>startPoint</i>, <i>secondPoint</i>); DEFINE <i>startToThirdPoint</i> = GOTO GetPointToVector(<i>startPoint</i>, <i>thirdPoint</i>); DEFINE <i>skalerCarpim</i> = GOTO GetDotProduct(<i>startToSecondPoint</i>, <i>startToThirdPoint</i>);

Algoritma 6.16. GetAngle

```
DEFINE vectorLength = GOTO GetVectorLenght(startToSecondPoint) × GOTO  
GetVectorLenght(startToThirdPoint);  
  
DEFINE radians =  $\cos^{-1} \frac{skalerCarpim}{vectorLength}$  ;  
  
RETURN  $\frac{180}{Math.PI} \times radians$ ;
```

Algoritma 6.17. GetKinematicAnalysis

```
%INPUT: firstpoint: Coordinate of the joint first point %  
%INPUT: secondpoint: Coordinate of the joint second point %  
%INPUT: thirdpoint: Coordinate of the joint third point %  
%OUTPUT: Kinematic analysis of specific additions%  
RETURN GOTO GetAngle(firstpoint, secondpoint, thirdpoint);
```

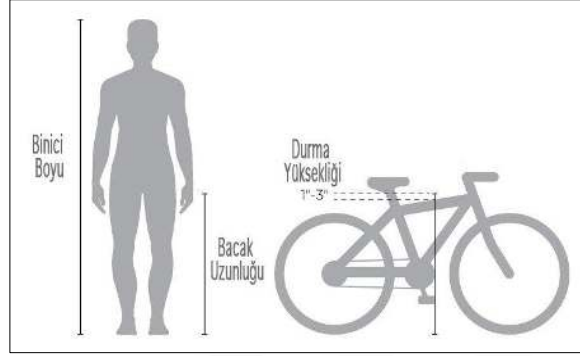
6.2. Statik Yöntem

Tezin bu bölümünde kadronun size (boyut) özelliklerinden bahsedilecektir. Bisiklet alınma sürecinde eskiden bisikletin neye göre alınacağı satıcıya güven esaslıydı. Fakat bisiklet pazarının büyümesi konuya hâkim olmayan insanların veya satıcıların artması doğru orantılı olarak yanlış bisiklet seçimi meydana gelmektedir [65]. Bununla birlikte sakatlanmalar ve yaralanmalar gibi sorunlar da başlamış olacaktır. Eski yöntemlere göre bisikletçinin kadro üst tüpünün üzerinde dururken arada dört parmak boşluk bırakılacak şekilde bisiklet boyutu belirlenmekteydi. Tasarımların ve farklı modellerin ortaya çıkması ile genişleyen yelpazede kadro boyları da aynı önemle artmıştır. Şekil 6.7' de ki A noktası bisikletin ölçüsünü yani kadro boyunu göstermektedir.



Şekil 6.7. Kadro boyunun gösterimi [12].

Seleden inildiğinde zeminden kadro üst tüpüne kadar olan uzunluğa ek olarak 1 inç veya 3 inç yani yaklaşık 10 cm’lik mesafe durma yüksekliği kadro seçimine ölçüt vermektedir. Şekil 6.8’ de durma yüksekliği verilmiştir.



Şekil 6.8. Bisikletçinin boyu ve inseam uzunluğu ile bisikletteki durma yüksekliğinin efektif gösterimi [12].

Durma yükseklik uzunluğu kadronun minimum boyutunun en basit seçim yöntemlerinden biridir. Fakat profesyonel biçimde kadronun elde edilecek bütün uzunluk ve açısal değerleri sporcular için önem teşkil etmektedir [66]. Diğer bir kadro boyutunu belirleme yöntemi ise iç dikiş uzunluğu yani inseam uzunluğu değerinin dağ bisikleti kullanan bisikletçinin kadro boyununun elde edilmesi için 0.57 ile çarpılması gerekmektedir, trekking bisiklet için sporcunun inseam uzunluk değerinin 0.63 ile çarpılması gerekmektedir ve yol bisikleti için sporcunun inseam uzunluğunu 0.66 ile çarpım sonucu elde edilmektedir. Eğer değer inç cinsinden alınacaksa bulunan çarpım sonucu 2,54’e bölünmelidir. Çıkan sonuç kullanılması gereken kadronun boyutunu temsil etmektedir.

Sporcunun inseam uzunluğu ölçülerek denklem 6.32’ de görüldüğü üzere durma yüksekliği değeri bulunmaktadır. Ayrıca tablo 2.1’ de verilen genel ölçüt değerlerine ulaşmak için denklem 6.33’ de kullanılarak bisiklet türüne göre (dağ, tracking veya yol bisikleti) kadro boyu değerine ulaşılmaktadır.

$$\text{Durma Yüksekliği} = \text{Bacak Uzunluğu (inç \vee cm)} + (1'' - 3'') \vee 10\text{cm} \quad (6.32)$$

$$\text{Kadro Boyu} = \text{Inseam Uzunluğu} \times \frac{(\text{if mountain then } 0,57) \vee (\text{if tracking then } 0,63) \vee (\text{if road then } 0,66)\text{cm}}{2,54''} \quad (6.33)$$

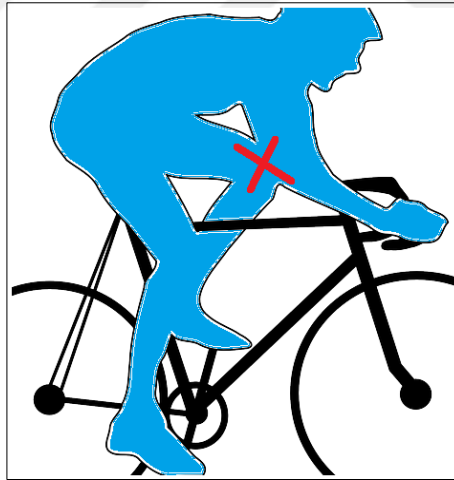
Bisiklet kadro tablo 2.1’ de verilmiştir. Tablo 2.1’ deki ölçüler, bisiklet tiplerine ve markalara göre değişebilmektedir. Hesaplamalar ve ölçüler yaklaşık birimlerdir. Sporcunun kullandığı bisikletin kendine has özellikleri, sporcunun antropometrik ölçümleri ve bisikleti sürüş

tarzına ve tekniğine göre değerlendirilmelidir. Tablo 6.1’ de çocuk bisikleti kadro boyutları verilmiştir.

Tablo 6.1. Çocuk bisikleti için kadro seçim tablosu [67].

YAŞ	BACAĞ İÇ BOYU	BOY	JANT EBATİ
2 – 4	14" Altı, 3 Teker veya Denge Bisikleti		
3 – 5	< 48 cm	90 – 110 cm	14"
4 – 6	48 – 53 cm	100 – 120 cm	16"
5 – 8	53 – 60 cm	120 – 135 cm	20"
7 – 12	60 – 70 cm	130 – 155 cm	24"
12 Üstü	> 70 cm	-	24" ve Üzeri

Yanlış yapılan kadro seçimleri bisikletçi için sorun teşkil etmektedir. Yapılan hatalar büyük kadro seçimi veya küçük kadro seçimi ve beden – kadro boyu orantısızlığı örnek gösterilebilir [67,68]. Şekil 6.9’ da bisikletçinin küçük kadro seçimindeki duruşu verilmiştir.



Şekil 6.9. Küçük kadro seçiminde yaşanan bisikletçi pozisyonu [67].

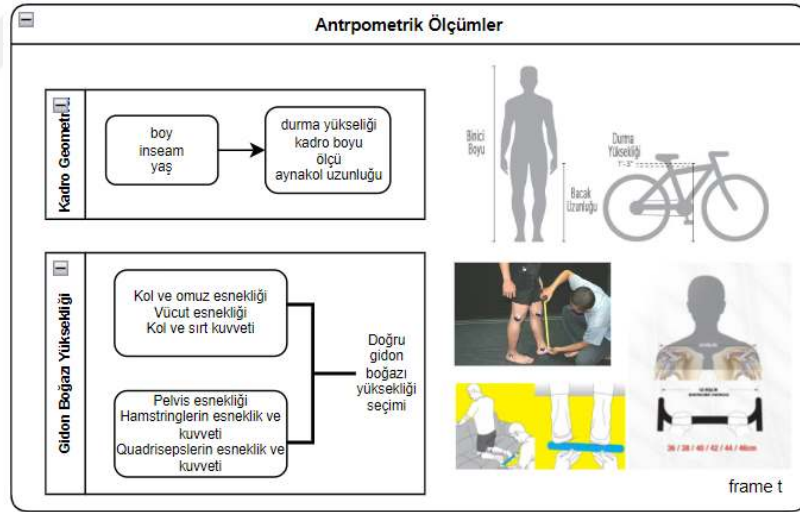
Bisiklet kadro seçimi kadro boyu ile sporcunun boy uzunluğu ile ilişkilidir. Bireysel farklılıklar da tam olarak burada statik yöntemlerin yetersizliğini ortaya koymaktadır. Boy uzunluğu aynı olan iki kişi arasındaki inseam uzunluk değeri farklı olabilmektedir [67]. Bu nedenle doğru kadro boyu seçimi için statik yöntemler ile birlikte dinamik yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Şekil 6.10’ da inseam uzunluğunun kapsadığı ölçüm değeri gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Inseam / bacak iç boyu / iç dikiş uzunluğu gösterimi [69].

6.2.1. Antropometrik Ölçümler

Doğru pozisyon, yaş, sürüş tarzı, esneklik ve anatomik varyantlar gibi fiziksel özellik faktörlerine bağlı olarak kişiden kişiye değişir. Çalışmada antropometrik ölçümler için işlenilecek blok diyagramı şekil 6.11’ de verilmiştir.

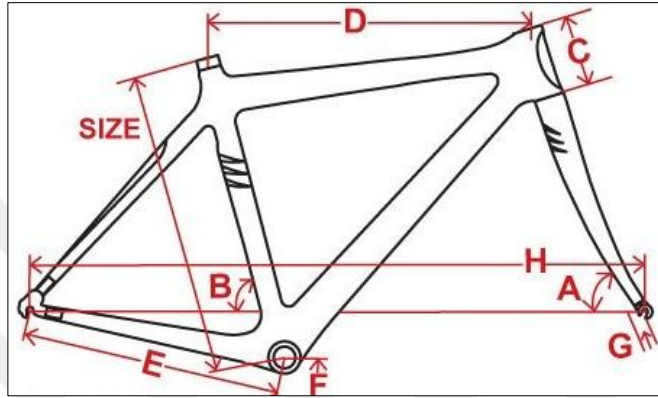


Şekil 6.11. Antropometrik ölçüm adımı.

Statik yöntemler de ölçüm için temelde iki araç kullanılır bunlar angle iron tool yani boyutları ve uzunluğu ayarlanabilen bir açıölçerdir ve diz fleksiyon açısını ölçmek için kullanılmaktadır. Diğer statik yöntemlerde kullanılan araç ise plumb bob adlı ucunda ağırlık olan bir ip şeklinde diz kapağı hizasından sarkıtılarak selenin önde veya arkada duruş pozisyonunu belirlemek için kullanılmaktadır.

6.2.2. Optimal Açısal Değer Aralıklarının Belirlenmesi

Sporcunun kullanım amacına istinaden elde etmiş olduğu bisikletinin kadro geometrisi olarak adlandırılan parçalarının uzunlukları ve o parçaların birbirleriyle elde edilen açısal değerleri temel alınarak optimal açısal aralık değerleri belirlenmektedir. Elde edilen uzunluk veya açısal değerler sporcunun postüne etki edeceğinden bisiklet sürüşünü gerçekleştirdiği sırada verdiği tepkileri de belirlemektedir. Şekil 6.12’ de ölçüler ve harflendirmeleri verilmiştir. Harflendirmeleri verilen kadro geometrisinin ölçüm değerleri tablo 6.2’ de verilmiştir.



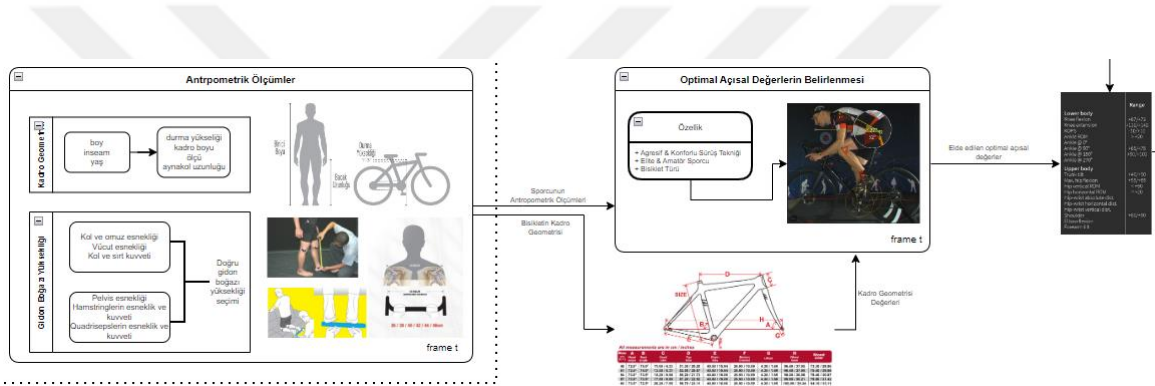
Şekil 6.12. Kadro geometrisi ölçüm noktaları

Tablo 6.2. Kadro geometrisi ölçüm değerleri

Size(cm)	A	B	C (cm/inç)	D (cm/inç)	E (cm/inç)	F (cm/inç)	G (cm/inç)	H (cm/inç)	Stand Over
Oturma borusu (Seat Tube)	Alın borusu açısı (Head Tube Angle)	Sele borusu açısı - Arka boru açısı (Seat Tube Angle)	Alın Borusu (Head Tube)	Üst boru (Top Tube Horizontal)	Çeki borusu ya da zincir borusu (Chain Stay)	Kadronun (orta milin) yerden yüksekliği – Alt veya orta göbek yüksekliği (Bottom Bracket)	Çatal Eğimi – Ofset (Fork Rake – Offset)	Tekerlek mesafesi- Aks Uzunluğu (Wheelbase)	
48	72.0°	75.0°	11.00 - 4.33	51.30 – 20.20	40.50 – 15.94	26.90 – 10.59	4.30 – 1.69	96.40 – 37.95	73.30 – 28.86
51	72.5°	74.0°	13.50 – 5.31	52.50 – 20.67	40.50 – 15.94	26.90 – 10.59	4.30 – 1.69	96.40 – 37.95	75.40 – 29.68
54	73.0°	73.5°	15.20 – 5.98	55.20 – 21.73	40.80 – 16.06	26.90 – 10.59	4.30 – 1.69	98.00 – 38.58	78.40 – 30.87
57	73.5°	73.5°	17.50 – 6.89	57.20 – 22.52	40.80 – 16.06	26.90 – 10.59	4.30 – 1.69	99.60 – 39.21	79.80 – 31.42
60	73.5°	72.5°	20.20 – 7.95	58.70 – 23.11	40.80 – 16.06	26.90 – 10.59	4.30 – 1.69	100.00 – 39.34	84.10 – 33.11

Özetle;

- Tur bisikletleri gevşek bir başlık açısına sahiptir ve böylece eklenen yük altında dengeli bir sürüş sağlanmaktadır.
- Dağ bisikletinde, 62° (gevşek) ile 73° (dik) arasında herhangi bir yerde olacaktır.
- Arazi bisikletleri daha dik kafa açılarına sahipken, yokuş aşağı bisikletler daha gevşek kafa açılarına sahiptir.
- Head Tube daha uzun seçildiğinde sürücünün pozisyonu dikleşmektedir ve daha rahat bir sürüş ortaya çıkmaktadır.
- Uzun mesafelerde kullanım için uzun zincir maşası seçimi pedal çevrildiğinde yan çatlara sürücünün topuğun değmemesi için yeterince boşluk mesafesi bırakılmıştır. Daha uzun zincir maşası genel dingil mesafesini de arttırmaktadır



Şekil 6.13. Optimal açısal değer aralıkları aşaması.

Kadro geometrisi çıktısı olarak elde edilen uzunluk ve açısal değerler ile sporcunun antropometrik ölçümlerine göre elde edilmiş açısal değerlerin sonucudur. Şekil 6.13’ de verildiği üzere sporcunun benimsediği (agresif & konforlu) sürüş tekniği, sporcunun türü (elite & amatör) ve bisiklet türüne göre optimal açısal değerlerin çıkarımı yapılmaktadır.

6.3. Optimizasyon İçin Farklılık Çıkarımı

Kinematik analiz sonucu elde edilen 2D markerların gerçek zamanlı açısal değerleri ile literatüre geçen optimal açısal aralık değerleri arasındaki $\pm$ farklılık çıkarımı işlemi yapılmaktadır.

6.4. Bike Fit

Doğru bir pozisyonda bisiklet sürmek, bisiklet üzerindeki deneyiminizi mükemmelleştirmekle beraber, sizi sakatlıklardan korur. Ayrıca daha efektif bisiklet sürmenizi sağlayarak, gelişiminize katkıda bulunur. Bisikletinizin ergonomisini, bisikletçinin anatomisiyle

buluşturmak için bike fit hizmeti doğru bir çözüm niteliğindedir [19,70]. Dahası bisiklet üzerinde geçirdiğiniz zamanı artırarak, bisikletçiyi bir sonraki seviyeye taşımaya yardımcı olur.

Bike fit uygulamasını şehir bisikletinden dağ, yol, triatlon ve zamana karşı konseptinde üretilmiş bisiklet sahipleri faydalanabilir. Kısacası bisiklet ile haşır neşir olmuş neredeyse bütün kullanıcılara cevap veren bir uygulamadır. Amatör veya profesyonel her bisikletçinin ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılır. Bike fit, bisiklet ergonomisini bisikletçi anatomisiyle birleştirerek bisiklet deneyimini mükemmel düzeye getirerek bisikletçiyi sakatlıklardan korumaya yardımcı olmaktadır.

Bike fit hareket yakalama teknolojisi kullanılarak vücut açılarının tespiti ve bisikletçinin antropometrik değerleri ışığında bisiklette nasıl bir konumlandırma yapılacağına ışık tutmaktadır. Daha agresif veya daha konforlu bir sürüş ve daha az aero-dinamik bir pozisyon için farklı ayarlamalar gerekmektedir yani bisikletçinin beklentileri ve hedeflerini karşılayacak en uygun pozisyon belirleme işlemidir. Aynı zamanda bike fit uygulaması yapılan bisikletlerde bisikletçinin yaşadığı sakatlanma ve ağrıların doğrultusunda işlem yapılır böylece bisikletçinin yaşadığı sıkıntılar giderilir. Örneğin bisikletçinin sol tibia kemiğinin (kaval kemiği) sağ taraftakinden yaklaşık 4mm daha uzun olduğunun keşfedilmesinin ardından sorunun özel bir çözümü, sağ ayakkabısının altına destek olarak konulan eklentiler sayesinde çözülmüştür. Sadece bu örnek bile detayların bütüne ne kadar etki ettiğini göstermektedir veya bisikletçinin omuzunda ve ellerinde olan sıkışmaların çözümü için bisikletin gidon yüksekliği uygun ölçülerde aşağıya indirilerek çözüm sağlanabilmektedir. Bike fit öncesi şekil 6.14’ de kişinin bisiklet duruşu verilmiştir.



Şekil 6.14. Bike Fit yapılmayan bisikletçi duruşu [19].

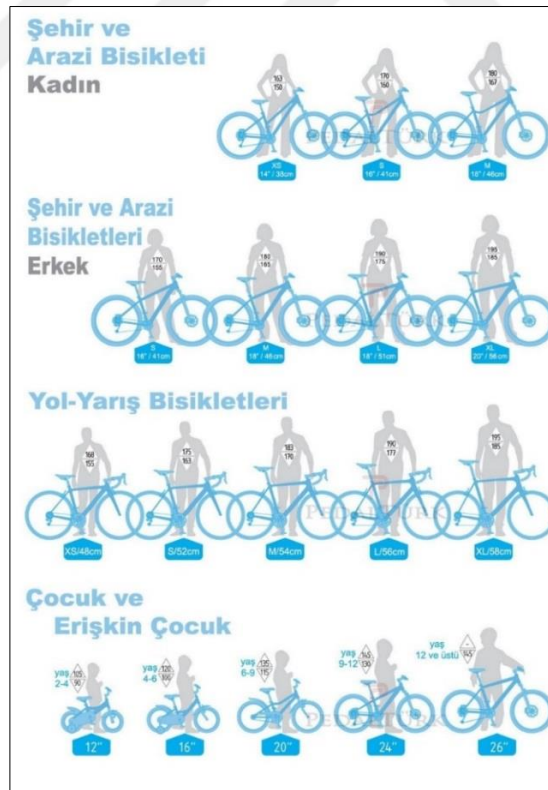
Bike fit uygulaması yapıldıktan sonra bisikletçinin pozisyon alışı ve bisiklet üzerindeki duruşu şekil 6.15’ de verilmiştir. Kullanılan sistem inersiyal tabanlı algılayıcı kullanılarak hareket

yakalama teknolojisiyle bike fit süreci verilmiştir [19,71]. Bisikletçinin pozisyonunun bisiklet üzerinde gözle görülür bir düzelme sağladığı görülmektedir.



Şekil 6.15. Bike Fit yapılan bisikletçi duruşu [19].

Uygun kadro boyunu öğrenmek için şekil 6.16’ da bakılabilir.



Şekil 6.16. Şehir ve arazi bisikletleri (kadın – erkek), yol yarış bisikletleri ve çocuk – erişkin çocuk kadro boyutları [72].

Şekil 6.17’ da kask beden ölçüsü, kask bedeninin ölçüm yeri ve "Shimano" markasının ayakkabı beden ölçüsü örnek olarak verilmiştir [72].



Şekil 6.17. Kask beden ölçüsü ve ayakkabı beden ölçüsü [72].

Şekil 6.17. 'de verilen ölçüler ortalama ölçülerdir.



Şekil 6.18. Bisikletin bisikletçi ile temas noktaları [73].

Şekil 6.18’ de görüldüğü üzere bisikletin temas noktaları verilmiştir. Bisikletin temas noktalarından bike fit uygulamasını 3 aşamaya bölünebilmektedir. Bunlar şekil 6.19’ da gösterildiği üzere kallerin ayarlanması, selenin ayarlanması ve kokpitin ayarlanma süreçleridir.



Şekil 6.19. Temas noktalarının 3 bike fit aşaması [73].

Sporcunun ayak bölgesi için yapılabilecek bike fit işlemleri kallerin ayarlanmasıdır. Kal ayarları için yapılabilecek uygulamalar;

- Kallerin ileri-geri hareketi,
- Kallerin iç-dış (medial-lateral) ayarları,
- Kaydırmaların yetmediği durumlarda ise pedal pulu ekleme işlemi,
- Kemiklerin iç bükey- dış bükey olma sorunu için yataysallık ayarı,
- Kallerin rotasyon ayarı,
- Kal yükseltme adaptörlerinin kullanımı,
- Aynakol uzunluklarının belirlenmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Sporcunun sele bölgesi ve sele pozisyonunun ayarlanması diğer bike fit alanlarından biridir. Sele bölgesi için yapılabilecek uygulamalar;

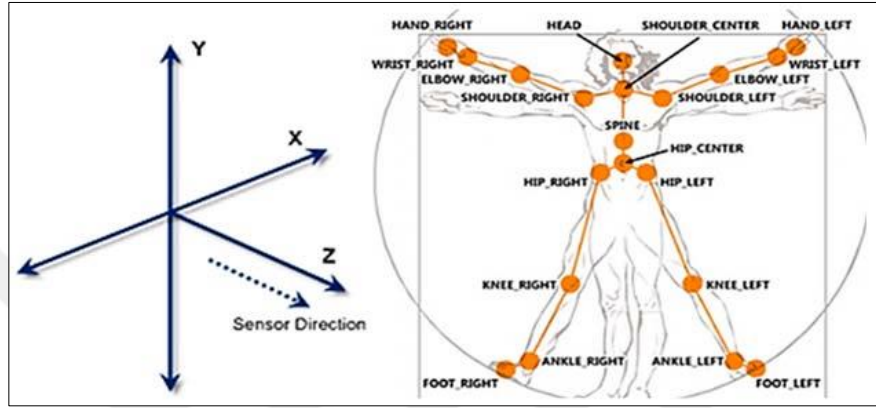
- Sele seçiminin sporcuya uygun olarak belirlenmesi,
- Sele yüksekliği,
- Selenin ileri-geri hareketi,
- Sele burnunun aşağı-yukarı ayarı işlemleri gerçekleştirilmelidir.

Gidon ve el pozisyonlarının ayarlanması ise diğer bike fit alanıdır. El segmenti için yapılabilecek uygulamalar;

- Gidon pozisyonunun sporcuya uygun belirlenmesi,
- Gidon genişliğinin belirlenmesi,
- Gidon rotasyonu, tutuş ayarı ve gidon yüksekliğinin belirlenme işlemleri gerçekleştirilmelidir.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Materyal ve metot bölümünde anlatılan dinamik yöntemin sporcuların performans analizi için oluşturulan sistemin çıktıları bu bölümde anlatılacaktır. Dinamik yöntemde marker lokalizasyonu sonucu yerleştirilen her bir marker değeri vücut segmentinde bir bölümü işaret etmektedir. Sistemde kullanılan 24 pasif marker kullanılmıştır.



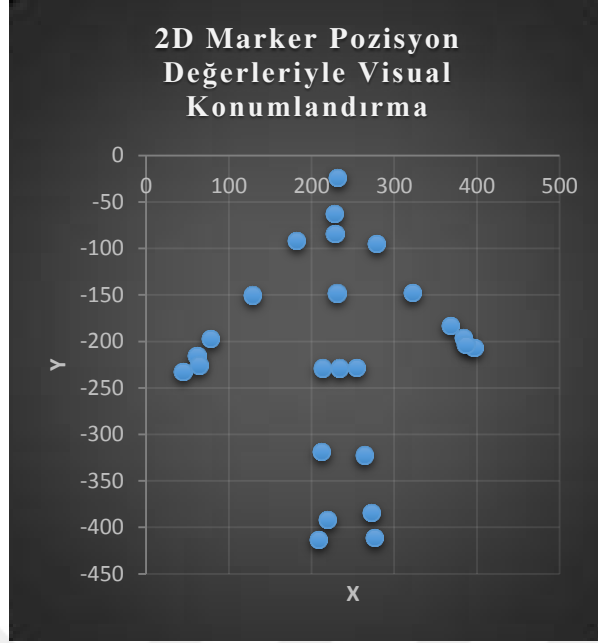
Şekil 7.1. Marker noktaları [75].

Şekil 7.1’ de görüldüğü üzere vücut segmentinde ki karşılıkları ise sırasıyla; head (baş), neck (boyun), spine mid (omurga ortası), spine shoulder (omurga omuz hizası), shoulder left/right (sol/sağ omuz çıkıntısı), elbow left/right (sol/sağ dirsek), wrist left/right (sol/sağ el bileği), thumb left/right (sol/sağ başparmak) hip left/right (sol/sağ kalça çıkıntısı), knee left/right (sol/sağ diz), ankle left/right (sol/sağ ayak bileği) ve foot left/right (sol/sağ ayak çıkıntısı)dır. Hareket yakalama teknolojisiyle elde edilen gerçek zamanlı 2D marker pozisyonlarının çıktıları Tablo 7.1’ de verilmiştir. Bu veriler vücut üzerinden alınan milisaniyelik marker pozisyon verileridir.

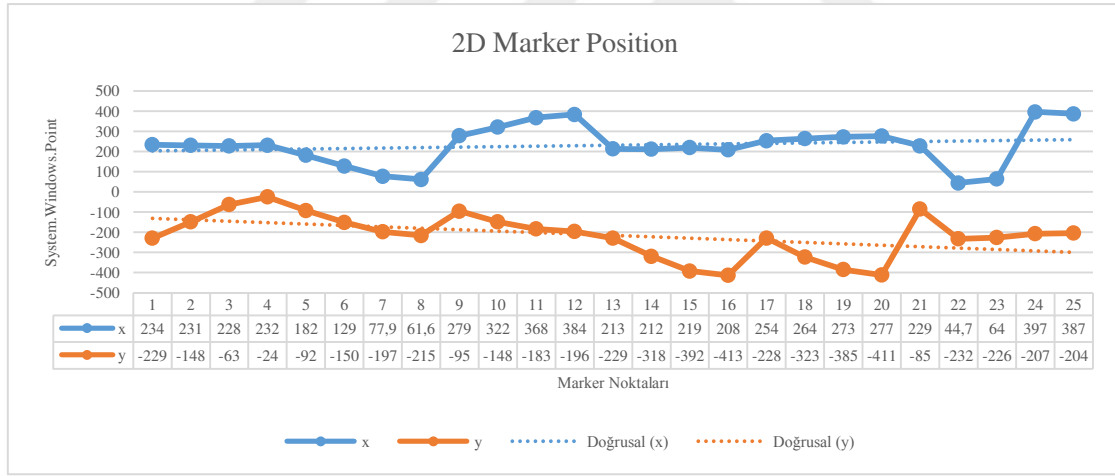
Tablo 7.1. Markerların 2D pozisyon dataları.

Marker Sayısı	Marker Segmenti ve Konum Değeri	Konum Türü = (System.Collections.Generic.KeyValuePair<Microsoft.Kinect.JointType, System.Windows.Point>
[1]	{{SpineMid, {230,942260742188;148,164459228516}}}	
[2]	{{Neck, {227,79963684082;62,9196472167969}}}	
[3]	{{Head, {231,703216552734;24,1621856689453}}}	
[4]	{{ShoulderLeft, {181,892379760742;91,9414901733398}}}	
[5]	{{ElbowLeft, {128,82048034668;150,48176574707}}}	
[6]	{{WristLeft, {77,8733978271484;197,030380249023}}}	
[7]	{{HandLeft, {61,60009765625;215,384628295898}}}	
[8]	{{ShoulderRight, {278,567474365234;94,9214553833008}}}	
[9]	{{ElbowRight, {321,613739013672;147,992553710938}}}	
[10]	{{WristRight, {368,300964355469;183,069854736328}}}	
[11]	{{HandRight, {384,198913574219;195,663269042969}}}	
[12]	{{HipLeft, {213,264007568359;229,015213012695}}}	
[13]	{{KneeLeft, {212,194473266602;318,397277832031}}}	
[14]	{{AnkleLeft, {219,422943115234;391,666137695313}}}	
[15]	{{FootLeft, {208,313415527344;412,929595947266}}}	
[16]	{{HipRight, {254,184936523438;228,499206542969}}}	
[17]	{{KneeRight, {263,855895996094;322,599487304688}}}	
[18]	{{AnkleRight, {272,854705810547;384,503662109375}}}	
[19]	{{FootRight, {276,561706542969;411,363891601563}}}	
[20]	{{SpineShoulder, {228,589660644531;84,6432876586914}}}	
[21]	{{HandTipLeft, {44,6664276123047;232,277191162109}}}	
[22]	{{ThumbLeft, {63,972412109375;225,630477905273}}}	
[23]	{{HandTipRight, {396,521789550781;206,602752685547}}}	
[24]	{{ThumbRight, {386,910949707031;203,625381469727}}}	

Elde edilen 2D marker pozisyon datalarının kullanılarak visual konumlandırma işlemi yapılmaktadır. Şekil 7.2’ de visual konumlandırma verilmiştir ve şekil 7.3’ de diyagram verilerinin gösterimi sağlanmıştır.



Şekil 7.2. 2D Marker Pozisyon Değerleriyle Visual Konumlandırması.



Şekil 7.3. Hareket yakalama teknolojisi 2D marker pozisyon çıktı diyagramı.

Popülasyon sayısı 30 kişidir. Bu kişilerin 15'i erkek ve 15'i kadındır. Popülasyon sayısı kadar alınan gerçek zamanlı pozisyon değerleri Tablo 7.2 ve Tablo 7.3' de verilmiştir.

Tablo 7.2. Çoklu Gerçek Zamanlı Pozisyon Veri Tablosu

C	SBP	SMP	NP	HP	SLP	ELP	WLP	HLP	SRP	ERP	WRP
K	231,872;2 18,189	230,942;1 48,164	227,799;6 2,919	231,703;2 4,162	181,892;9 1,941	128,820;1 50,481	77,873;19 7,030	61,600;21 5,384	278,567;9 4,921	321,613;1 47,992	368,300;1 83,069
K	336,626;2 10,992	342,200;1 50,015	347,950;8 7,889	357,429;5 8,841	306,969;1 08,655	269,994;1 46,182	236,835;1 71,629	228,352;1 80,514	389,779;1 14,868	423,169;1 52,383	461,902;1 78,396
E	232,335;2 24,239	231,850;1 58,278	231,242;8 8,225	227,323;5 0,036	188,740;1 11,460	158,363;1 57,269	120,376;1 90,019	104,744;2 04,784	273,570;1 08,724	307,485;1 56,211	344,024;1 87,433
E	321,010;2 04,009	326,347;1 41,536	331,986;7 4,798	330,689;3 6,917	289,062;9 5,802	263,394;1 34,847	224,793;1 42,615	212,725;1 45,020	370,804;9 4,893	405,596;1 44,005	438,212;1 81,759
K	298,090;2 22,973	301,996;1 57,154	306,094;9 0,139	309,377;5 6,425	264,673;1 14,445	231,209;1 60,646	196,819;1 93,358	189,057;2 07,077	346,151;1 18,824	377,631;1 65,422	414,249;1 97,925
K	262,734;1 98,961	265,570;1 41,758	268,521;8 2,401	268,583;5 4,602	234,589;1 06,247	221,737;1 47,853	191,612;1 73,468	185,694;1 86,970	299,551;1 03,965	326,908;1 28,975	346,374;1 59,664
K	263,620;2 39,787	264,137;1 78,912	264,667;1 19,319	267,542;8 9,280	231,323;1 41,199	206,604;1 85,216	185,746;2 23,617	183,068;2 35,905	300,077;1 42,462	321,768;1 87,428	346,655;2 22,528
K	219,066;2 12,685	219,518;1 54,638	219,895;9 3,820	219,649;6 5,093	185,410;1 16,968	166,024;1 65,615	153,569;2 08,872	153,017;2 14,440	253,432;1 17,984	265,964;1 69,641	266,264;2 13,330
K	257,401;2 27,346	260,108;1 67,966	262,891;1 06,929	266,610;7 8,397	229,865;1 30,125	210,735;1 72,087	198,690;2 21,875	197,995;2 30,745	296,052;1 30,518	313,207;1 77,897	326,210;2 15,546
K	276,325;2 11,730	274,338;1 56,017	272,287;9 7,177	272,115;6 8,693	238,673;1 20,888	228,060;1 69,905	224,596;2 13,053	227,349;2 20,414	304,302;1 19,561	322,299;1 68,604	332,564;2 09,001
E	308,142;1 94,403	311,349;1 35,715	314,750;7 4,124	319,642;4 5,115	281,553;9 4,795	265,469;1 27,115	246,002;1 57,948	232,351;1 91,293	349,230;9 6,069	366,426;1 25,923	356,607;1 54,798
E	287,239;1 93,941	289,773;1 33,602	292,404;7 1,648	297,002;4 2,183	255,881;9 0,244	214,381;1 17,330	181,194;1 38,394	166,561;1 51,193	328,785;9 1,371	362,767;1 23,144	395,808;1 45,395
E	259,182;2 02,887	257,413;1 41,890	255,422;7 3,101	262,076;4 5,885	220,945;8 8,7186	184,879;9 7,845	140,070;9 3,389	122,897;9 5,652	295,214;9 0,414	334,181;1 09,251	385,763;1 13,880
E	252,923;1 87,478	260,980;1 32,113	269,826;7 1,269	273,750;4 1,393	234,584;8 3,902	184,834;8 4,180	131,741;7 9,687	111,463;7 9,036	295,279;9 5,562	281,410;1 39,740	228,393;1 17,701
E	317,918;1 99,186	322,624;1 39,117	327,730;7 4,433	332,514;4 4,678	289,326;9 1,469	284,335;1 72,659	272,113;9 4,285	276,135;7 7,683	363,633;8 9,696	407,404;1 21,952	460,688;1 41,011
E	313,461;1 92,652	317,573;1 33,602	321,929;7 1,329	326,344;4 2,279	284,794;8 1,709	254,666;6 0,298	269,825;1 11,661	281,613;1 25,885	359,265;8 4,352	392,033;9 0,8720	380,094;1 41,745
E	321,127;1 94,278	329,266;1 34,006	337,953;6 9,554	343,497;3 9,163	299,361;8 5,792	294,405;1 48,504	288,694;2 05,509	292,110;2 04,708	372,640;9 1,7210	365,335;1 54,830	372,907;2 09,482
E	335,553;2 01,502	340,902;1 42,328	346,555;8 0,047	352,172;5 0,1484	310,964;9 8,5272	279,937;1 12,842	242,490;1 10,418	227,229;1 08,306	381,890;1 02,191	420,980;1 18,350	468,653;1 21,104
E	314,572;1 95,219	320,348;1 36,676	326,536;7 4,2054	329,638;4 4,404	288,965;9 3,402	260,922;1 19,923	280,624;8 6,626	291,696;8 3,331	360,539;9 4,338	386,620;1 21,745	427,956;1 56,150
E	317,385;2 06,082	321,771;1 45,566	326,509;8 1,224	332,632;5 0,746	288,927;1 00,068	258,364;1 13,219	230,435;1 18,264	218,046;1 22,716	363,426;1 04,315	387,199;1 27,291	376,249;1 65,525
E	310,945;1 96,618	313,200;1 34,811	315,583;6 9,474	321,069;3 8,864	280,262;9 1,399	242,415;9 8,975	234,528;1 37,059	237,760;1 55,295	352,529;9 2,651	373,955;1 25,022	398,941;1 56,360
E	316,695;1 94,419	320,736;1 34,309	324,955;7 1,848	330,039;4 1,928	292,058;9 1,771	257,426;1 13,676	282,564;1 61,626	286,530;1 75,573	360,236;9 4,097	392,723;1 18,731	382,894;1 73,621
K	310,239;2 31,192	314,598;1 72,266	319,266;1 11,363	319,459;8 2,989	281,646;1 32,723	257,086;1 67,466	244,522;1 91,694	241,968;2 04,886	354,679;1 35,532	382,843;1 72,574	401,993;1 94,365
K	312,813;2 20,197	318,587;1 57,182	324,802;9 0,781	324,382;6 2,662	283,331;1 10,523	259,507;1 43,611	262,022;1 98,372	271,773;2 14,034	360,020;1 16,549	389,540;1 49,982	449,017;1 66,742
K	324,091;2 28,163	325,343;1 73,164	326,844;1 14,867	323,395;8 7,0183	289,626;1 36,823	273,378;1 63,162	277,096;2 00,426	288,369;2 11,408	360,735;1 33,947	377,720;1 63,257	371,930;2 01,869
K	325,030;2 22,203	329,378;1 65,167	334,147;1 04,576	336,108;7 5,831	296,497;1 24,825	256,953;1 47,288	229,190;1 59,556	215,374;1 67,876	370,698;1 29,231	390,321;1 57,588	389,599;2 01,162

C	SBP	SMP	NP	HP	SLP	ELP	WLP	HLP	SRP	ERP	WRP
K	327,951;2 11,640	330,294;1 58,026	333,073;9 7,176	334,636;6 6,691	294,282;1 18,271	259,473;1 30,393	258,919;1 42,526	268,972;1 52,433	368,477;1 21,220	403,733;1 33,279	399,343;1 51,531
K	319,865;2 16,562	316,554;1 70,966	325,344;1 56,363	331,205;9 3,270	331,933;6 5,780	290,873;1 13,289	261,634;1 46,981	265,533;2 04,922	365,138;1 19,932	394,463;1 55,710	380,842;2 16,515
K	312,113;2 27,876	316,554;1 70,966	321,386;1 11,026	320,348;8 3,140	283,962;1 30,691	255,258;1 61,601	262,150;2 16,954	273,121;2 45,066	355,718;1 33,599	383,130;1 68,711	443,147;1 93,122

*Cinsiyet = C

*SpineMid Point= SMP

*Neck Point = NP

*Head Pont = HP

*ShoulderLeft Point = SLP

*ElbowLeft Point = ELP

*WristLeft Point = WLP

*HandLeft Point = HLP

*ShoulderRight Point = SRP

*ElbowRight Point = ERP

*WristRight Point = WRP

Tablo 7.3. Çoklu Gerçek Zamanlı Pozisyon Veri Tablosu

C	HRP	HiLp	KLP	ALP	FLP	HiRP	KRP	ARP	FRP	SSP	HTL P	TLP	HTR P	TRP
K	384,1 98;19 5,663	213,2 64;22 9,015	212,1 94;31 8,397	219,4 22;39 1,666	208,3 13;41 2,929	254,1 84;22 8,499	263,8 55;32 2,599	272,8 54;38 4,503	276,5 61;41 1,363	228,5 89;84 643	44,66 6;232 277	63,97 2;225 630	396,5 21;20 6,602	386,9 10;20 3,625
K	467,4 30;18 7,727	318,0 25;20 9,313	315,7 58;26 1,232	314,9 24;30 4,269	316,0 82;32 2,333	355,4 81;21 2,694	352,5 87;26 9,024	347,6 49;32 1,248	350,1 71;33 9,807	346,5 21;10 3,508	213,9 96;19 4,805	230,1 75;18 8,914	481,1 84;20 6,181	471,9 85;20 3,182
E	360,2 63;20 3,000	213,6 44;22 4,873	212,0 71;29 3,507	216,7 56;35 5,291	206,4 70;37 4,612	250,9 57;22 3,614	252,7 20;29 7,568	257,9 82;35 7,613	267,1 64;37 5,203	231,3 97;10 6,146	88,83 3;220 412	105,6 37;21 6,760	375,7 62;21 5,006	362,2 40;21 0,562
E	447,0 04;19 4,132	303,7 67;20 3,195	299,1 07;25 6,296	311,4 96;30 5,896	309,0 73;29 0,714	338,6 70;20 4,834	338,8 23;26 1,326	336,7 51;31 2,814	345,2 06;29 9,737	330,5 75;91 860	212,7 25;14 5,020	212,7 58;14 5,305	458,3 38;20 3,328	445,9 84;20 0,864
K	423,2 74;21 1,328	280,2 52;22 1,565	270,3 08;28 8,635	259,2 34;35 2,801	253,8 08;36 9,483	316,1 14;22 4,399	319,6 83;28 8,120	324,1 14;35 4,202	330,7 65;37 3,461	305,0 65;10 7,005	181,8 15;22 2,180	186,3 01;21 4,151	430,0 59;22 3,400	422,4 80;21 7,018
K	345,4 40;17 2,920	248,6 80;19 9,377	234,6 99;25 6,076	230,4 17;30 5,811	229,4 76;31 7,853	276,8 06;19 8,542	286,3 66;25 4,830	282,8 36;29 4,374	282,5 56;28 0,005	267,7 74;97 436	181,4 16;20 0,749	192,2 51;19 5,748	350,6 02;18 7,800	344,3 75;17 8,373
K	349,2 69;23 6,419	247,8 35;24 0,066	232,9 56;31 6,599	236,8 61;33 5,322	229,0 50;35 1,521	279,2 20;23 9,522	288,8 31;31 7,388	280,1 25;33 6,207	285,6 53;35 3,408	264,5 35;13 4,126	181,9 34;25 1,604	187,7 12;23 8,754	351,3 02;25 3,253	353,1 44;24 0,692
K	265,6 54;21 9,912	204,3 08;21 3,097	192,7 82;26 2,791	211,5 29;31 8,459	207,9 94;34 0,326	233,5 90;21 2,281	246,0 80;26 4,093	253,7 77;32 5,475	259,6 09;34 3,733	219,7 98;10 9,296	152,1 66;22 7,633	159,0 02;21 7,938	263,9 01;23 3,700	259,2 22;21 7,103
K	326,2 75;22 9,032	242,7 57;22 8,107	222,7 97;29 2,801	220,5 95;33 5,431	226,6 96;31 3,778	271,9 23;22 6,597	279,3 39;29 2,581	271,2 46;34 0,699	273,1 34;31 9,156	262,1 87;12 2,365	197,6 89;24 4,537	205,9 65;22 9,175	326,1 08;24 0,825	327,7 64;23 0,855
K	330,3 21;21 9,054	262,3 05;21 1,867	240,2 45;26 4,921	235,0 20;30 6,505	233,1 99;33 1,556	290,3 24;21 1,594	292,0 97;25 1,849	288,9 86;30 1,089	289,2 01;31 9,958	272,8 10;11 2,199	228,8 34;22 9,052	234,8 46;22 2,386	328,3 29;22 5,995	327,1 85;21 7,586
E	344,6 15;16 5,538	293,7 05;19 4,058	281,5 60;25 4,488	282,1 11;31 4,691	283,4 73;33 7,422	322,6 49;19 4,748	317,5 41;24 2,158	316,6 26;28 4,984	327,9 90;30 4,503	313,8 98;89 775	230,1 83;20 3,667	235,8 22;19 1,279	346,5 58;18 6,648	344,3 33;17 4,999

C	HRP	HiLp	KLP	ALP	FLP	HiRP	KRP	ARP	FRP	SSP	HTL P	TLP	HTR P	TRP
E	410,8 72;15 8,103	271,0 94;19 3,974	266,7 87;25 0,348	273,5 67;29 1,647	275,2 15;31 0,747	303,4 22;19 3,905	299,5 97;26 1,569	295,5 60;31 6,780	295,5 56;34 0,803	291,7 48;87 ,2611	156,9 73;16 1,164	160,9 85;15 1,322	421,8 46;16 8,255	411,2 15;16 4,958
E	405,6 79;11 5,610	243,9 87;20 3,140	214,6 69;26 3,901	208,0 84;33 2,846	208,0 33;35 8,302	274,2 97;20 2,634	305,4 27;26 0,304	314,6 97;32 5,059	319,6 00;34 9,381	255,9 43;91 ,083	101,5 02;97 ,503	109,5 02;92 ,500	419,8 46;11 9,570	411,2 83;11 3,596
E	210,2 09;11 0,105	240,5 72;18 4,825	234,0 50;24 7,069	231,5 24;29 9,919	226,3 80;32 0,792	265,3 99;19 0,154	226,3 62;23 9,545	236,5 93;30 5,385	233,8 57;32 6,271	267,5 36;87 ,008	95,17 0;80, 773	109,2 68;77 ,405	210,2 09;11 0,105	210,2 09;11 0,105
E	467,9 22;15 5,430	302,1 47;19 9,497	271,5 27;26 2,434	275,5 69;31 2,127	275,8 66;33 4,263	333,7 77;19 8,871	348,2 37;26 4,726	340,3 56;29 9,566	348,1 90;32 4,608	326,4 38;91 ,029	275,3 33;71 ,666	268,6 71;73 ,826	478,5 71;16 7,284	464,2 90;15 5,763
E	376,0 96;15 8,555	297,2 90;19 2,078	273,4 38;24 8,953	269,8 16;30 5,805	275,2 28;32 9,711	329,7 02;19 3,225	340,8 84;25 1,677	338,0 73;29 3,369	331,7 48;27 5,041	320,8 37;87 ,176	279,9 17;14 0,770	285,5 25;11 9,628	376,0 96;15 8,555	376,0 96;15 8,555
E	363,9 99;21 7,202	305,7 92;19 2,746	281,5 83;25 6,682	275,7 34;33 7,126	287,2 13;35 0,456	336,5 44;19 5,816	343,0 57;26 0,322	340,2 10;31 7,082	359,9 54;33 6,828	335,7 58;86 ,032	296,4 96;20 6,001	298,3 33;20 2,668	363,6 46;22 0,895	363,6 65;21 7,670
E	481,9 79;12 1,126	320,6 94;20 0,216	294,7 72;25 9,928	286,1 16;32 4,816	296,1 81;30 7,657	350,5 52;20 2,799	370,7 41;26 7,156	366,0 33;32 2,096	382,4 37;33 7,193	345,1 39;95 ,889	215,0 01;10 7,169	219,4 70;10 8,389	500,4 02;12 4,403	490,7 61;12 2,888
E	443,2 41;17 2,828	299,4 93;19 4,798	282,0 61;25 1,893	282,5 82;29 4,974	282,6 96;31 3,203	329,7 30;19 5,639	333,7 68;25 5,025	328,4 70;29 1,403	341,5 13;31 1,409	324,9 71;90 ,1769	302,7 62;78 ,8349	284,7 61;77 ,2782	452,2 81;18 5,836	439,1 83;17 7,613
E	356,3 23;16 6,903	301,6 47;20 4,935	281,3 81;26 8,223	286,8 25;30 3,632	286,6 09;31 0,554	333,2 45;20 7,238	350,3 68;27 3,087	339,9 36;30 4,682	335,6 45;31 1,045	325,3 12;97 ,664	202,6 99;13 0,199	225,8 34;12 2,666	355,9 99;17 4,003	356,6 58;17 5,500
E	399,6 99;15 0,501	295,5 59;19 6,329	276,9 10;25 5,203	286,0 45;28 7,345	283,8 81;31 2,136	326,4 58;19 6,906	331,5 14;25 7,713	324,2 17;28 5,535	329,3 02;30 0,813	314,9 92;86 ,1166	237,7 62;15 5,295	237,7 60;15 5,295	399,6 54;15 1,612	399,6 48;15 0,501
E	379,7 10;19 1,350	302,1 70;19 3,796	275,7 32;24 9,422	288,4 93;28 2,008	294,5 11;30 0,706	331,2 65;19 5,042	347,8 07;25 3,114	331,2 94;27 3,681	325,6 99;29 6,986	323,9 05;87 ,653	288,0 66;18 2,465	293,1 54;17 1,811	379,7 10;19 1,350	379,7 10;19 1,350
K	409,5 97;20 5,717	294,5 56;22 9,937	277,4 85;29 3,731	283,6 03;31 7,222	281,2 83;34 2,206	326,1 54;23 2,469	351,3 95;29 6,890	347,5 80;32 7,716	344,4 14;35 1,111	318,0 79;12 6,793	243,9 06;21 1,021	234,2 37;20 5,344	414,8 02;21 2,200	419,6 01;20 2,728
K	468,5 68;17 7,118	296,8 23;21 7,914	248,8 57;25 7,443	285,4 61;30 2,106	278,3 74;31 7,387	329,0 00;22 2,509	331,7 28;28 3,980	329,0 76;35 4,045	331,6 26;37 9,115	323,2 24;10 7,705	271,6 14;23 0,121	276,0 03;21 8,837	482,0 94;19 2,383	473,3 41;17 7,188
K	361,0 45;21 3,611	309,0 25;22 8,052	277,5 71;28 1,553	288,9 65;30 4,746	286,1 35;32 4,371	339,3 96;22 8,279	365,2 39;28 8,948	353,2 02;31 7,605	354,2 38;33 7,259	326,4 54;12 9,779	287,6 60;22 6,000	291,6 16;21 0,901	361,1 12;22 8,903	355,3 46;20 6,217
K	372,9 99;21 8,497	309,5 91;22 0,529	279,5 16;27 8,509	283,2 06;31 6,823	280,9 62;33 1,801	340,7 04;22 3,905	359,5 42;29 0,743	351,7 85;34 4,247	368,3 23;35 4,148	332,9 28;12 0,077	208,8 56;17 5,834	218,3 73;17 3,669	373,3 56;22 0,678	373,8 68;21 9,954
K	405,2 60;15	313,2 48;21	292,5 65;25	286,3 50;32	280,0 00;34	342,8 96;21	345,1 97;26	346,4 04;33	365,7 59;35	332,3 48;11	277,1 27;16	263,3 53;15	403,2 06;16	404,6 51;16

C	HRP	HiLP	KLP	ALP	FLP	HiRP	KRP	ARP	FRP	SSP	HTLP	TLP	HTRP	TRP
	4,852	0,499	9,329	9,127	9,739	2,799	9,175	8,398	1,811	3,141	1,789	7,595	4,007	5,098
K	364,6	304,3	295,6	287,8	285,4	335,5	344,3	345,1	349,6	329,7	281,2	281,1	376,5	376,5
	58;22	59;21	66;30	73;29	76;32	94;21	94;28	55;34	23;36	21;10	35;22	45;22	52;23	52;23
	8,972	4,210	7,081	8,887	6,767	8,948	3,829	5,543	6,857	9,317	0,146	0,631	5,826	5,826
K	463,2	297,0	270,3	268,0	263,5	327,4	354,5	353,8	353,0	320,1	271,9	272,4	481,8	464,2
	52;20	50;22	72;29	05;35	22;37	25;22	96;29	98;35	80;37	49;12	97;25	99;25	92;21	72;21
	4,665	6,438	0,018	5,212	7,277	9,341	6,489	5,452	9,784	6,319	1,499	2,134	6,156	1,219

*HandRight Point = HRP

*HipLeft Point = HiLP

*KneeLeft Point = KLP

*AnkleLeft Point = ALP

*FootLeft Point = FLP

*HipRight Point = HiRP

*KneeRight Point = KRP

*AnkleRight Point = ARP

*FootRight Point = FRP

*SpineShoulder Point = SSP

*HandTipLeft Point = HTLP

*ThumbLeft Point = TLP

*HandTipRight Point = HTRP

*ThumbRight Point = TRP

Tablo 7.4. Kinematik analiz çıktı tablosu.

Opti mal Açı Adı (Left/ Right)	İlgili Pozisyon Segment Noktaları (Point)	Vector Noktaları (Point)	Scaler	Vector Length	Radians	Angle	
	Marker noktası	startToSecondPoint					
		startToThirdPoint					
							İlgili marker noktası 1
Left Shoul der angle	{ 181,892379760742; 91,9414901733398 }	{ - 53,071899414062;58, 5402755737302 }	15672,03 01615094	25923,77 14972101	0,921604 507	52,80404 862	
	{ 128,82048034668;1 50,48176574707 }						
	{ 60,4014739990236; 322,472877502441 }						
	{ 242,293853759766; 414,414367675781 }						
Left Elbow angle	{ 128,82048034668;1 50,48176574707 }	{ 53,071899414062;- 58,5402755737302 }	- 5428,827 15943616	5452,920 50010808	3,047553 445	174,6119 503	
	{ 181,892379760742; 91,9414901733398 }						
	{ - 50,9470825195316;4 6,548614501953 }						
	{ 77,8733978271484; 197,030380249023 }						
Left Hip angle	{ 213,264007568359; 229,015213012695 }	{ -31,371627807617;- 137,073722839355 }	- 12218,37 93478127	12569,61 50796454	2,904635 473	166,4233 536	
	{ 181,892379760742; 91,9414901733398 }						
	{ - 1,06953430175702;8 9,382064819336 }						
	{ 212,194473266602; 318,397277832031 }						
Left Knee	{ 212,194473266602; 318,397277832031 }	{ 1,06953430175702;-	- 6541,190 885	6581,186 763	3,031288 797	173,6800 545	

Opti mal angle	İlgili Pozisyon Segment Noktaları	Vector Noktaları (Point)	Scaler	Vector Length	Radians	Angle
	{213,264007568359; 229,015213012695}	89,382064819336}				
	{219,422943115234; 391,666137695313}	{7,22846984863202; 73,268859863282}				
Left Ankle angle	{219,422943115234; 391,666137695313}	{- 7,22846984863202;- 73,268859863282}	- 1477,644 45766948	1766,308 80550903	2,561792 186	146,7798 802
	{212,194473266602; 318,397277832031}	{- 11,10952758789;21,2 63458251953}				
	{208,313415527344; 412,929595947266}					
Right Shoul der angle	{278,567474365234; 94,9214553833008}	{43,046264648438;5 3,0710983276372}	17208,08 23753162	21445,08 16734309	0,639447 488	36,63764 231
	{321,613739013672; 147,992553710938}	{13,1858520507816; 313,550712585449}				
	{291,753326416016; 408,47216796875}					
Right Elbow angle	{321,613739013672; 147,992553710938}	{-43,046264648438;- 53,0710983276372}	- 3871,301 54955086	3990,439 0612935	2,896621 246	165,9641 722
	{278,567474365234; 94,9214553833008}	{46,687225341797;3 5,07730102539}				
	{368,300964355469; 183,069854736328}					
Right Hip angle	{254,184936523438; 228,499206542969}	{24,382537841796;- 133,577751159668}	- 12333,90 13523353	12844,69 37945214	2,858632 574	163,7875 817
	{278,567474365234; 94,9214553833008}	{9,67095947265597; 94,100280761719}				
	{263,855895996094; 322,599487304688}					
Right Knee angle	{263,855895996094; 322,599487304688}	{- 9,67095947265597;- 94,100280761719}	- 5912,227 35446129	5917,431 42890731	3,099650 38041106	177,5968 84763674
	{254,184936523438; 228,499206542969}	{8,99880981445301; 61,904174804687}				
	{272,854705810547; 384,503662109375}					
Right Ankle angle	{272,854705810547; 384,503662109375}	{- 8,99880981445301;- 61,904174804687}	- 1696,118 93635152	1696,163 03766734	3,134381 447	179,5868 283
	{263,855895996094; 322,599487304688}	{3,70700073242199; 26,860229492188}				
	{276,561706542969; 411,363891601563}					

Tablo 7.4’ de görüldüğü üzere bir kişi üzerinde 1ms’de elde edilen gerçek zamanlı pozisyon değerleri kullanılarak oluşturulmuş kinematik analiz çıktıkları verilmiştir. Popülasyon sayısı kadar elde edilmiş çoklu kinematik analiz çıktıları Tablo 7.5’ de verilmiştir.

Tablo 7.5. Çoklu Kinematik Analiz

LSA	LEA	LHA	LKA	LAA	RSA	REA	RHA	RKA	RAA
52,804	174,611	166,423	173,680	146,779	36,637	165,964	163,787	177,596	179,586
50,843	172,080	171,231	178,609	175,221	60,990	165,555	163,621	177,540	166,861
45,933	164,314	166,301	174,350	147,635	46,669	166,047	167,499	176,356	157,445
41,117	134,699	167,188	160,960	4,954	51,608	174,498	163,550	177,538	30,582
44,191	169,483	163,291	178,642	171,772	49,922	165,634	160,913	179,369	164,782
25,769	147,539	157,544	171,068	179,551	61,089	164,820	156,838	165,260	6,217
38,799	179,192	159,516	157,218	142,478	37,872	170,399	160,836	148,138	137,357
32,849	174,336	155,818	148,328	152,206	25,518	166,757	154,564	173,594	169,432
32,003	169,092	155,357	165,809	12,779	34,001	179,148	159,490	164,040	4,538
26,778	172,373	142,860	164,584	176,995	28,786	174,106	168,842	173,862	175,731
33,436	174,188	161,656	163,083	177,096	45,018	131,275	171,072	175,075	148,567
65,212	179,272	167,288	166,308	175,606	60,818	170,882	169,340	179,052	175,827
87,184	160,119	142,856	159,698	174,657	74,758	159,327	141,081	159,786	176,750
93,075	174,843	170,622	176,754	168,891	97,101	84,855	159,207	132,845	163,705
10,286	12,381	147,287	149,404	176,119	68,907	12,381	152,321	154,871	149,883
131,860	38,156	150,787	160,892	163,600	93,938	88,045	153,979	165,313	162,897
7,960	178,798	155,820	163,420	135,108	12,521	165,508	155,110	171,362	132,130
70,697	151,526	151,067	164,131	122,7977	84,841	160,846	145,282	157,684	127,723
52,526	175,984	157,094	162,329	179,666	60,496	173,350	159,192	167,824	138,613
73,634	166,957	155,328	153,504	169,472	62,319	118,042	149,081	147,152	164,295
86,974	113,018	154,130	146,558	159,147	87,539	174,934	161,207	160,550	146,893
63,346	94,648	148,918	133,139	176,455	68,841	117,019	148,085	125,337	154,737
42,821	172,153	157,453	150,421	160,096	53,644	175,938	142,206	151,549	179,346
42,915	141,614	122,331	90,155	115,784	57,760	147,179	161,141	175,290	172,025
42,942	143,243	137,542	123,384	145,633	42,838	141,380	144,182	134,143	154,198
68,191	174,240	144,793	147,083	165,980	52,262	144,368	146,609	156,010	112,658
82,420	111,814	145,423	162,133	167,966	86,722	95,360	162,056	17,662	125,722
48,563	135,197	167,041	174,912	164,580	55,952	128,035	155,661	172,981	168,864
50,664	130,022	149,453	159,315	170,593	54,442	150,113	141,507	157,291	17,753

*Left shoulder Angle = LSA

*Left Elbow Angle = LEA

*Left Hip Angle = LHA

*Left Knee Angle = LKA

*Left Ankle Angle = LAA

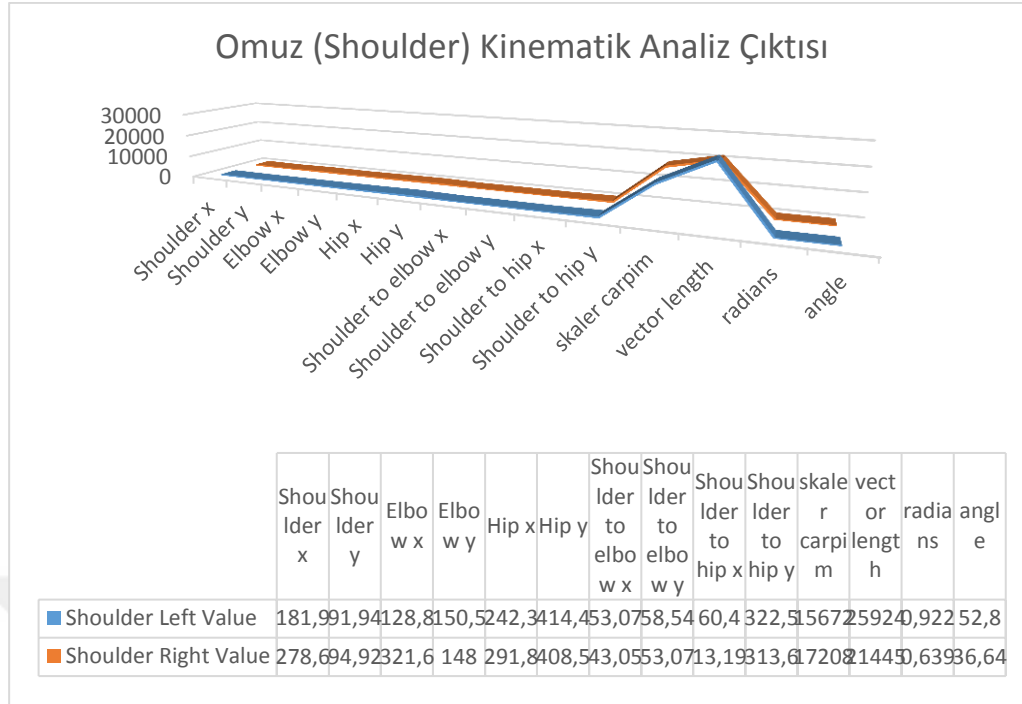
*Right Shoulder Angle = RSA

*Right Elbow Angle = REA

*Right Hip Angle = RHA

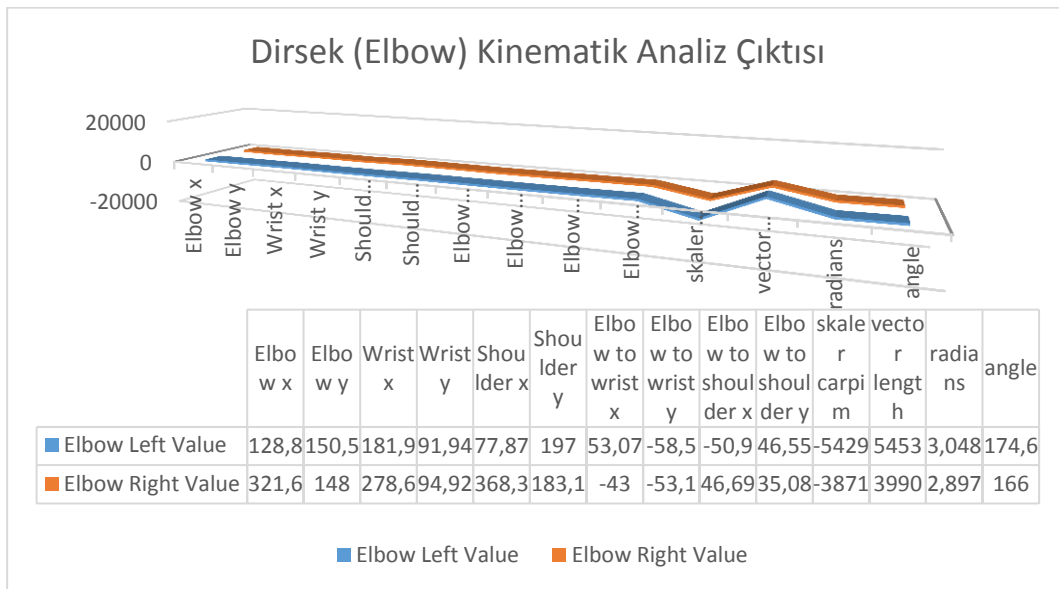
*Right Knee Angle = RKA

*Right Ankle Angle = RAA



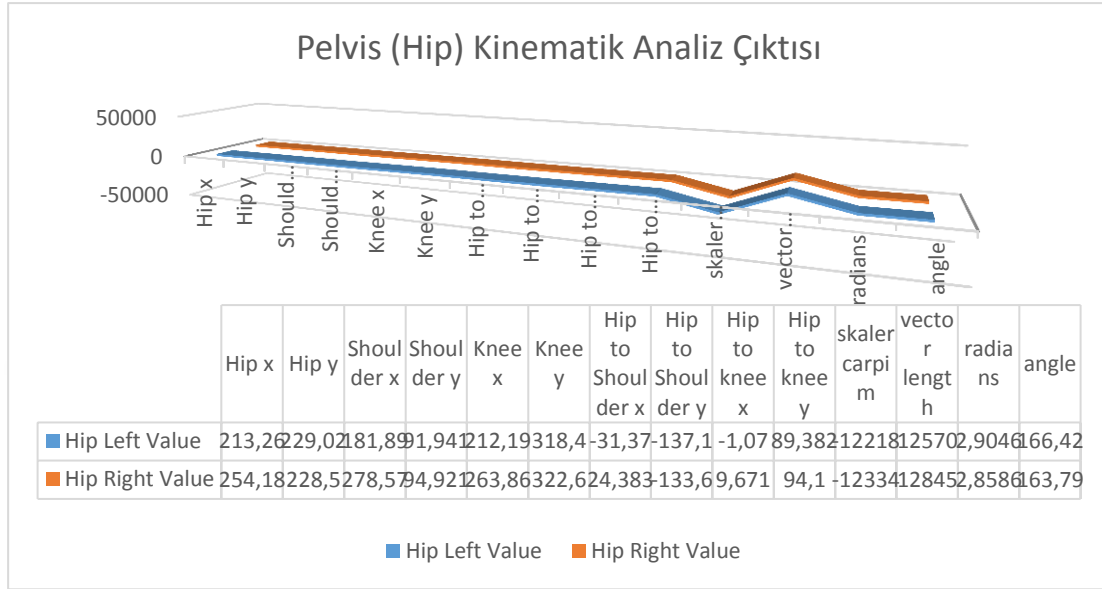
Şekil 7.4. Omuz (shoulder) kinematik analiz diyagramı.

Omuz segmentinin sol ve sağ kinematik analiz çıktıları şekil 7.4’ de verildiği üzeredir. Sol vücut segment analiz değerleri mavi ile sağ segment analiz değerleri ise turuncu renk ile belirtilmiştir.



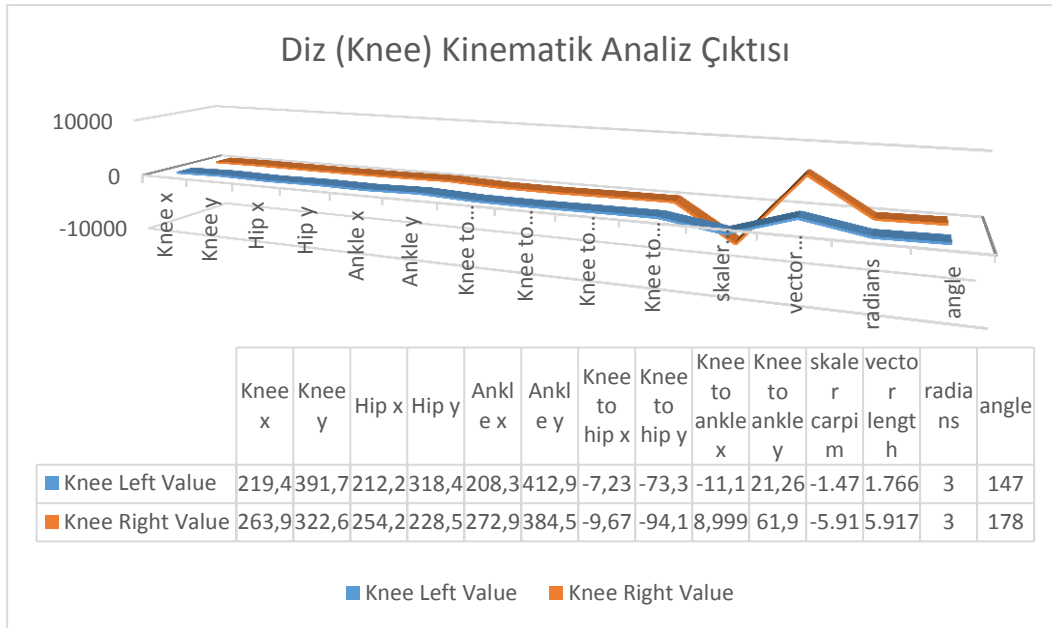
Şekil 7.5. Dirsek (elbow) kinematik analiz diyagramı.

Dirsek segmentinin sol ve sağ kinematik analiz çıktıları şekil 7.5’ de verildiği üzeredir. Sol vücut segment analiz değerleri mavi ile sağ segment analiz değerleri ise turuncu renk ile belirtilmiştir.



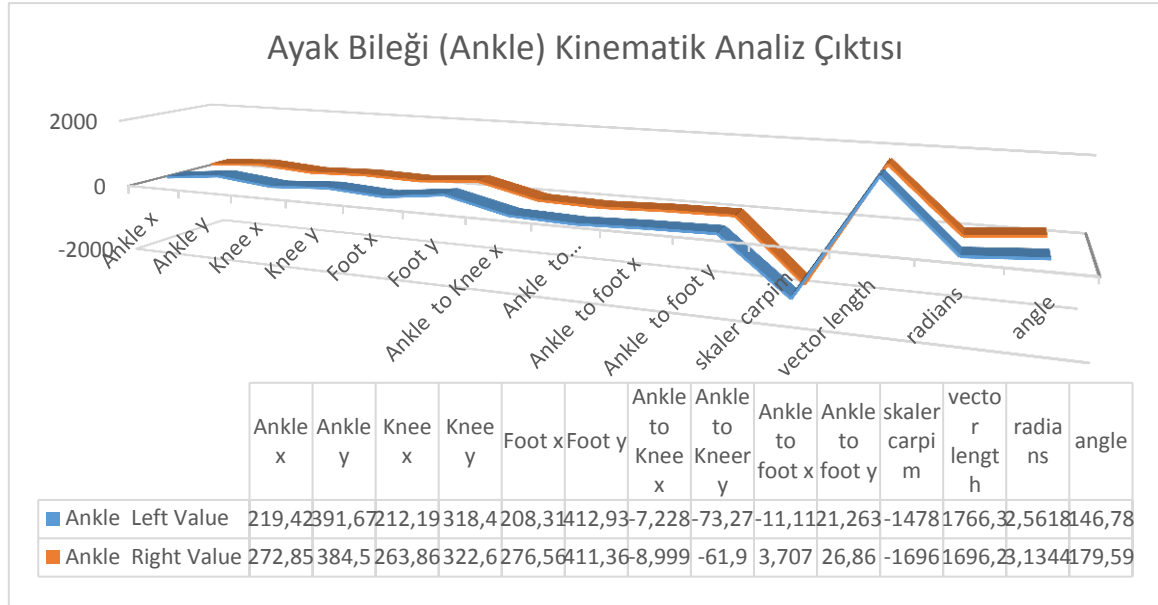
Şekil 7.6. Pelvis (hip) kinematik analiz diyagramı.

Pelvis segmentinin sol ve sağ kinematik analiz çıktıları şekil 7.6’ da verildiği üzeredir. Sol vücut segment analiz değerleri mavi ile sağ segment analiz değerleri ise turuncu renk ile belirtilmiştir.



Şekil 7.7. Diz (knee) kinematik analiz diyagramı.

Diz segmentinin sol ve sağ kinematik analiz çıktıları şekil 7.7’ de verildiği üzeredir. Sol vücut segment analiz değerleri mavi ile sağ segment analiz değerleri ise turuncu renk ile belirtilmiştir.

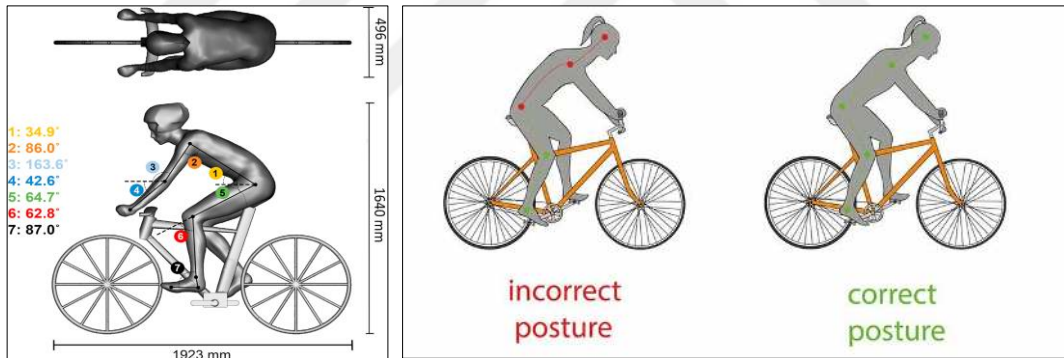


Şekil 7.8. Ayak bileği (ankle) kinematik analiz diyagramı.

Ayak bileği segmentinin sol ve sağ kinematik analiz çıktıları şekil 7.8’ de verildiği üzeredir. Sol vücut segment analiz değerleri mavi ile sağ segment analiz değerleri ise turuncu renk ile belirtilmiştir. Statik yöntemler de sporcunun antropometrik ölçümleri ve buna bağlı kadro geometrisi elde edilmektedir (cm veya inç cinsinden). Optimal açısal değer aralıklarının belirlenmesi ise bu zamana kadar yapılan yöntemlerin kullanımıyla oluşmuş bisikletçinin hangi sürüş tekniğini benimsediğine (agresif veya konforlu), sporcunun türüne (elite veya amatör) ve kullanılabilecek bisiklet türüne (yol, trekking, dağ bisikleti) literatüre geçen optimal değerlerin kullanılma işlemidir. Çalışmada analiz sonucu belirlenen optimal açısal aralık değerleri ve farklılık çıkarımları tablo 7.6’ da verilmiştir.

Tablo 7.6. Optimal açısal aralık ve farklılık çıkarım değeri tablosu.

Marker Lokasyon	Kinematik Çıktısı (angle)	Optimal Açısal Aralık (angle)	Farklılık Çıkarımı
Shoulder Left	52,80404862°	150° – 160° ya da 80° – 90° (sürüş tekniğine göre)	+27.19595138°
Shoulder Right	36,63764231°		+43.36235769°
Elbow Left	174,6119503°	150° – 160°	-14.6119503°
Elbow Right	165,9641722°		-5.9641722°
Hip Left	166,4233536°	55° – 65° veya 60° – 115° (sürüş tekniğine göre)	-51.4233536°
Hip Right	163,7875817°		-48.7875817°
Knee Left	146,7798802°	65° – 150°	+3.2201198°
Knee Right	177,596884763674°		-27.5968847637°
Ankle Left	146,7798802°	90° – 160°	+13.2201198°
Ankle Right	179,5868283°		-19.5868283°



Şekil 7.9. Doğru postür gösterimi [75].

Bike fit hareket yakalama teknolojisi kullanılarak vücut açılarının tespiti ve bisikletçinin antropometrik değerleri ışığında bisiklette şekil 7.9’ da gösterildiği üzere nasıl bir konumlandırma yapılacağına ışık tutmaktadır. Daha agresif veya daha konforlu bir sürüş ve daha az aero-dinamik bir pozisyon için farklı ayarlamalar gerekmektedir yani bisikletçinin beklentileri ve hedeflerini karşılayacak en uygun pozisyon belirleme işlemidir.

Aynı zamanda bisiklet uyumlandırılması (bike fit) yapılan bisikletlerde bisikletçinin yaşadığı sakatlanma ve ağrıların doğrultusunda işlem yapılır böylece bisikletçinin yaşadığı sıkıntılar giderilir. Örneğin bisikletçinin sol tibia kemiğinin (kaval kemiği) sağ taraftakinden yaklaşık 4mm daha uzun olduğunun keşfedilmesinin ardından sorunun özel bir çözümü, sağ

ayakkabısının altına destek olarak konulan eklentiler sayesinde çözülmüştür. Sadece bu örnek bile detayların bütüne ne kadar etki ettiğini göstermektedir veya bisikletçinin omuzunda ve ellerinde olan sıkışmaların çözümü için bisikletin gidon yüksekliği uygun ölçülerde aşağıya indirilerek çözüm sağlanabilmektedir. Bike fit yöntemleri materyal ve metot bölümünde ayrıntılı açıklanmıştır. Elde edilen çıkarımlara göre yapılacak bike fit uygulamaları şekil 7.10’ da özetlenmiştir.

Sürücünün benimsediği sürüş tarzına göre (konfor / performans) –El Uyuşması– - Gidon tutuş ayarı ve yüksekliği - Gidon rotasyonu	Pelvisin fazla ileri veya geriye doğru kayması - Sele burnu aşağı – yukarı hareketi - El, dirsek, triseps rahatsızlıkları	Kemik yapısındaki farklılıklar (Kemik Yamuklukları) - Ayak eğriliği ölçümü alınır. - Kallerin yataysallık ayarı (içbükey / dış bükey)	Bisikletçinin benimsediği veya istediği sürüş tarzına göre Omuz açısının 90°+/- 5°
Bisikletçinin ayağının yerleşim noktasının belirlenmesi Kallerin rotasyon ayarı	Kalin sağ – sol hareketinin yetmediği durumlarda Pedal pulu kullanımı	Pedal pulunun yetmediği durumlarda Pedal mili adaptörü kullanımı	Sele seçimi sonrası diz pozisyonun fazla önde veya arkada kalması Selenin ileri – geri hareketi (mm)
Sele yüksekliği (Holmes ve LeMod Metotları) Arka Bacak açısı yaklaşık 150°	Bisikletçinin dizinin yerleşim noktasının belirlenmesi Kal ileri – geri hareketi	Sele ayarı için referans noktasının belirlenmesi Kal ileri – geri hareket işleminin bir sonucudur.	Dizin yerleşim noktasının medial ve lateral kayma gösterdiğinde Kal sağa – sola hareketi
Sağ ve sol akromiyon (omuz çıkıntısı) arası omuz genişlik ölçümü Gidon genişliği (36,38,40,42,44,46cm)	Alt pelvis kemiğinin (ischium) darlık ve genişliği Sele seçimi	Sele yüksekliği (Holmes ve LeMond Metotları) Arka Bacak açısı yaklaşık 150°	Bacak uzunluklarının birbirinden farklı olması Kal yükseltme adaptörü (kal şimi)

Şekil 7.10. Yaşanılan problem ve uygulanacak bike fit yöntemi.

7.1. Tartışma

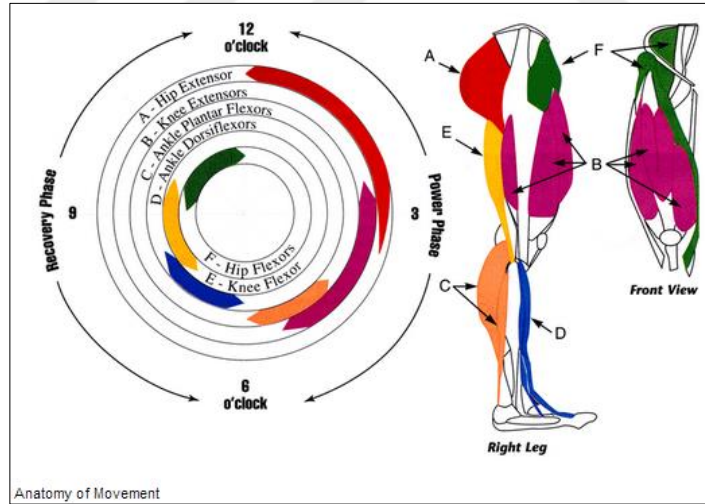
2014 yılında yapılan bir anket, Birleşik Krallık nüfusunun % 43’ünden fazlasının bisiklete sahip olduğunu veya bisiklete erişimi olduğunu ve 5 yaş ve üzeri nüfusun %8’inin haftada 3 veya daha fazla kez bisiklet kullandığını tahmin ediyor [74]. Bu kadar çok sayıda insan bisiklet sürerken, ister profesyonel, ister eğlence ister işe gidip gelmek amaçlı olsun, bir yaralanma riskini artırmaktadır, bu nedenle bisikletin biyomekaniğinin kavranması gerekmektedir [75].

Spor biyomekaniği üzerine yapılan araştırmalar geleneksel olarak kinetik ve kinematik çalışmalarına bölünmüştür. Kinetik, vücuda etki eden kuvvetler ile bu kuvvetlerin hareketi nasıl etkilediği arasındaki ilişkinin incelenmesidir. Kinematik yani çalışmada kullanılacak yöntem ise

hareketin kendisinin araştırılma sürecir. Bu bağlamda, biyomekaniği tarif ederken göz önünde bulundurulması gereken iskelet, kas ve nörolojik hususlar da vardır [74].

Bisiklette 3 temas noktası vardır. Bisikletle temas eden vücudun 3 noktası yerdeki pelvis, gidonların kavranması için el ve pedal üzerindeki ayaktır. Dikkat edilmesi gereken bir şey, bu alanların uyuşukluk, ağrı ve halsizliğe neden olabilecek sürekli miktarda basınç ve kompresyona maruz kalabileceğidir [76,77]. Çalışmanın sonucunda elde edilen bulgu biyomekaniğin sporcunun performansını desteklemek, spor ve egzersizdeki sorunları çözmek için neden uygulandığını ayrıca bisikletteki temas noktaları ve yaşanabilecek sorunlar açıklanmıştır.

Bisiklet pedal çevriminin 2 ana aşaması vardır bunlar güç aşaması ve kurtarma aşamasıdır. Pedal döngüsünü bir saat kadranı olarak hayal edildiğinde ve saat 12 konumunda pedal ile başlandığında, buna Üst Ölü Merkez (TDC) denir. Pedal daha sonra 12'den saat 6'ya kadar aşağı doğru itildiğinde, bu pozisyon Alt Ölü Merkez (BDC) olarak bilinir. Bu iki aşama arasındaki, tüm gücün genellikle bisikleti ileriye doğru itmek için üretildiği güç aşaması olarak bilinir. BDC yedeklemesinden TDC'ye geçiş kurtarma aşaması olarak bilinir [52]. Bu aşamada tüm kaslar değişmemektedir, güç aşaması kadar aktif değildir. Yapılan araştırmalar sonucu elde edilen bulgular şekil 7.11' de gösterildiği üzere pedal çevrim sırasında hangi kasların hangi noktalarda çalıştığı verilmiştir.



Şekil 7.11. Pedal çevrim sırasında hangi kasların hangi noktalarda çalıştığının gösterimi [52].

Şekil 7.11' de gösterildiği gibi güç üretiminin çok büyük kısmını saat 12 ile 5 pozisyonları arasında, üst bacakta; quadriceps (ön bacak) ve hamstring (arka bacak), alt bacakta; calf kasında (alt bacakta) gastrocnemius ve soleus kasları üstlenir.

Pelvis fleksiyonu (bükülmesi) ve pelvis ekstansiyonu (uzama) ile birlikte diz ekstansiyonu (uzama) pedal çevriminde en önemli hareket mekanizmalarıdır. Saat 6

pozisyonundan 12 pozisyonuna kadar ise pedalın geriye doğru çevrilip yukarıya getirilmesi için biraz diz ekstansiyonu kullanılmaktadır. Ancak buradaki asıl faydayı diğer taraftaki bacağımızın aşağı doğru itiş ile o bacak sağlar.

Bisiklete binerken çalışan pek çok bileşen vardır, bu sadece bacaklarda yapılan bir spor değildir. Elde edilen bulgular ışığında tezin ilerleyen bölümlerinde alt ekstremit eklemlerinin, alt ekstremit e kaslarının, gövde, sırt ve kolların bisiklete binmedeki rollerinin açıklaması verilmiştir.

Alt ekstremit e eklemleri ve bu eklemlerin rolü incelendiğinde, pelvis alt ekstremit e kompleksinin başlangıcıdır ve iskiyal tüberositeler (aynı zamanda oturma kemiklerinde de denilmektedir) burada bulunur ve hamstringler için önemli bir rol oynamaktadır. Pelvis çok yönlü hareketinin büyük bir değişebilirlik derecesine olanak sağlamaktadır tipi eklem olduğu gibi, aynı zamanda önemli bir anatomik bir özelliktir. Bisiklete binme sırasında pelvis, pelvis fleksiyonuna, ekstansiyona ve küçük dereceli dönüş e izin verir ve kılavuzluk eder. Alt ekstremit e kompleksinin daha aşağısında diz bulunur. Bu 'menteşe' eklemi, uyluk kemiğine bir kaldıraç görevi görür uyluk kemiği vücuttaki en uzun kemik olduğu için bu büyük miktarda tork oluşturmaktadır. Bu noktada diz kapağı, bir dayanak noktası olarak görev yapan ve alt bacak için aktarılabacak olan üst bacdan kuvveti sağlamaktadır ve çok önemli bir rol oynamaktadır. Patella, patella tendonu içinde yer alan ve kuadrisepsleri tibial tüberoziteye bağlayan sesamoid bir kemiktir.

Alt ekstremit e kompleksi aşağı inerken, bir sonraki ana ilgi eklemi ayak bileğidir. Bu eklem, bisiklete binmede dorsifleksiyon ve plantar fleksiyona izin verir; bu, ayağın dorsifleksiyonlu bir pozisyondan, dorsifleksiyona geri dönmeye önce pedal vuruşunun altından plantar fleksiyona doğru hareket ettiğ i 'ayak bileğ i' olarak bilinen bir terime izin verir. Ayağın birçok küçük eklemi vardır, ancak esas olarak burası, alt ekstremit e kompleksinden üretilen kuvvetin pedala aktarıldığı yerdir [77, 78]. Ayağın içinden geçen düzensiz kuvvet veya kompresyon, sinir ağrısına ve kompresyondan doku hasarına neden olabilir.

Alt ekstremit e kasları ve bisiklete binmedeki rolü incelendiğinde, pedal döngüsünün başlaması, pelvisi TDC' de bükülmüş bir pozisyondan güç fazı boyunca uzatılmış bir pozisyona alarak pelvis kaslarıyla başlar. Ardından pedal çevriminde yaklaşık olarak saat 3'te kuadriseps, dizi fleksiyondaki konumundan BDC' de uzatılmış bir konuma almak için devreye girer. Rektus femoris dört kuadriseps kaslarının biridir, ama hem pelvis hem de diz eklemi geçen pelvis fleksiyonu ve diz ekstansiyonunun ikili sorumluluğunu vermektedir. Kuadriseps, pelvis kasları ile yakın işbirliği içinde çalışır bunlar bisiklet sürerken en fazla torku üreten iki büyük güçlü kas grubudur. Bisikletin üzerindeki pozisyon nedeniyle, rektus femoris gibi kaslar, ön pelvis ağrısına yol açacak şekilde kısalabilir, ancak aynı zamanda yaygın olarak patella femoral ağrısına da neden olabilir. Bunun nedeni, patella tendonuna giden ve tibial tüberoziteye bağlanan rektus femoris, dolayısıyla bu kas kısalırsa, patellanın etrafındaki sıkıştırıcı kuvvetleri artırarak rahatsızlığa neden olabilir [79].

Hamstringlerin ana rolü diz fleksiyonudur ancak aynı zamanda pelvis ekstansiyonuna da yardımcı olmaktadır. Bisiklete binme sırasında (bisikletçi tarafından benimsenen pozisyona bağlı olarak, eğer dik bir bisiklet üzerindeyse), iskiyal tüberositeler yükün çoğunu seleden alabilir ve bu nedenle hamstringlerin başlangıç noktasını sıkıştırabilir. Bisiklete binmede hamstringlerin ana rolü, pedal vuruşunun arka kısmından diz fleksiyonuna yardımcı olmaktır, ancak aynı zamanda, BDC yoluyla diz stabilize edilmesinde önemli bir rol oynarlar [77].

Zincirin alt bacağına doğru daha aşağısında, gastroknemius ve soleusun pedal vuruşuna fazla güç kattığı bulunamamıştır, ancak bunların ana rolü, üst bacak tarafından üretilen kuvvetin etkili bir şekilde geçişini sağlamak için alt bacağı stabilize etmektir. Ardında pedal döngüsünün diğer tarafına geri döndüğünde, dizleri tekrar TDC' ye getirmek için bükmeye yardımcı olmak için hamstringler devreye girer ve yeterli diz fleksiyonu ve pelvis fleksiyonu elde edildiğinde pelvis fleksörleri döngüyü yeniden başlatmak ve bacağı gerçek TDC' ye getirmek için tekrar çalışmaya başlar.

Gövde, sırt ve kolun bisiklete binmedeki rolü incelendiğinde, bisiklete binmek, alt uzuvların hareketinden daha fazlasıdır. Gövde ve sırt, omurganın stabilize edilmesinde ve duruşun korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Arkada birçok kas vardır, bunlardan birkaçı multifidi ve quadratus lumborum, sağ bacak güç fazına girerken, omurganın sol tarafı stabilize olur ve bunun tersi gibi yanıl ve rotasyonel hareketler sırasında omurganın ana stabilizatörlerinden birkaçıdır [77]. Erector Spinae kasları da bisikletle iken istikrarlı duruş sürdürülmesinde önemli rol oynar.

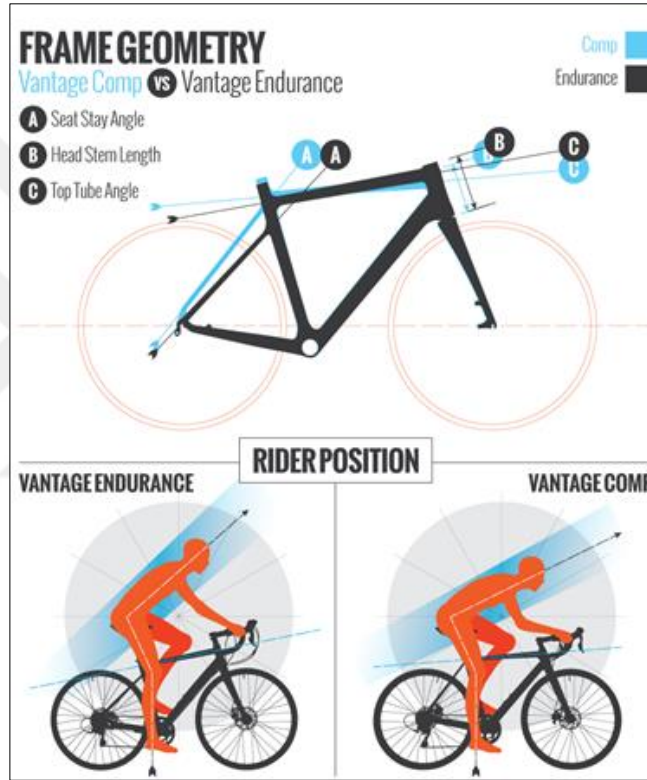
Rektus abdominus gibi karın kasları, abdominal kaslarda olduğu gibi stabilitenin korunmasına yardımcı olur. Sırt kaslarına benzer şekilde eğiklikler, kontralateral uzuv hareketini stabilize etmeye yardımcı olacaktır. Omurgayı omuzlara doğru hareket ettirirken, latissimus dorsi ve trapezius kasları sürücünün üst gövdesini gidona sabitlemesini sağlar. Üst gövde, karşı taraftaki torku stabilize etmede bir role sahiptir, böylece sağ bacak sol kol bağlantılarını gidonlara doğru iter ve yukarı çeker.

Ayaklarda olduğu gibi, eller sürekli bir baskıya maruz kalabilir, böylece vaskülatür ve sinirler, en yaygın olarak ulna siniri (bisikletçi felci) ve ardından medyan sinir yaralanabilmektedir. Üst vücudumuzda da destekleyici olarak bazı kas grupları çalışmaktadır. Bisikleti kullanırken sürekli pozisyon değiştiririz. Ayağa kalkarız, öne eğiliriz ya da bazen iyice öne uzanırız. Bu pozisyonlarda ise; kol kaslarından biceps ve tirceps kaslarımız, karın kaslarımız, sırt kaslarımız, omuz kas grubunda deltoid kasımız aktive olurlar [80]. Vücut geliştirme antrenmanları kadar olamazlar tabii ki ama bisiklet sürmek bu kasların gelişimlerine de katkıda bulunur.

Doğru bisiklet uyumu, kötü konumdan kaynaklanan aşırı kullanım yaralanmalarının çoğunu önleyebilir. Aynı zamanda daha fazla konfor elde edilebilmesi ve daha iyi ve daha hızlı

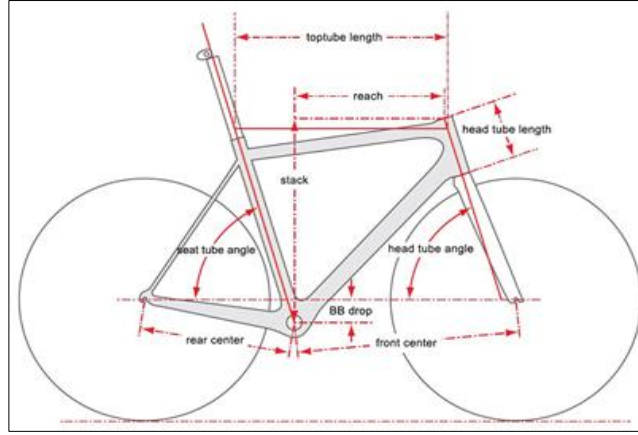
bisiklet sürülebilmesi anlamına gelir. Doğru pozisyon, yaş, sürüş tarzı ve esneklik ve anatomik varyantlar gibi fiziksel özellikler gibi faktörlere bağlı olarak kişiden kişiye değişir. Doğru pozisyon ile bisikletçinin sürüş teknikleri de düzelmektedir.

Bisiklet seçiminde elde edilen bulgular ışığında eğer bisikletçi hızlı ve çevik bir yol bisikleti istiyorsa competitive (performans – hız) bisikleti türü bir geometriye sahip bisiklet seçilmelidir. Eğer tırmanışta ve bozuk zeminlerde rahatlık tercih ediliyorsa endurance (dayanıklılık – konfor) türü bisiklet tercih edilmelidir [81]. İki bisiklet türü arasındaki farklılık şekil 7.12’ de verilmiştir.



Şekil 7.12. Performans ve konfor bisikletinin geometrisi ve sürücü pozisyonlarının gösterimi [81].

Şekil 7.12’ de mavi olarak gösterilen bisiklet performans için, siyah ile gösterilen bisiklet ise konfor için tasarlanmış bisiklet örnekleridir. Şekil 7.12 "rider position" görseline bakıldığında konfor için tasarlanmış bisiklette sürücü daha rahat bir pozisyonda sırtı diğer bisikletçiye göre daha dik, gidon tutuşu el sıkışma pozisyonundadır. Performans için tasarlanmış bisiklette ise daha eğimli bir pozisyonda sürüş gerçekleştirimi söz konusudur çünkü pelvis açısı daralmış sırt daha fazla öne eğimli haldedir. Gidon tutuşu ve gidon boğazının pozisyonu da zemine daha yakındır.



Şekil 7.13. Bisiklet geometrisinde stack ve reach gösterimi [81].

Kadro geometrisinin en temel iki unsuru “stack” ve “reach”tir ve şekil 7.13’ de gösterilmiştir. Bisikletin “stack” ve “reach” değerini bilmek, farklı üreticiler arasında karşılaştırma yapılmasını sağlamaktadır [81]. Çalışma sonucu elde edilen veriler ışığında “stack” değeri performans bisikleti için kısa, konfor bisikleti için uzun olmalıdır. “Reach” değeri performans için tasarlanan bisiklet için uzun, konfor için tasarlanan bisiklet için kısa olmalıdır.

Alın borusu açılarının, sele borusu açılarının, alın borusu uzunluğunun, üst boru uzunluğunun, çeki borusu uzunluğunun, orta göbek yüksekliği, çatal eğimi – ofset/trial uzunluğu ve aks uzunluğunun hangi bisikletlerde nasıl ölçülerde kullanılması gerektiği tez çalışması ile elde edilen kinematik analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir. Çalışma sonucuna göre gevşek alın borusu açısı kullanımının avantajlarına bakıldığında gevşek alın borusu açısı daha yüksek hızlarda tümsekler daha iyi tölare edilmektedir. Tekerlekler birbirinden uzaklaştıkça daha fazla stabilite ve daha yüksek hızda viraj alma kabiliyeti geliştirmektedir. Dezavantajlarına bakıldığında ise direksiyon daha yavaş ve daha az duyarlı hale gelmiştir. Sıkı dönüş performansı kötüleşmiştir. Düz arazi sürüşü için uygun değildir. İyi bir tırmanma gerçekleştirilemez ve bisiklet üzerinde daha az ağırlık meydana geldiği için ön tekerlek gezinme eğilimi göstermektedir. Şekil 7.14’ deki bisiklet örneği verilebilir.



Şekil 7.14. Gevşek alın borusu açısına sahip bisiklet gösterimi [82].

Dik alın borusu açısı kullanımının avantajlarına bakıldığında daha hızlı işleme ve daha iyi yanıt meydana gelmektedir. Bisiklete dar arazide daha iyi viraj alma ve daha dar dönüş yarıçapı sağlamaktadır ve bisikletin tırmanma performansı artmıştır. Dezavantajlarına bakıldığında yüksek hızlarda dengesiz ve seğirme hissettirmektedir. Ayrıca yüksek hızlardan tümsekleri absorbe etmez ve daha büyük tümseklerde daha fazla takılma eğilimindedir [82]. Şekil 7.15’ deki bisiklet örnek verilebilir.



Şekil 7.15. Dik alın borusu açısına sahip bisiklet gösterimi [83].

Dikkate alınması gereken diğer faktörler ise tekerlek boyutu ve rigid, hardtail ve çift süspansiyondur. Daha büyük tekerlekli bir bisiklette daha dik bir alın borusu (yaklaşık 1°) çalıştırabilir ve dik arazilerde sürücü kendini güvende hissetmektedir. Bunun nedeni, büyük tekerleğin engelleri aşarak daha fazla yuvarlama yeteneğine sahip olmasıdır. Tüm geometri çizelgeleri bisikleti sürücü ağırlığı olmadan statik bir konumda gösterir. Bu nedenle, rigid bir bisiklette bu gerçek bir temsildir. Ancak hardtail’da, alın borusu açısı $\%10 - 20$ aşağı sarkacak ve alın borusu açısını düzeltecektir. Bunu ikili bir süspansiyonla karşılaştırırsanız, hem ön hem de

arka süspansiyonlar sarkacaktır. Çoğu insan arka amortisörünü önden daha fazla sarkık olarak çalıştırdığından, bu, ağırlıklandırıldığında alın borusu açısının gevşeyeceği anlamına gelmektedir [48]. Araştırmanın sonucunda elde edilen bulgu özetle performans için tasarlanan ve konfor için tasarlanan her iki bisiklet için de dik alın borusu açısı kullanılmalıdır.

Şekil 7.12 göz önüne alınarak çalışmanın sonuçları;

- Performans bisikletleri konfor bisikletlerine göre dik sele boru açısı kullanır, kısa alın borusu kullanır, orta göbek yüksekliği fazladır, üst boru uzunluğunun gidona uzanma eyleminde shoulder angle olarak tanımlanan omuz açısının 90° 'den fazladır ve performans bisikletlerinde fazla viraj ve hız gereksinimlerinden kaynaklı trail ölçüsünün uzun olması gerekmektedir.
- Konfor bisikletleri performans bisikletlerine göre gevşek sele boru açısı kullanır, uzun alın borusu kullanır, orta göbek yüksekliği azdır, üst boru uzunluğunun gidona uzanma eyleminde shoulder angle olarak tanımlanan omuz açısının 90° minvalinde olmalıdır ve konfor bisikletlerinde fazla viraj gerektirmeyen ve yüksek hız gereksinimi bulunmayan trail ölçüsünün kısa olması gerekmektedir.
- Hem performans hem konfor bisiklet türlerinde ise kısa çeki borusu uzunluğu kullanılmalı, kısa aks uzunluğu kullanılmalıdır ve sele yüksekliği için ise kesinlikle sporcunun antropometrik verilerine göre işlem yapılmalıdır.

Biyomekanik analiz, optimum hareket ve yük analizi için modeller oluşturarak performans üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir. Bu, bir beceriyi hareket ettirmenin veya gerçekleştirmenin en güvenli veya en etkili yolunu belirlemek ve farklı bir çevrenin vücudun nasıl hareket ettiği veya tepki verdiği üzerindeki etkisini araştırmak için kullanılır. Spor mühendisliği adı altında sporcuların performans ölçümlerini hareket yakalama teknolojisiyle ölçmek mümkün müdür ve elde edilen verilerle analiz yapıldığında sporcu verimliliği ölçülebilir mi sorusuna yanıt bulmak amaçlı tez hazırlanmıştır. Hareket yakalama sürecinin veya tekniğinin kullanılmasının temel nedeni, gerçekçi sonuçlar elde etmenin kolay olmasıdır. Hareket yakalama teknolojisinden elde edilen veriler ile bisikleti kullanım amaçlarına da bakılarak bisikletçiye özgü bir bisiklet uyumlandırma işleminin yapılması materyal ve metot tekniklerinde belirtilen sadece antropometrik ölçülerle gerçekleştirildiğinde sürüş sırasındaki hataların tespit edilmemesi ayrıca bisiklet boyut tablolarının genel ölçümler olduğu ve böylece insandan insana değişen antropometrik ölçümlerin neticesinde bisiklet uyumluluğunda başarılı olmadığı açıklanmıştır. Bike fit uygulamasının yapıldığı bisikletler ile tüm beceri seviyelerindeki bisikletçilerin tekniklerini geliştirmelerine olanak sağlanmış olacaktır.

Uygun ekipman kullanımı, yeterli ve doğru antrenman ve bisiklet sürüş tekniklerinin düzeltilmesiyle bisikletçilerin yaralanma ve sakatlanma riskleri en aza indirilebilecektir. Özetle

bisikletler sadece bacaklarla yapılan bir spor değildir. Vücudun alt ekstremit eklemleri, alt ekstremit e kasları, gövde, sırt ve kol kaslarının gelişmesinde büyük rol oynayan bir spor olduğu elde edilen bulgular da verilmiştir. Bisiklet sürmenin hem sağlığı hem de zindeliği korumaya yardımcı olduğu bilinmektedir.

Doğru bir pozisyonda bisiklet sürmek, bisiklet üzerindeki deneyiminizi mükemmelleştirmekle beraber, sporcuları sakatlıklardan korur. Ayrıca daha efektif bisiklet sürümü sağlayarak, sporcunun gelişimine katkıda bulunur. Bisikletin ergonomisini, bisikletçinin anatomisiyle buluşturmak için bike fit uygulaması doğru bir çözüm niteliğindedir. Dahası bisiklet üzerinde geçirilen zamanı artırarak, bisikletçiyi bir sonraki seviyeye taşımaya yardımcı olur.

Bike fit uygulamasını şehir bisikletinden dağ, yol, triatlon ve zamana karşı konseptinde üretilmiş bisiklet sahipleri faydalanabilir. Kısacası bisiklet ile haşır neşir olmuş neredeyse bütün kullanıcılara cevap veren bir uygulamadır. Amatör veya profesyonel her bisikletçinin ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılır. Bike fit, bisiklet ergonomisini bisikletçi anatomisiyle birleştirerek bisiklet deneyimini mükemmel düzeye getirerek bisikletçiyi sakatlıklardan korumaya yardımcı olmaktadır.

Bike fit hareket yakalama teknolojisi kullanılarak vücut açılarının tespiti ve bisikletçinin antropometrik değerleri ışığında bisiklette nasıl bir konumlandırma yapılacağına ışık tutmaktadır. Daha agresif veya daha konforlu bir sürüş ve daha az aero-dinamik bir pozisyon için farklı ayarlamalar gerekmektedir yani bisikletçinin beklentileri ve hedeflerini karşılayacak en uygun pozisyon belirleme işlemidir. Aynı zamanda bike fit uygulaması yapılan bisikletlerde bisikletçinin yaşadığı sakatlanma ve ağrıların doğrultusunda işlem yapılır böylece bisikletçinin yaşadığı sıkıntılar giderilir.

Pedal çevriminin ilk bölümlerde pedala 90°lik teğetler oluşturmak önemlidir böylece sürücü doğru bir sürüş tekniğinde sürüş gerçekleştirir ve krankı 9-12 yönünde çevirme içi kullandığı kaldırma kuvvetini nötralize etmektedir ve diğer bacak için kullandığı güç aşaması sırasındaki kuvvetini ileriye gitmek için kullanabilmektedir. Böylece sürüş daha verimli ve performanslı olmaktadır. Genelde yarış bisikletçileri için önemli bir konu olduğu düşünülse de bisiklet kullanan herkes için verimli sürüş gerekmektedir. Ayrıca hangi açılarda hangi vuruşun yapılacağını bilmek bisiklet sürücüsünün bisiklet üzerindeyken düşmemesini sağlamaktadır. Tarza, kondisyona ve kullanım alanına uygun bir bisiklet seçilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Thomas J, Hall J.B, Bliss R. Guess TM. (2022). Comparison of Azure Kinect and optical retroreflective motion capture for kinematic and spatiotemporal evaluation of the sit-to-stand test. *Journal of Gait & Posture*; 94: 153-159. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.03.011>
- [2] García-López J, Díez-Leal S, Ogueta-Alday A, Larrazabal J, and Rodríguez-Marroyo JA. (2016). Differences in pedalling technique between road cyclists of different competitive levels. *Journal of Sports Sciences*; 34(17), 1619-1626. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1127987>
- [3] Southgate DFL, Prinold JAI, and Weinert-Aplin RA. (2017). Application of motion capture technology for sport performance analysis. *In Sports Innovation, Technology and Research Motion Analysis in Sport*; 3–30.
- [4] Pueo B. (2016). High speed cameras for motion analysis in sports science. *Journal of Human Sport and Exercise*; 11(1): 53–73. <https://doi.org/10.14198/jhse.2016.111.05>
- [5] Lopez Elvira JL, Lopez Plaza D, Lopez Valenciano A, and Alonso Montero C. Influence of footwear on foot movement during walking and running in boys and girls aged 6-7. *Retos-Nuevas Tendencias En Educacion Fisica Deporte Y Recreacion* 2017; 31: 128-132. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.06.015>
- [6] Kotsifaki A, Rossom SV, Whiteley R, Korakakis V, Bahr R, Sideris V, Jonkers I. Single leg vertical jump performance identifies knee function deficits at return to sport after ACL reconstruction in male athletes. *British Journal of Sports Medicine* 2022; 20: 755–769. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2021-104692>
- [7] Marqués L, Cella J, and Gisbert M. Pre-service physical education teachers' self-management ability: a training experience in 3D simulation environments. *Retos. Nuevas Tendencias En Educación Física, Deporte Y Recreación* 2017; 32: 30–34. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i32.34301>
- [8] Bisiklet, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Bisiklet> (Son Erişim: 10.06.2022)
- [9] Bisiklet Nedir?, <http://bisikletakademisi.net/bisiklet-nedir>, (Son Erişim: 10.06.2022)
- [10] Zheyi S. Analysis of full-body motion capture system design based on ultra wide band technology, *Proc. SPIE 12158, International Conference on Computer Vision and Pattern Analysis (ICCPA 2021)*, 121580R; <https://doi.org/10.1117/12.2627008>
- [11] Ferryanto, F, Mahyuddin, A. I, Nakashima M. Development of a markerless optical motion capture system by an action sports camera for running motion. *ASEAN Engineering Journal*, 12(2), 37-44. <https://doi.org/10.11113/aej.v12.16760>
- [12] Bisiklet Nedir?, <https://www.gungorlerbisiklet.com/blog/icerik/bisiklet-nedir>, (Son Erişim: 10.06.2022)
- [13] Bisikletin Kökeni ve Geleceği, <https://velespitim.com/bisikletin-kokeni-ve-gelecegi> (Son Erişim: 10.06.2022)
- [14] Bisiklet Anatomisi, <https://ufuksengul.wordpress.com/2011/06/13/bisiklet-anatomisi>, (Son Erişim:10.06.2022)

- [15] Nichols, J.F, Palmer, J.E. & Levy, S.S. (2003). Low bone mineral density in highly trained male master cyclists. *Osteoporos Int* 14, 644–649 <https://doi.org/10.1007/s00198-003-1418-z>
- [16] Bisiklet Seçimi. <https://bikestore.com.tr/bisiklet-secimi>. (Son Erişim: 10.06.2022)
- [17] Doğru Bisiklet Seçimi. <https://bisikletakademisi.net/dogru-bisiklet-secimi/>. (Son Erişim: 10.06.2022)
- [18] Hawley, J.A., Stepto, N.K.(2001) Adaptations to Training in Endurance Cyclists. *Sports Medicine* 31, 511–520. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131070-00006>
- [19] Retül Bike-fit, <https://www.cyclistmag.com.tr/2019/11/11/retul-bike-fit>. (Son Erişim: 10.06.2022)
- [20] Motion Capture. https://en.wikipedia.org/wiki/Motion_capture, (Son Erişim: 10.06.2022)
- [21] Saito M, Kikuchi Y, Kudo Y, ,Makiko Sasaki M, Mitobe K. (2022). Development of a Learning Support System for Blood Sampling Techniques Using a Magnetic Motion Capture System. *Journal of Transactions on Electrical and Electronic Engineering*. <https://doi.org/10.1002/tee.23564>
- [22] K. Kurihara, S. Hoshino, K. Yamane and Y. Nakamura. (2002). Optical motion capture system with pan-tilt camera tracking and real time data processing. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.02CH37292)*,pp. 1241-1248 vol.2. <https://doi:10.1109/ROBOT.2002.1014713>
- [23] Fang Yu. (2022). Implementation of a Human Motion Capture System Based on the Internet of Things Machine Vision. *Journal of Cases on Information Technology (JCIT)* 24(5). <https://doi:10.4018/JCIT.302245>
- [24] Choo CZY, Chow JY, Komar J. (2022). Validation of the Perception Neuron system for full-body motion capture. *PLoS ONE* 17(1): e0262730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262730>
- [25] Chen B, Wang W, Hu G, Zhong R, Su X, Zhi H,Niu W. (2022). Concurrent validity of a markerless motion capture system for the assessment of shoulder functional movement. *Journal of Medicine in Novel Technology and Devices* <https://doi.org/10.1016/j.medntd.2022.100131>
- [26] Qiu S, Zhao H, Jiang N, Wu D, Song G, Zhao H, Wang Z. (2022). Sensor network oriented human motion capture via wearable intelligent system. *International Journal of Intelligent System* <https://doi.org/10.1002/int.22689>
- [27] Sturm, Jürgen. (2012). A benchmark for the evaluation of RGB-D SLAM systems. *Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE/RSJ International Conference IEEE*. <https://doi:10.1109/IROS.2012.6385773>
- [28] Maezawa, H, Fujimoto, M, Hata, Y. (2022) Functional cortical localization of tongue movements using corticokinematic coherence with a deep learning-assisted motion capture system. *Sci Rep* 12, 388. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04469-0>

- [29] Collings KL, Pierce Pratt F, Rodriguez-Stanley S, Bemben M, Miner PB. (2003). Esophageal reflux in conditioned runners, cyclists, and weightlifters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. May;35(5):730-735. <https://doi:10.1249/01.mss.0000064937.99001.56>. PMID: 12750580.
- [30] Bregler C. (2007). Motion Capture Technology For Entertainment. *IEEE Signal Processing Magazine* 24.6:160+156-158. <https://doi:10.1109/MSP.2007.906023>
- [31] Tukanova K, Banger M, Hanna G, McGregor A, Markar S. (2022). Assessment of changes in chest wall mechanics in esophageal cancer survivors using a 3D-motion capture system. *Journal of Clinical Oncology*. https://doi:10.1200/JCO.2022.40.4_suppl.TPS360
- [32] R Raskar, H Nii, B de Decker, Y Hashimoto, J Summet, D Moore, Y Zhao, J Westhues, P Dietz, M Inami, S Nayar, J Barnwell, M Noland, P Bekaert, V Branzoi, E Bruns. (2007). Prakash: Lighting-Aware Motion Capture Using Photosensing Markers and Multiplexed Illumination. *ACM Transactions on Graphics* <https://doi.org/10.1145/1276377.1276422>
- [33] Veis, G. (1963). Optical tracking of artificial satellites. *Space Science Reviews*. 2 (2):250–296.
- [34] Kimberly P, Andrew H, Amgad M, Lynn M, Randall K, Sisson B, Dionne P. (2022). Applications of Biomechanical Foot Models to Evaluate Dance Movements Using Three-Dimensional Motion Capture: A Review of the Literature. *Journal of Dance Medicine Science* <https://doi.org/10.12678/1089-313X.061522a>
- [35] N. Yamaguchi. (2022). Calibration of Robotic Woodworking Machinery Using a Motion Capture System. *IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)pp*. 657-661, <https://doi:10.1109/SII52469.2022.9708733>
- [36] Gustafson JA, Dowling B, Heidloff D, Quigley RJ, Garrigues GE. (2022) Optimizing Pitching Performance through Shoulder and Elbow Biomechanics. *IEEE Transactions on Operative Techniques in Sports Medicine*; 150890. <https://doi.org/10.1016/j.otsm.2022.150890>
- [37] Trasolini NA, Nicholson KF, Mylott J, Bullock GS, Phil D, Hulburt TC, Waterman BR. (2022). Biomechanical Analysis of the Throwing Athlete and Its Impact on Return to Sport. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*; e83-e91. <https://doi:10.1016/j.asmr.2021.09.027>
- [38] Choo CZY, Chow JY, Komar J. (2022). Validation of the Perception Neuron system for fullbody motion capture. *Journal of Biomechanics*; 31(10): 957–961. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262730>
- [39] Diffendaffer A.Z., Bagwell M.S., Fleisig G.S. (2022). The Clinician’s Guide to Baseball Pitching Biomechanics. *Journal of Biomechanics*, <https://doi.org/10.1177/19417381221078537>
- [40] Girbés-Juan V, Schettino V, Gracia L, Solanes JE, Demiris Y, Tornero J. (2022). Combining haptics and inertial motion capture to enhance remote control of a dual-arm robot. *Measurement*; 1-20. <https://doi.org/10.1007/s12193-021-00386-8>
- [41] Beetz M, von Hoyningen-Huene N, Kirchlechner B, Gedikli S, Siles F, Durus M, and Lames M. (2009). Aspogamo: Automated sports game analysis models. *International Journal of Computer Science in Sport*; 8(1): 1-21.

- [42] Corazza S, Mündermann L, Gambaretto E, Ferrigno G, Andriacchi TP. (2010). Markerless motion capture through visual hull, articulated icp and subject specific model generation. *International Journal of Computer Vision*; 87(1): 156-169.
<https://doi.org/10.1007/s11263-009-0284-3>
- [43] Van Der Kruk E, Reijne MM. (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>
- [44] Wade L, Needham L, McGuigan P, Bilzon J. (2022). Applications and limitations of current markerless motion capture methods for clinical gait biomechanics. *Sports Medicine and Rehabilitation PeerJ* 10:e12995 <https://doi.org/10.7717/peerj.12995>
- [45] Elise B.E, Andrea M. (2022). Chapter 9 - Hip Anatomy and Biomechanics. *Journal of The Female Athlete*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-75985-4.00027-1>
- [46] Troyer W, James E, Robert L. (2022). Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome in the Overhead and Throwing Athlete: A Narrative Review. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12816>
- [47] Rozanne M, Barreveld A, Rice S, Althausen A, Kotler D. (2022). Unique Concerns of the Woman Cyclist. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*.
<https://doi.org/10.1016/j.pmr.2021.08.005>
- [48] Kiersnowska B. (2019). Female cycling and the discourse of moral panic in Late Victorian Britain. *Atlantis Journal of Spanish Assoc Anglo-American Studies*.41: 85-103.
<https://doi:10.28914/Atlantis-2019-41.2.04>
- [49] Kotler D, Cushman D, Rice S, Gilbert C, Bhatnagar S, Robidoux C, Iaccarino M. (2022). Fear, Anxiety, and Return to Sport After Cycling Crashes, *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America* 33, 1, (107-122). <https://doi:10.1016/j.pmr.2021.08.008>.
- [50] Puleo R, Barreveld A, Rice S, Plante A, Kotler D. (2022). Unique Concerns of the Woman Cyclist. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 33, 1, (61-79).
<https://doi:10.1016/j.pmr.2021.08.005>
- [51] Lopez D, Malloy L, Arcoleo K. (2022). Police narrative reports: Do they provide end-users with the data they need to help prevent bicycle crashes?, *Accident Analysis Prevention*
<https://doi:10.1016/j.aap.2021.106475> 164.
- [52] Pioneericyclo.How to pedal like a Pro?
https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&v=Bg4q-54u9Bg&feature=emb_logo.
(Son Erişim: 10.06.2022)
- [53] Holliday W, Swart J. (2021). A Dynamic Approach to Cycling Biomechanics. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2021.08.001>
- [54] Swart J, Holliday W. (2019). Cycling Biomechanics Optimization—the (R) Evolution of Bicycle Fitting. *Current Sports Medicine Reports Volume 18 - Issue 12 - p 490-496*.
<https://doi:10.1249/JSR.0000000000000665>

- [55] Ayachi F, Dorey J, Guastavino C. (2015). Identifying factors of bicycle comfort: An online survey with enthusiast cyclists. *Journal of Applied Ergonomics*.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.07.010>
- [56] Quesada J, Pérez-Soriano P, Lucas-Cuevas A, Palmer R, Rosa M, Anda C. (2016). Effect of bike-fit in the perception of comfort, fatigue and pain. *Journal of Sports Sciences*.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1215496>
- [57] Quesada J, Kerr Z, Bertucci W, Carpes F. (2018). The association of bike fitting with injury, comfort, and pain during cycling: An international retrospective survey. *European Journal of Sport Science*. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1556738>
- [58] Bini R, Hume A, Croft J. (2012). Cyclists and triathletes have different body positions on the bicycle. <https://doi.org/10.1080/17461391.2011.654269>
- [59] Corazza S, Mündermann L, Chaudhari A.M. (2006). A Markerless Motion Capture System to Study Musculoskeletal Biomechanics: Visual Hull and Simulated Annealing Approach. *Annals of Biomedical Engineering* 34, 1019–1029. <https://doi.org/10.1007/s10439-006-9122-8>
- [60] Begon M, Colloud F, Fohanno V, Bahuaud P, and Monnet T. (2009). Computation of the 3D kinematics in a global frame over a 40 m-long pathway using a rolling motion analysis system. *Journal of Biomechanics*; 42(16): 2649–2653. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.08.020>
- [61] Spörri J, Schiefermüller C, and Müller E. (2016). Collecting kinematic data on a Ski track with optoelectronic stereophotogrammetry: A methodological study assessing the feasibility of bringing the biomechanics lab to the field; 11(8): e0161757.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161757>
- [62] Panjkota A, Stancic I, and Supuk T. (2009). Outline of a qualitative analysis for the human motion in case of ergometer rowing. *WSEAS International Conference. Proceedings. Mathematics and Computers in Science and Engineering*.
- [63] Windolf M, Götzén N, and Morlock, M. (2008). Systematic accuracy and precision analysis of video motion capturing systems exemplified on the vicon-460 system. *Journal of Biomechanics*; 41(12): 2776–2780. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.06.024>
- [64] Maletsky LP, Sun J, and Morton NA. (2007). Accuracy of an optical active-marker system to track the relative motion of rigid bodies. *Journal of Biomechanics*; 40(3): 682-685.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2006.01.0170>
- [65] Butt A, Rovini E, Dolciotti C, Bongioanni P, De Petris G and Cavallo F. (2017). Leap Motion Evaluation for Assessment of Upper Limb Motor Skills in Parkinson's Disease. *International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR); IEEE. pp. 116-121*.
<https://doi.org/10.1109/ICORR.2017.8009232>
- [66] Skublewska-Paszkowska, M, Montusiewicz J, Łukasik E, Pszczola-Pasierbiewicz I, Baran KR, Smółka J, and Pueo, B. (2016). Motion capture as a modern technology for analysing ergometer rowing. *Advances in Science and Technology Research Journal*; 10(29): 132–140.
- [67] Bisiklet Kadro Boyu Hesaplama. <https://mobile.donanimhaber.com/bisiklet-kadro-boyu-hesaplama--143415296>. (Son Erişim: 10.06.2022)

- [68] Naksuk N, Lee G, and Rietdyk S. (2005). Whole-body human-to-humanoid motion transfer. *Proceedings of 2005 5th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robotics; Tsukuba, pp. 104-109.* <https://doi:10.1109/ICHR.2005.1573553>
- [69] Kadro Boyu. <https://www.bisiklopedi.com/madde/kadro-boyu>. (Son Erişim: 10.06.2022)
- [70] Manghisi VM, Uva AE, Fiorentino M, Bevilacqua V, Trotta GF, Monno G. (2017). Real time RULA assessment using Kinect v2 sensor. *Applied Ergonomics*; 65: 481-491. <https://doi:10.1016/j.apergo.2017.02.015>
- [71] Sigal L, Balan A, and Black M. (2009). HumanEva: synchronized video and motion capture dataset and baseline algorithm for evaluation of articulated human motion. *International Journal of Computer Vision*; 87(1-2): 4-27. <https://doi:10.1007/s11263-009-0273-6>
- [72] Kadro Geometrisi, <http://www.dagbisikletiturkiye.com>
- [73] How to Fit a Road Bicycle Overview: Body Contact Points, <https://blog.bikefit.com/how-to-fit-a-road-bicycle> (Son Erişim: 10.06.2022)
- [74] Bailey M, Maillardet F, Messenger N. (2011). Kinematics of cycling in relation to anterior knee pain and patellar tendinitis. *Journal of Sports Sciences*. <https://doi.org/10.1080/0264041031000102015>
- [75] Blocken B, Druenen T, Toparlar Y, Malizia f. (2018). Aerodynamic drag in cycling pelotons: New insights by CFD simulation and wind tunnel testing. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* <https://doi:10.1016/j.jweia.2018.06.011>
- [76] Knudson D. (2007). Biyomekanikğin Temelleri. Springer Science and Business Media
- [77] Bini R, Hunter J. (2022). Pain and body position on the bicycle in competitive and recreational road cyclists: A retrospective study. *Sports Biomechanics* <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1942967>
- [78] Wozniak CA. (1991). Cycling Biomechanics: A literature Review. *Journal of Sports Physical Therapy*. 1991;14(3):106-113 <https://doi:10.2519/jospt.1991.14.3.106>
- [79] Wilber C, Holland C, Madison R, Loy F. (1995). An Epidemiological Analysis of Overuse Injuries Among Recreational Cyclists. *International Journal of Sports Medicine*;16(3): 201-206. <https://doi:10.1055/s-2007-972992>
- [80] MC Ashe, GC Scroop, PI Frisken, CA Amery, MA Wilkins, KM Khan. (2003). Body position affects performance in untrained cyclists. *Journal of Sports Medicine*;37:441-444 <https://doi:10.1136/bjism.37.5.441>
- [81] Cervélo S5 White Paper Executive Summary Aero Performance. *Semantic Scholar*;Corpus ID: 50452658
- [82] Modraker Summum. <https://www.bigbike-magazine.com/vtt-2016-mondraker-summum> (Son Erişim: 10.06.2022)
- [83] Giant Anthem Advanced. <https://www.bicyclebluebook.com/value-guide/product/24148/> (Son Erişim: 10.06.2022)

ÖZGEÇMİŞ

Kübra Elif TOZKOPARAN

[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	
[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]