

**BİYOMEKANİK ANALİZ TABANLI İNSAN HAREKETİ
TANIMA ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**

Arş. Gör. Betül AY

Yüksek Lisans Tezi

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE

OCAK-2014

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

**BİYOMEKANİK ANALİZ TABANLI İNSAN HAREKETİ TANIMA
ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arş. Gör. Betül AY

(111129104)

Anabilim Dalı: Bilgisayar Mühendisliği

Programı: Yazılım

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 17 Aralık 2013

OCAK-2014

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİYOMEKANİK ANALİZ TABANLI İNSAN HAREKETİ TANIMA
ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**

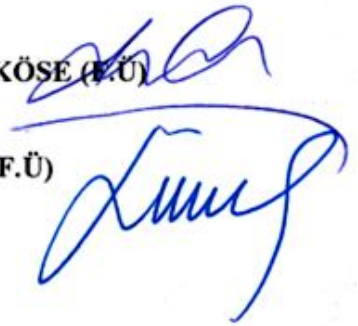
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arş. Gör. Betül AY

(111129104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 17 Aralık 2013
Tezin Savunulduğu Tarih: 02 Ocak 2014

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE (F.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erhan AKIN (F.Ü.)
Doç. Dr. Servet SOYGÜDER (F.Ü.)



OCAK-2014

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli vaktini bana harcayarak her türlü desteği veren, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoş görü ve sabırdan dolayı değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE' ye çok teşekkür ederim.

Tez araştırmasında ve laboratuvar koşullarının sağlanmasında bilgi ve tecrübesi ile her türlü imkanı sunarak destek veren, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim sayın Doç. Dr. Alper YILMAZ' a ve laboratuvar çalışmalarındaki yardımlarından dolayı araştırmacı arkadaşlarım Daniya ZAMALİEVA, Young-Jin LEE ve Polun LAI' ye müteşekkirim.

Ayrıca tez çalışmam boyunca bana destek olan, maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen değerli aile üyelerime çok teşekkür ederim.

Tez süresince, yurt dışı yüksek lisans araştırma desteği ile bilgi ve tecrübelerimin artmasına katkıda bulunan sayın Yükseköğretim Kurulu' na, MF.13.11. nolu proje ile teknik çalışmalarına destek veren Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (FUBAB) koordinatörlüğüne ve eğitimim boyunca emeği geçen üniversitemdeki tüm değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Betül AY
ELAZIĞ - 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET.....	III
SUMMARY	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	V
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. İnsan Hareketleri	2
1.2. Literatür Özeti	6
1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı	13
1.4. Tezin Yapısı	15
2. İNSAN HAREKETLERİNİN TANINMASI	16
2.1. Kamera Görüntülerinden Hareketin Algılanması.....	18
2.2. Eğitim Verilerinin Toplanması.....	21
2.3. Veri Ön İşleme	23
2.4. Hareket tanıma yöntemleri.....	26
2.5. Bölüm Değerlendirmesi	29
3. İNSAN HAREKETLERİNİN MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU.....	30
3.1. Önerilen Yöntem	31
3.1.1. İnsan Modeli ve Hareket Modeli	32
3.1.2. Kullanılan Veriler.....	35
3.1.4. Adaptif Yöntem.....	38
3.2. Deneysel Sonuçlar	41
3.3. Bölüm Değerlendirmesi	45
4. İNSAN HAREKETLERİNİN BİYOMEKANİKSEL ANALİZİ	46
4.1. Kullanılan Hareketler.....	48
4.2. Kinematik Verilerin Toplanması.....	49
4.3. Konum Zaman Verilerini Kullanarak Vektörel Hız Hesaplamaları.....	53
4.4. Önerilen Yöntem	54
4.5. Deneysel Sonuçlar	57
4.6. Bölüm Değerlendirmesi	63
5. HAREKET TANIMA YAKLAŞIMLARI.....	64
5.1. Kullanılan Donanım Bileşenleri.....	65
5.2. Anahtar Eklem Özellikleri Kullanarak Hareket Tanıma Yaklaşımı.....	67
5.2.1 Önerilen Yöntem	67
5.3. Deneysel Sonuçlar	73
5.4. Temel Bileşenler Analizi ile Özellik Çıkarımı.....	79
5.5. Bölüm Değerlendirmesi	84
6. SONUÇLAR.....	85
KAYNAKLAR.....	86
ÖZGEÇMİŞ	93

ÖZET

Bilgisayarla görmede hareket algısının bir parçası olan insan hareketlerinin analizi ve tanınması son yıllarda stratejik öneme sahip bir konu haline gelmiştir. İnsan davranışlarının anlaşılması için geliştirilen tanıma sistemleri; suç tespiti, güvenlik sistemleri, sanal gerçeklik, bilgisayarlı görme, insan ve bilgisayar etkileşimi gibi uygulamalarda araştırma alanı olmuştur ve tanıma problemlerini çözmek için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Gerçek video görüntülerinden elde edilen veriler ile insan hareketlerinin tanınmasına yönelik pek çok yöntem olmasına rağmen, insan hareketleri arasındaki bağıntılar ve ilişkiler yeterince araştırılmamıştır.

Bu tez kapsamında, üç temel katkı sağlayan çalışmalar sunulmuştur. İlk olarak, koşma hareketinin modellenmesi ve simülasyonu için adaptif yöntem ile birlikte bulanık mantık tabanlı bir yöntem önerilmiştir. İki boyutlu modele uygulanan yöntemin performansı simülasyon sonuçları ile test edilmiştir. Sonraki çalışmalarda, oturma, kalkma, zıplama, yürüme gibi doğal insan hareketlerinin biyomekaniksel analizi yapılarak, bu analizleri kullanan bilgisayar görme tabanlı insan hareketi tanıma algoritmaları geliştirilmiştir. Belirli bir hızda görüntü yakalayabilen bir sensör ile hareketli eklem noktalarından 3B veriler elde edilmiştir ve bu veriler toplanarak hareketlerin tanınması için basit ve güvenilir bir biyomekaniksel model oluşturulmuştur. Son olarak anahtar eklem özellikleri kullanarak ve Temel Bileşenler Analizi (TBA) ile özellik çıkarımı yapılarak önerilen tanıma yöntemleri, gerçeğe yakın zamanlı performans ve hassasiyetin pratik gerekliliğinin yanı sıra insan vücudunun biyomekaniksel teori bilgisini kullanarak avantaj sağlamıştır.

DeneySEL sonuçlar göstermiştir ki, önerilen tanıma yaklaşımı literatürde var olan çoğu yöntem ve modelden daha iyi bir performans ve hesapsal etkinlik sağlamıştır. Önerilen yöntemlerin sonuçları çeşitli bilimsel yayınlarla tartışılmış ve desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnsan hareketlerinin tanınması, hareket analizi, biyomekaniksel model, modelleme ve simülasyon, temel bileşenler analizi

SUMMARY

Development of Biomechanical Analysis-Based Human Motion Recognition Algorithms

Human motion analysis and recognition that is a part of motion perception in computer vision has become an issue of strategic importance in recent years. Recognition systems developed for understanding of human behavior has been numerous research fields including criminal identification, security systems, virtual reality, computer vision and human-computer interactions and several proposals have been made in order to solve the recognition problems. Although various methods have been proposed for recognition of human activities obtaining different data from realistic videos, the dependencies and relations among human motions have not been much investigated.

In the context of this thesis, the studies providing three main contributions have been presented. Firstly, a simulation method based on fuzzy logic with a novel adaptive method has been proposed for modeling and simulation of running motion. Simulation results of the method, which is applied to two-dimensional human model, have been tested. Secondly, biomechanical analysis of natural human motions such as sitting, standing up, jumping, walking have been performed and computer vision-based human motion recognition algorithms using this analysis have been developed. 3D data have been extracted from points of the moving joints with a sensor camera that can capture images at a certain speed, and it is constructed a simple and robust biomechanical model to recognition of human motions with these collected data. Finally, performed recognition methods with key-joint features and Principle Component Analysis (PCA) gains advantage using biomechanical information theory of human body as well as the practical requirements of near-real-time performance and accuracy.

Experiments validate that the proposed methods outperform most existing methods and the model is computationally efficient. The results of the proposed methods are discussed and supported by several scientific publications.

Key Words: Human motion recognition, motion analysis, biomechanical model, modeling and simulation, principle component analysis

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	İnsan vücut şekillerinin gösterimi.....	3
Şekil 1.2.	(a) Biyomekaniksel insan modeli	5
Şekil 1.3.	Özel bir kamera ile yakalanan görüntü dizileri ve bu görüntülerin 2 boyutlu gösterimi.....	6
Şekil 1.4.	KTH veritabanındaki bazı görüntü kareleri	7
Şekil 1.5.	Kinect kameradan insan hareketlerinin tanınması.....	9
Şekil 1.6.	KLT dedektör ile görüntü üzerinde özellik seçimi ve takip.....	11
Şekil 1.7.	Bazı insan hareketleri için iskelet takibi ve derinlik haritaları.....	12
Şekil 2.1.	Hareket sistemlerine genel bir bakış.....	17
Şekil 2.2.	Farklı veri ölçüm teknikleri ile kullanılan teknolojiler	19
Şekil 2.3.	RGB-D sensör üzerinden sanal iskelet testi ile hareketin algılanması	20
Şekil 2.4.	Hareket tanıma yaklaşımları için iş akışı.....	21
Şekil 2.5.	Deneme yüzler.....	27
Şekil 2.6.	Ortalama yüz	27
Şekil 2.7.	Önyüzler (eigenfaces)	27
Şekil 2.8.	Önerilen Yöntem	28
Şekil 2.9.	Önerilen Yöntem	29
Şekil 3.1.	Sistem blok diyagramı	31
Şekil 3.2.	Eklem ile bağlantılı dokuz parçalı insan modeli	32
Şekil 3.3.	Sağ üst-kol hareketi için farklı açı durumları.....	34
Şekil 3.4.	Eklem açıları ve bu açılara karşılık gelen hareketler dizisi.....	35
Şekil 3.5.	Koşma hareket dizisi.....	36
Şekil 3.6.	Hareket dizisindeki stil gösterimi	36
Şekil 3.7.	Bulanık mantık kontrolü	37
Şekil 3.8.	Adaptif yöntem ile bulanık mantık kontrolü	38
Şekil 3.9.	Giriş değişkenleri için üyelik fonksiyonları.....	40
Şekil 3.10.	Çıkış değişkenleri için üyelik fonksiyonları.....	40
Şekil 3.11.	Koşma hareket döngüsü.....	42
Şekil 3.12.	Eklem Açıları ve Açı Değişimleri	43

Şekil 3.13.	Açıların değişim durumu	44
Şekil 4.1.	Hareket analiz çeşitleri.....	46
Şekil 4.2.	Zıplama (A) , ileri zıplama (B), bir nesneyi alma (C), el sallama (D), kalkma (E), kaldırma (F), sekme (G),sekme (G), oturma (H), yürüme (I) hareketi ve eklemlerin iskelet modeli	48
Şekil 4.3.	Hareketli eklem noktalarına ait konum bilgilerinin elde edilmesi	49
Şekil 4.4.	Hareket verilerinin kaydedilmesi.....	50
Şekil 4.5.	3B konum bilgilerinin bulunduğu örnek dosya.....	51
Şekil 4.6.	Hatalı veri içeren bazı kamera görüntüleri.....	52
Şekil 4.7.	El sallama hareket döngüsü.....	55
Şekil 4.8.	Konum-zaman ve hız-zaman grafiği.....	56
Şekil 4.9.	Oturma hareketine ait konum-zaman grafiği	57
Şekil 4.10.	Kaldırma hareketine ait konum-zaman grafiği.....	58
Şekil 4.11.	El sallama hareketine ait konum-zaman grafiği	58
Şekil 4.12.	Kalkma hareketine ait konum-zaman grafiği	59
Şekil 4.13.	Bir nesneyi alma hareketine ait konum-zaman grafiği	59
Şekil 4.14.	Oturma hareketine ait hız-zaman grafiği	60
Şekil 4.15.	Kaldırma hareketine ait hız-zaman grafiği.....	61
Şekil 4.16.	El sallama hareketine ait hız-zaman grafiği	62
Şekil 4.17.	Kalkma hareketine ait hız-zaman grafiği	62
Şekil 4.18.	Bir nesneyi alma hareketine ait hız-zaman grafiği	63
Şekil 5.1.	Kullanılan Malzemeler.....	65
Şekil 5.2.	Kalkma hareketi ve hareketin simülasyonu	66
Şekil 5.3.	(a) zıplama; (b) yürüme; (c) kaldırma; (d) el sallama; (e) bir nesneyi alma; (f) atlama	66
Şekil 5.4.	Önerilen yöntemle genel bir bakış.....	67
Şekil 5.5.	Biyomekaniksel İnsan Modeli.....	68
Şekil 5.6.	Kinect sensörün nasıl çalıştığının bir gösterimi	70
Şekil 5.7.	Test Sahnesi.....	73
Şekil 5.8.	Bir sanal iskelet ile takip edilen 3 kategorideki insan hareketleri.....	74
Şekil 5.9.	Bir kaldırma hareketi için veri ön işleme sonuçları.....	75
Şekil 5.10.	Önerilen yöntem ile oturma(sitting down), kaldırma (lifting), el sallama(hand waving) hareketlerinin tanınması	76
Şekil 5.11.	Önerilen yöntem ile bir oturma hareketi için tanıma sonuç grafiği.....	77

Şekil 5.12. Bir oturma hareketi için anahtar eklem noktalarının gösterimi.....	77
Şekil 5.13. Eigenaction kullanarak hareket tanıma algoritması.....	79
Şekil 5.14. Kaldırma hareketine ait veri matrisi	82
Şekil 5.15. Bir nesneyi alma hareketine ait veri matrisi.....	82
Şekil 5.16. Ayakta durma hareketine ait veri matrisi.....	82
Şekil 5.17. Veri matrislerinin birleştirilmesi	83
Şekil 5.18. Ortalama Hareket.....	83

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. İnsan hareketleri	2
Tablo 2.1. İnsan hareketlerini tanıma sistemlerinin önemli uygulama alanları.....	16
Tablo 3.1. 9 parçalı insan modelinde kullanılan temel parametreler	33
Tablo 3.2. Vücut parça uzunlukları	36
Tablo 3.3. Kural Tablosu	41
Tablo 4.1. Konum-Zaman verilerinden hız hesaplaması.....	55
Tablo 5.1. Biyomekaniksel Modeldeki (Şekil 5.4) Anahtar Eklemler	71
Tablo 5.2. Karışıklık Matrisi.....	78
Tablo 5.3. Karşılaştırma Tablosu	78

SEMBOLLER LİSTESİ

V	: Vektörel hız
P	: Koordinat konumu
D_i^{Joint}	: Özellik vektörü
α	: Ekleme açısı

KISALTMALAR LİSTESİ

RGB-D	: Kırmızı, yeşil, mavi, derinlik kamerası
TBA	: Temel Bileşenler Analizi
KTH	: Araştırma Proje Veritabanı
IXMAS	: Hareket Toplama Dizileri
MoCap	: Hareket Yakalama Veritabanı
TOF	: Uçuş Hızı Yöntemi
GigE	: Gigabit Ethernet Kamera
SDK	: Yazılım Geliştirme Kiti
2B	: İki boyutlu
3B	: Üç boyutlu

1. GİRİŞ

İnsan vücut yapısının, duruşunun ve son zamanlarda hareketlerinin tanınmasına yönelik görsel gözetim, akıllı sistemler ve robotik gibi potansiyel pek çok uygulama, bilgisayarlı görmede önemli ve cazip bir araştırma alanı haline gelmiştir [1]. Hareket tanıma yöntemleri, kayıtlı kamera görüntüleri üzerinden elde edilen veriler ile doğal insan hareketlerini tahmin etmeyi hedeflemektedir. Bir hareketin tanınabilmesi için, insan hareketlerinin detaylı bir analizi ve farklı hareketlere ya da aynı hareketlerin farklı stillerine ait doğru verilerin elde edilmesi gerekmektedir. Hareketleri analiz edebilen gerçek zamanlı bir sistem ihtiyacı günümüzde son derece önemlidir. Örneğin, fizik tedavi egzersizlerini sürekli takip etmek ve analiz etmek gereklidir ya da bir topluluktaki anormal bir davranışın bir zarara sebebiyet verilmeden tespit edilmesi gerekmektedir.

Hareketlerin yakalanarak takip edilebilmesi ve verilerin alınabilmesi için pek çok maliyetli ve zaman alıcı teknolojiler kullanılmaktadır [2]. Çoğu tanıma yöntemleri vücudun eklem noktalarına işaretçiler koyarak ya da hareket görüntülerini almak için bir kamera ya da lazer sensör gibi optik cihazlar kullanarak vücut iskeletinin gösterilmesi, hareketli eklem noktalarına ait konum bilgilerinin alınması, kullanıcı silüetinin çıkarılması gibi bilgiler almayı hedeflemektedir. Günümüzde, RGB-D kameralarının geliştirilmesi sayesinde bir insanın konumunu hareket sırasında gösteren bir veri kümesi elde etmek mümkündür. Sensor ya da işaretçi kullanımı kullanıcı için rahatsızlığa ve aynı zamanda kullanım suresinde işaretçilerin yanlış yerleştirilmesi ve yerinden oynaması durumunda hatalara neden olabilmektedir. RGB-D kameralar bu yönüyle avantaj sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, oturma, kalkma, zıplama, yürüme gibi doğal insan hareketlerinin biyomekaniksel analizi yapılarak, bu analizleri kullanan bilgisayar görme tabanlı insan hareketi tanıma algoritmaları geliştirilmiştir. Uygun sayıda seçilen aktörlerden hareket verileri elde edilerek, insan hareketlerini tanıyan bir tanıma sistemi inşa edilmiştir. Belirli bir hızda görüntü yakalayabilen bir RGB-D sensör kullanılarak hareketlerin takip edilmesi, hareketli eklem noktalarından 3B veriler elde edilmesi ve bu veriler toplanarak hareketlerin tanınması için güvenilir bir model oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen sistem, gerçeğe yakın zamanlı performans ve hassasiyetin pratik gerekliliğinin yanı sıra insan vücudunun biyomekaniksel teori bilgisini kullanarak avantaj sağlamıştır.

1.1. İnsan Hareketleri

İnsan hareketi, esnek hareketin bir alt bileşeni olan eklemli hareketin bir çeşididir [3]. Eklemli hareket, vücut parçalarının birlikte hareket etmesi olarak düşünülebilir. İnsan vücudunun eklemli hareketi, bireysel vücut bölümlerinin parçalı sert hareketlerinden oluşur, fakat genel olarak tüm vücudun hareketi katı değildir. Hareket analizlerinde kullanılan insan vücut modellerinde, vücut bölümleri, diz, omuz, dirsek, kalça gibi eklemler ve kollar, bacaklar, gövde gibi vücut parçalarından oluşmaktadır. Bu parçalar katı parçalar olarak adlandırılan çeşitli kemikleri içermektedir.

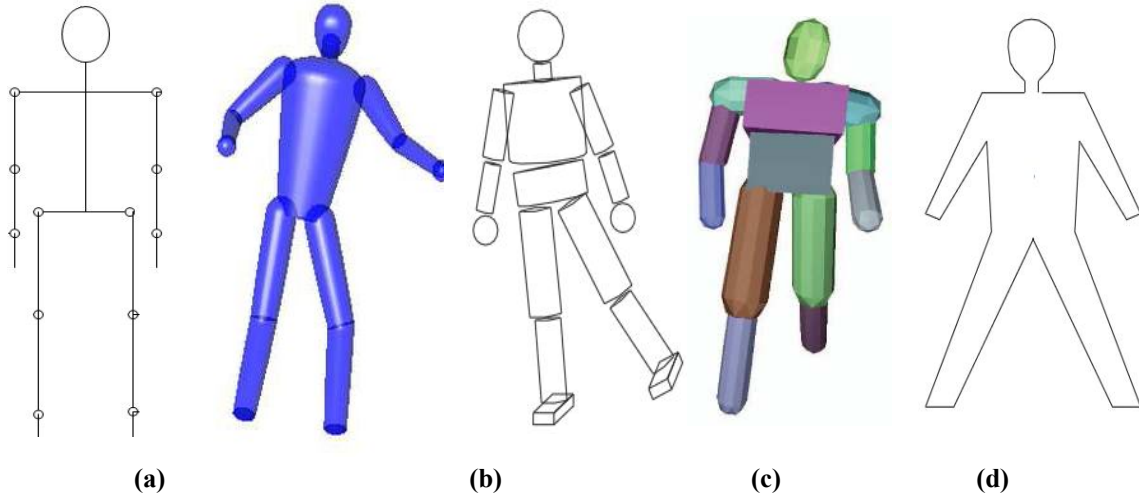
İnsanlar iskelet ve kas sistemi sayesinde bulunduğu ortamda yer değiştirebilir, günlük yaşamdaki ihtiyaçlarını karşılayabilir, sportif faaliyetlerde bulunabilir ve daha birçok istenilen hareketleri gerçekleştirebilir. Bu eylemlerin hepsi kol, bacak, el, ayak, gövde gibi vücut parçalarının hareketleri ile farklı hareket sınıflarını meydana getirir. Tablo 1.1’ de temel insan hareketleri, periyodik hareketler ve karmaşık hareketler şeklinde üç sınıfa ayrılmış bazı insan hareketleri ve faaliyetleri listelenmiştir [4].

Tablo 1.1. İnsan hareketleri

Temel İnsan Hareketleri	Periyodik İnsan Hareketleri	Karmaşık İnsan Hareketleri
Durmak	Koşmak	Bir yere oturup, kalkmak
El kaldırmak, indirmek	Yürümek	Bir nesneyi fırlatmak
Bir nesneyi kaldırmak	Atlamak	Sendelemek, emeklemek
El sıkışmak	Tempolu koşmak	Dönmek
El uzatmak	Uzun adımlarla yürümek	Tırmanmak
Eli geri çekmek	Zıplamak	Kavga etmek
Bir nesneyi itmek, çekmek	Sekmek	Spor yapmak
Bir nesneyi taşımak	Kürek çekme	Dans etmek

Bir insan hareketini anlık olarak gözlemlediğimizde zaman içerisinde düzgün olarak değişen duruşlar dizisi olarak ifade edebiliriz. Hareket, birbirleriyle ilişkili olan bu duruşlar dizisinin zaman içerisindeki değişiminin incelenmesiyle analiz edilebilmektedir. Hareketleri oluşturan bu anlık duruşların birbirleriyle ilişkilerini analiz edebilmek için eklem noktalarından alınan konum, hız ya da açı bilgilerinden faydalanılmaktadır. Çünkü hareket, eklem noktalarının açısal değişime uğramasıyla oluşmaktadır.

Eklemlili insan hareketi, hareket analizlerinde önceden belirli bir model alınıp alınmamasına bağılı olarak görünüm tabanlı (model tabanlı olmayan) ve model tabanlı olmak üzere iki tip uygulama alanına sahiptir. Model tabanlı teknikler yüksek seviyeli karmaşık hareketleri anlamak için daha uygun olduğundan sıklıkla kullanılmaktadır [5]. Vücut parçalarının hareket analizi üzerine yapılan çalışmalarda, insan vücudu model tabanlı olmayan uygulamalarda çubuk şekiller ve iki boyutlu kontörler; model tabanlı uygulamalar genel olarak iki boyutlu ve üç boyutlu model yaklaşımlarına bağılı olarak çubuk şekiller, hacimsel ve üç boyutlu şekillerle gösterilir [6]. Bu vücut gösterimleri Şekil 1.1’ de verilmiştir.



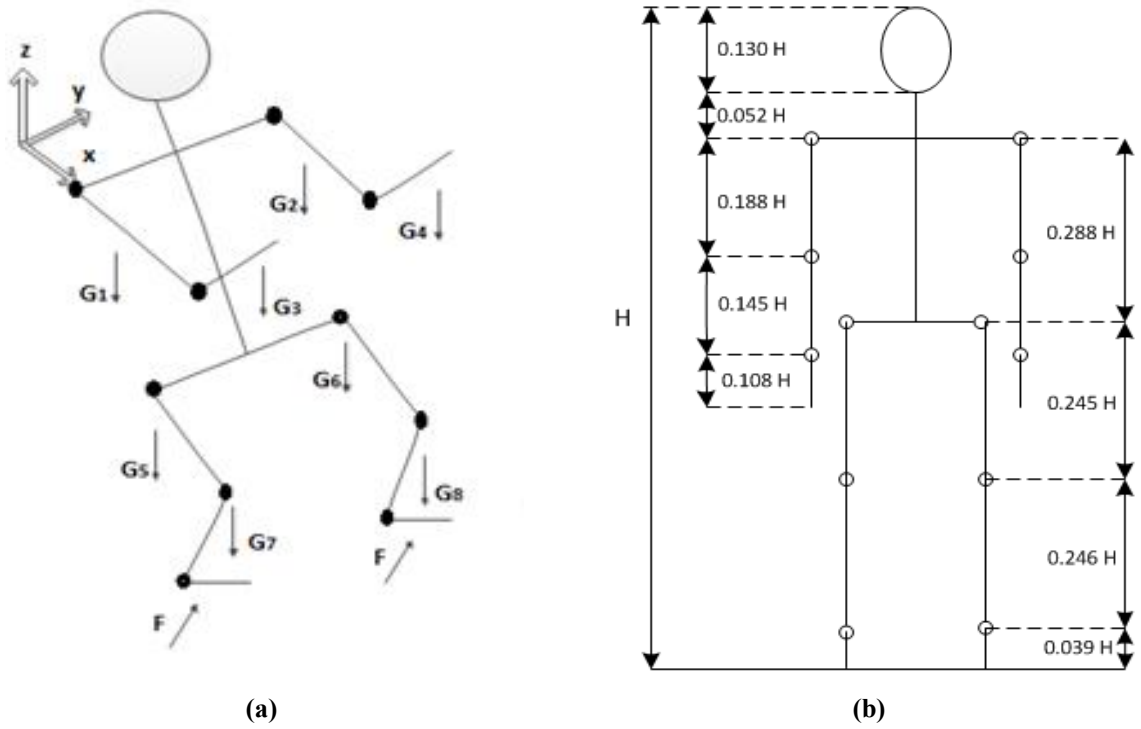
Şekil 1.1. İnsan vücut şekillerinin gösterimi. (a) çubuk şekil modeli [7] (b) 3 boyutlu hacimsel model [9, 10]; (c) 3 boyutlu model [11]; (d) 2 boyutlu kontür model [8].

Çubuk şekiller, kemiklerin hareketine bağılı olarak vücut parçalarının hareketini göstermektedir ve insan vücudunun çubuk şekillerle gösterimi için vücut parçalarını eklem noktalarından birleştirilen çizgiler kullanılmaktadır. 2 boyutlu kontür model, 3 boyutlu insan vücudunun 2 boyutlu görüntülere yansımaları sonucu görülen şekillerdir. 3 boyutlu hacimsel şekiller, insan vücudunun koni, silindir, küre gibi hacimsel cisimler ile gösterimidir. İnsan vücudunun çubuk şekiller ile gösterilerek modellenmesi ya da hareketlerin tanınmasında çubuk şekiller gibi basit modellerin kullanılması avantajlıdır. Basit modeller, hareketin detaylarına dikkati çekerken daha karmaşık modeller vücudun şekli ve duruşundaki ince ayrıntıları işlediği için hareketin tespitini ve analizini zorlaştıracaktır.

Tarih boyunca insan hareketi çalışmaları maliyetli ve zaman alıcı olmuştur [12]. Hareketler sürekli ayrıştırılıp, hızına göre adım adım hesaplanarak analiz edilmiştir. Hareket analiz sistemleri, insan hareketlerinin belirli yöntemlerle doğru ölçümünü hedefleyen sistemlerdir. Bir hareketin doğru olarak gerçekleşmesi, tasarlanan modelin hata oranına bağlı olarak değişmektedir. Bir hareketin modellenmesinde hata oranının düşürülmesi, vücut biyomekaniğinin çok iyi bir biçimde incelenmesini ve analiz edilmesini gerektirmektedir. Karmaşık bir yapıya sahip olan vücut biyomekaniği, çözümlemesi zor bir problemdir ve birçok araştırmacı bu problem üzerine inceleme yapmaktadır [13–18]. Biyomekanik, klasik mekaniğin biyolojik ve fizyolojik sistemlere uygulanmasıdır [19]. Hareket sistemlerinde kullanılan biyomekaniksel analiz, canlı hareketlerinin tanınması ve analizi için mühendislik prensiplerinin biyolojik sistemlere uygulanmasıdır.

Mühendislikte sistem dinamiği, kinetik ve kinematik olmak üzere ikiye ayrılır [20, 21]. Kinematik analizde hareketi oluşturan kuvvetler göz önünde bulundurulmaz, sadece sistemi oluşturan mekanizmanın hareketi incelenir. İnsan hareketlerinin kinematik analizinde, eklem noktalarının konumları, eklem açıları, hızları ve ivmeleri gibi sayısal veriler elde edilir. Bir hareket gerçekleşirken pozisyon ve hız bilgilerinin alınması, hareketin daha doğru şekilde modellenmesini veya tanınmasını sağladığından dolayı hareket analiz sistemlerinde kinematik veriler sıklıkla tercih edilmektedir. Kinetik analizde, çeşitli hareketler için kas-iskelet yapısı üzerine uygulanan kuvvet ve momentler incelenir. Biyomekanik analizlerinde kullanılan yöntemlerin iyi sonuç vermesi hız ve konum bilgilerini içeren kinematik verilerin doğru tespitine bağlıdır. Hareket verisi, analizde kullanılan biyomekanik model ile kinematik olarak tutarlı olmalıdır. Şekil 1.2(a)'da basitçe biyomekaniksel insan modeli gösterilmiştir. Tez çalışmasında, sensör kameradan alınan vücut eklem verileri ile tutarlı 15 eklem noktalı biyomekaniksel bir model geliştirilmiştir.

Leonardo da Vinci (1492), *Vitruvius Adamı* isimli çalışmasında insan vücudundaki belirli oranları göstermeyi amaçlamıştır ve insan vücudundaki bu ölçüleri belirlerken eski Mısırlılar ve Yunanlar tarafından keşfedilen Altın Oran'ı kullanmıştır [22]. İnsan vücudunun parçaları arasında belirli oranlar bulunsa da, vücut parçalarının uzunlukları kişiden kişiye, vücut yapısına göre değişmektedir. İnsan hareketleri çalışmalarında kullanılacak olan model için bu uzunlukların ortalama bir değer olarak alınması hareketlerin tanımlanabilmesi açısından faydalıdır. Şekil 1.2(b)'de vücut yüksekliği H olarak alınan parça uzunları gösterilmiştir [23].



Şekil 1.2. (a) Biyomekaniksel insan modeli ; (b) Vücut parça uzunlukları (Vücut yüksekliği, H) [23].

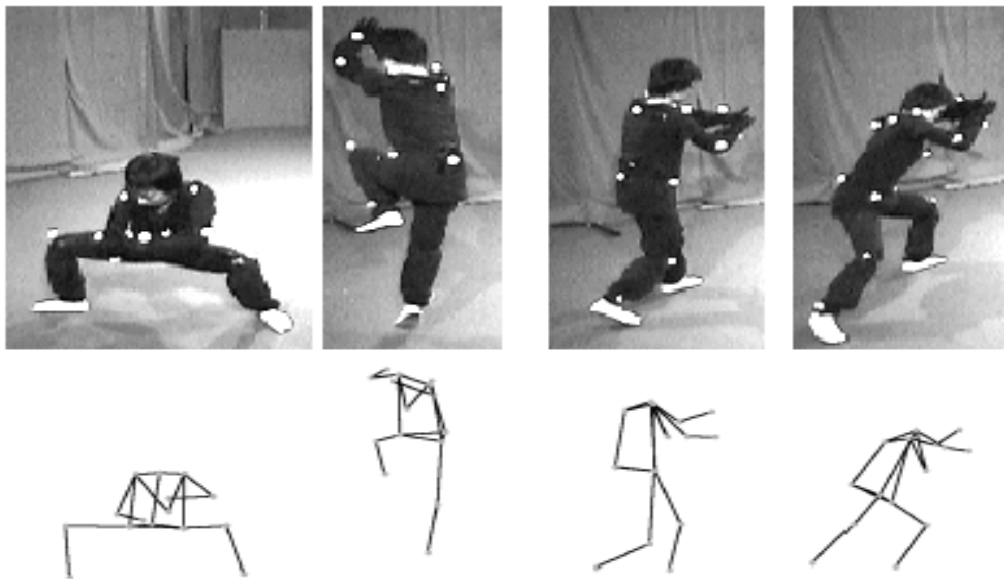
Eklem noktalarının konumları, eklem açıları, hızları ve ivmeleri gibi kinematik veriler ya da kas-iskelet yapısı üzerine uygulanan kuvvetler ve momentler gibi kinetik verileri kullanarak insan hareketlerinin biyomekaniksel analizini yapan pek çok çalışma vardır [24–26]. Abboud [27], omuz açısının hareketini ve hareket esnasında ekleme etki den üç boyutlu kuvvet ve torklar gibi kinetik verileri analiz eden bir model geliştirmiştir. Bir matematiksel model yazılımı kullanarak tasarladığı modelde, boy, kilo, kol ve bacak uzunlukları gibi antropometrik verileri sağlıklı bir kişiden ölçerek elde etmiştir. Koşma, yürüme gibi günlük yaşamda kullanılan hareketlerde ve cirit atma, kayak, halter kaldırma gibi karmaşık spor faaliyetlerde de biyomekaniksel analiz için geliştirilmiş pek çok model literatürde sunulmuştur [28–30]. Younggun ve Yoon [31], araç sürüş kalitesini geliştirmek için koltuk arkılığı olan bir koltuk üzerindeki insanın biyomekaniksel modelini geliştirilmiştir. Maria Lund [32], ters kinematik modelleme kullanarak biyomekaniksel kayak çalışması yapmıştır.

Bu tez çalışmasında, kamera görüntüleri üzerinden insan hareketlerinin tanınması için oturma, kalkma, el sallama, yürüme, koşma gibi pek çok hareketlerin biyomekaniksel analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ile doğal insan hareketlerini tahmin etmeyi ve grafiksel olarak işlemeyi hedefleyen hareket simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

1.2. Literatür Özeti

İnsan hareketlerini yalnızca gözlemleyerek ve laboratuvar koşullarında hareketlere ait verileri elde ederek pek çok hareket çalışmaları yapılmaktadır. Kısa mesafeli bir koşuda atletin, diğer atletlere göre takozdan hızlı ya da yavaş çıkması gibi bazı uygulamalar bir hareketin kamera üzerinden yalnızca görsel olarak gözlemlenmesi ile ilgilenir (niteliksel analiz). Takozdan çıkarken kollara verilen kuvvetin ya da hızlanma ivmesinin ölçülmesi gibi bazı uygulamalar harekete ait veriler ile ilgilenir (niceliksel analiz). Kamera görüntüleri üzerinden bir harekete ait niceliksel bilginin alınması son derece önemlidir. Bir hareketin niceliksel analizinde, iki ve üç boyutlu verilerin elde edilmesi için yaygın olarak gerçek zamanlı RGB-D kamera [33], time-of-flight kamera [34] ya da diğer giyilebilir optik cihazlar [35] kullanılır.

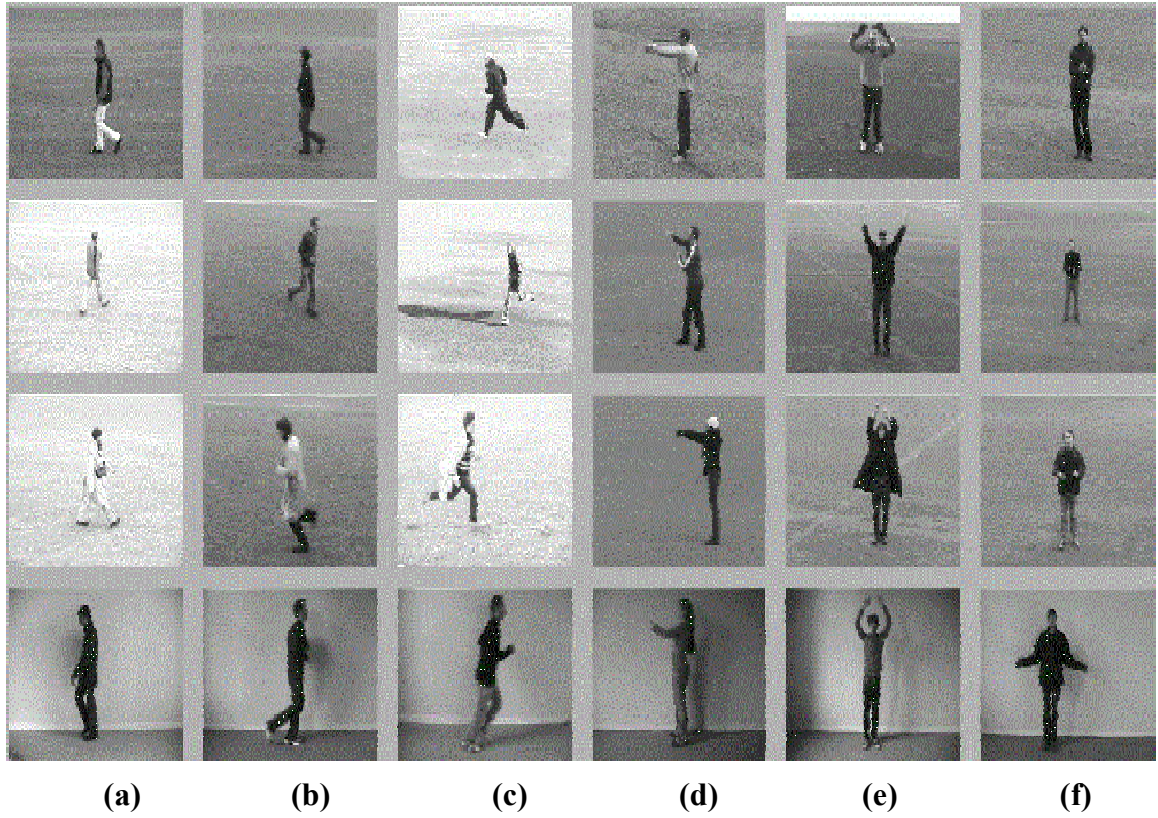
Eklem noktalarına işaretleyiciler yerleştirilerek ya da özel bir takım elbise giyilerek konum, açı ve hız gibi niceliksel bilgiler elde edilebilen çeşitli yöntemler geliştirilmiştir [36-40]. Yamane ve Shakunaga [35], hareket yakalama sistemi ile elde edilen benzer hareketler arasında bir korelasyon matrisi kullanarak bir dans hareket analiz sistemi geliştirmiştir. Şekil 1.3' de gösterildiği gibi eklem noktalarında işaret cihazları bulunan özel bir kıyafet giyen kişinin hareketleri, kamera tarafından yakalanır ve bu işaretleyiciden alınan veriler ile eklem konum bilgisi hesaplanarak çubuk şekiller ile ilgili hareketin modeli oluşturulur.



Şekil 1.3. Özel bir kamera ile yakalanan görüntü dizileri ve bu görüntülerin 2 boyutlu gösterimi [35].

Giyilebilir cihazlar ya da işaretçiler, eklem noktalarına yanlış yerleştirildiğinde veya kullanımı sırasında eklem noktalarından kaydırdığında, harekete ait hatalı bilgiler verebilmektedir. Bu cihazlar kullanıcıyı son derece rahatsız etmekle birlikte, hareketin tanıma doğruluğu vücuda yerleştirilen işaretçi sayısına bağlı olarak değişmektedir. Hareketin algılanması için, time-of-flight kamera RGB-D kamera ile karşılaştırıldığında oldukça hızlıdır fakat çok yüksek bir maliyete sahiptir.

Laboratuvar şartlarında çeşitli yöntemler ve aktörler ile hareket verilerinin elde edilmesinin yanı sıra, hareket tanıma çalışmalarında test ve eğitim için yaygın olarak kullanılan hareket veritabanları bulunmaktadır. Literatürde sıklıkla bahsedilen KTH [41] video veritabanı Şekil 1.4’ de görüldüğü gibi farklı aktörler tarafından gerçekleştirilen 6 farklı hareketi içermektedir.



Şekil 1.4. KTH veritabanındaki bazı görüntü kareleri [41], (a) yürüme; (b) tempolu koşma; (c) koşma; (d) boks; (e) el sallama; (f) el çırpma

Dondera [42], konum bilgisi ile oluşturulan olasılık dağılımı ile KTH veritabanındaki 6 farklı hareketi kullanarak bir hareket tanıma yaklaşımı sunmuştur. Hareket süresince görüntü dizileri arasında kısa ve küçük ilişkili doğrusal hareket özellikleri olduğunu

varsayarak, Gaussian dağılımı ile hareket vektör grupları oluşturmuştur. Yöntemin dezavantajı, bir hareketin tanınması için önceden hareket vektörlerinde tanımlanmış olması gerekir. Tian [43], kalabalık video görüntülerinde hareketin yapıldığı konum ve zaman bilgilerini kullanarak bir sınıflandırma yöntemi sunmuştur. Diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında hareket özellikleri iyi karakterize edilmiştir, ancak aynı bölgede gerçekleştirilen farklı hareketler sınıflandırılmamaktadır.

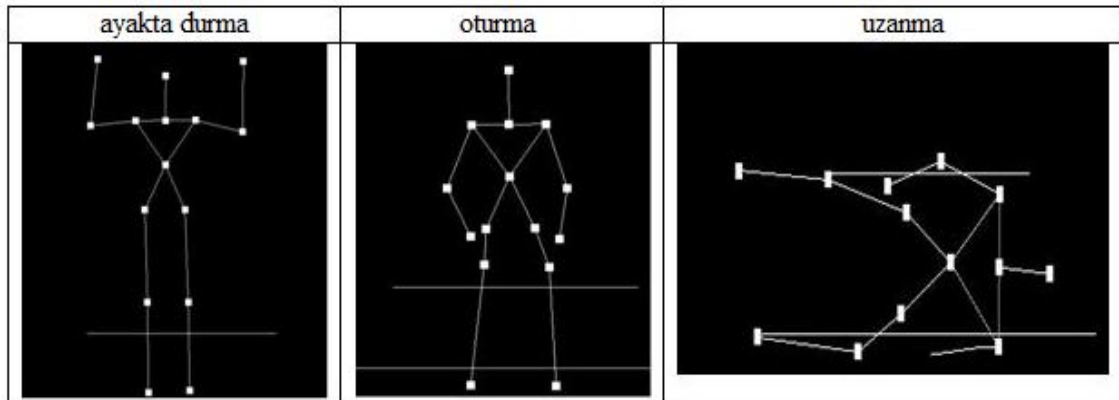
Benzer şekilde KTH veritabanını kullanan Wang [44], kamera görüntülerindeki benzer hareketler arasında ilişki kuran bir sparse model ile yeni yöntem sunmuştur. Benzer kamera görüntülerinden aynı harekete ait sınıflandırma performansı oldukça başarılıdır. Yöntem, hareketlerin eğitiminde her bir hareket sınıfının merkezi ile bir videonun histogram gösterimi arasındaki uzaklığı hesaplarken, bazı karmaşık arka plana sahip videoların histogram görüntüsü ait olduğu sınıftan uzak olabilir ve bu gürültüye neden olur. Gürültülü eğitim verileri bu çalışmada ihmal edilmiştir. [45]' de uzay-zaman özellikleri ve doğrusal olmayan Destek Vektör Makineleri kullanılarak 6 farklı hareketin tanınmasını sağlayan bir yöntem geliştirilmiştir. Hareket verileri otomatik olarak toplandığından, farklı hareketler sınıflandırılabilir. Yöntemin dezavantajı, koşma ve tempolu koşma hareketlerinde karışıklıklar oluşmasıdır. Kamera açısı değişikliklerine karşı güçlü bir hareket tanıma yöntem sunan Bregonzio [46], otomatik özellik seçimi ile çoklu kareler arasında bütünsel (holistic) bir özellik elde etmiştir. Uzay-zamansal yöntemler gürültülü görüntülere karşı hassas olduğu için doğru silüet seçimi önemlidir. KTH veritabanı görüldüğü üzere pek çok tanıma yöntemleri için kullanılmaktadır. Kalabalık video görüntülerinde tanıma performansı düşükken, tek hareketin gerçekleştiği videolarda bu performans yüksektir. Literatürde, 6 hareket sınıfı üzerine çalışıldığı için kullanılan yöntemler farklı hareket sınıflarında yetersiz kalabilmektedir. Yakınlaştırılmış kamera görüntüleri üzerindeki tanıma zorluğu, bu görüntülerin ihmal edilmesini gerektirmiştir.

Hareket tanıma çalışmalarına katkı sunmak ve geliştirilen yöntemlere test, eğitim verisi sunmak amacıyla oluşturulan diğer kaynaklar IXMAS ve MoCap veritabanlarıdır. IXMAS veritabanı [47], 13 farklı günlük yaşam hareketlerini içermektedir. MoCap veritabanı (<http://mocap.cs.cmu.edu/>) ise sportif aktiviteler, günlük yaşam aktiviteleri, yaygın davranış ve ifadeler, çeşitli durum ve senaryolar ile birlikte diğer veritabanlarına göre daha zengin bir içerik videosuna sahiptir. Ashraf [48], baş, omuz, dirsek, diz, el ve ayaktan oluşan insan vücudunun eklem noktalı gösterimini kullanarak, verilen test dizileri için karakteristik özellikler hesaplamıştır. Hareket noktalarının karakteristik vektörleri ile

hareket tanıma çalışması yapmıştır. IXMAS veritabanı ile geliştirilen yöntem, 3B gerçek insan hareketlerini içeren MoCap veritabanı üzerinde test edilmiştir.

İvmeölçer, jiroskop veya goniometre gibi vücut üzerine monte edilen optik cihazlar ya da maliyeti yüksek lazer kameraların aksine RGB-D sensör (Kinect), geliştirilen bir yazılım ile ortamdaki kişi algılanabilir, kişinin hareketleri takip edilebilir ve kişiye “sanal iskelet” giydirilerek eklem noktalarına ait veriler elde edilebilmektedir. RGB-D sensör kullanılarak oluşturulan bir diğer veritabanı RGBD-HuDaAct [49] veritabanıdır. RGB-D sensörlerde, derinlik özellikleri ile renk özellikleri birbirinden farklıdır. RGB-D sensörlerden insan hareketlerini tanıma zorluğu üzerine çalışma yapan Zhao ve ark. [50], derinlik haritaları ve görüntü haritaları oluşturarak bu iki özelliği birleştirmeyi hedeflemiştir. Kinect kamera ışık ve ses gürültülerinden etkilenebilmektedir, bu nedenle alınan derinlik görüntüleri hatalı olabilmektedir. Hatasız derinlik görüntüleri elde etmek için bu çalışmada, mekân-zamansal ikili filtreleme kullanılmıştır. Önerilen yöntem, RGBD-HuDaAct veritabanı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında, 3B dijital algılama cihazı olarak insan hareketlerinin renk ve derinlik bilgilerini toplayan RGB-D sensör kullanılmıştır. Çeşitli aktörler tarafından gerçekleştirilen günlük hayat aktiviteleri, hareketlerin biyomekaniksel analizi ve tanınması için test ve eğitim verisi olarak laboratuvar koşullarında kaydedilmiştir.

Hareketlerin tanınması ve sınıflandırılması için Saklı Markov Model, Yapay Sinir Ağları, Karar Ağaçları, Destek Vektör Makineleri gibi veri madenciliği yöntemleri kullanılmaktadır [51, 52]. [53]’de RGB-D sensörden alınan 20 eklem noktasına ait 3B veriler kullanılarak Şekil 1.5’ de görüldüğü gibi ayakta durma, oturma, uzanma gibi insan hareketlerini tanımak için veri madenciliği sınıflandırma yöntemleri geliştirilmiştir.



Şekil 1.5. Kinect kameradan insan hareketlerinin tanınması [53].

Oturan uzun bir insanın siluet uzunluğu, ayakta duran kısa bir insanın siluet uzunluğu ile benzerlik gösterdiğinden Bayes Sınıflandırıcı ve Karar Ağaçları yöntemlerinde sınıflandırma hataları oluşmuştur. Geri yayımlı yapay sinir ağları ise diğerk yöntemlere göre yüksek tanıma oranı ile başarılı bir performans göstermiştir. Rimkus [54], tek el hareketlerinin tanınması için test ve öğrenme aşamasında yapay sinir ağları yöntemini kullanmaktadır. 3B veri tarayıcı olarak bilinen bir RGB-D sensör kullanılarak derinlik görüntülerinden 3B koordinat bilgisi alınmıştır. Sensör tarafından yakalanan ve kaydedilen el hareketleri için referans nokta olarak, kişinin 3B baş koordinatları kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımda, farklı mesafelere bağılı el hareketlerinde, vücudun baş kısmının referans nokta olarak seçilmesi, literatürdeki benzer çalışmalara oranla daha iyi bir tanıma performansı sağlamıştır.

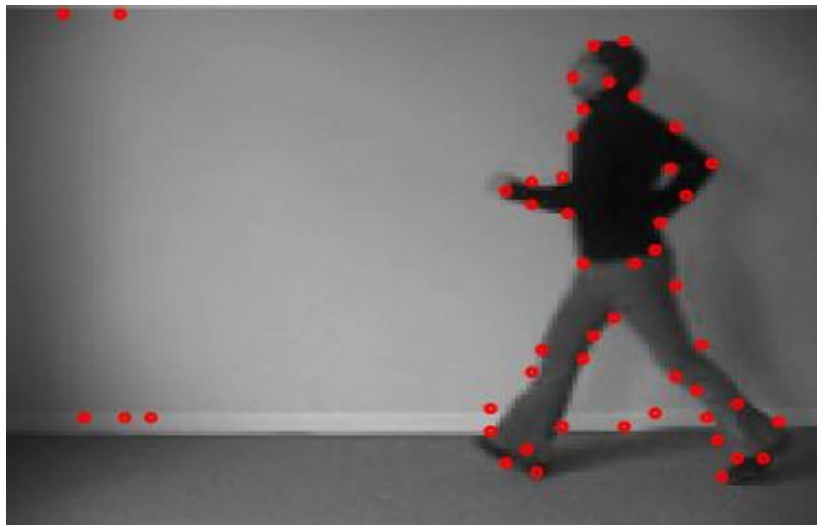
Bilgisayarlı görmede görsel gözetim, çeşitli görüntülerden elde edilen nesnelerin tespiti, tanınması, izlenmesi ve nesnelerin davranışlarının anlaşılması için kullanılır [55]. Görsel gözetim, hareket tespitinde büyük ve geniş bir ilgi alanıdır. Video görüntüsünden elde edilen normal ya da anormal davranışların tespiti ve sınıflandırılması için pek çok araştırma yapılmıştır [56, 57–59]. İnsan hareketleri kişi davranışları hakkında önemli bilgiler barındırabilmektedir. Bir kişinin parmak izi, ses kayıtları ve yüz özellikleri incelenerek kimlik tespiti yapabildiğimiz gibi kişilerin yürüme stillerine bakarak, yürürken oluşturdukları sesleri ya da izleri inceleyerek de kimlik tespiti yapılabilir. Her insanın farklı bir yürüme stili vardır. Bazen sadece yürüyüş şekline bakarak uzaktan gelen bir arkadaşın kim olduğunu fikir sahibi olunabilir. Huang ve arkadaşları [60], hareket sensörleri bulunan bir akıllı ayakkabı tasarlayarak, hareketleri tespit etmeyi hedefleyen, destek vektör makineleri gibi akıllı öğrenme yöntemleri önermiştir.

Yürüme stillerinin yanı sıra yürüme hızı da her bir kasın kasılma durumunu etkilemektedir. Farklı yürüme hızlarının kas, iskelet ve diğerk hareketlere etkisi üzerine sağlık, gözetim ve biyomekaniksel analizlerde pek çok çalışmalar yapılmıştır [61–65]. Yaşlı insanlarda bir süre sonra yürüme hızında yavaşlama görölmektedir ve oluşan yürüme bozuklukları düşme ve kazalara sebebiyet verebilmektedir. Yavaş yürüyen bir insanın genç mi yaşlı mı olduğunu ayırt etmek çoğı durumda zordur ve hareket analizlerinde bu zorlukla karşılaşılmaktadır. Kang ve Dingwell [66], bir koşu bandı kullanarak farklı yürüme hızları kontrolünde genç ve yaşlı insanların farklı yürüme şekillerini karşılaştırmıştır. Bacak kuvveti ve esneklik gibi faktörleri dikkate alarak çeşitli yürüme hareketlerinde yaş ve yürüme hızının etkisini ayırt etmeyi hedeflemiştir. Choi ve

arkadaşları [67], düz ve engebeli bir yürüme yolunda genç ve yaşlı insanların yürüme hareketlerini karşılaştırmıştır. İki farklı yürüme koşulları altında 3 boyutlu hareket analiz sistemini kullanarak hareket verilerini toplanmıştır ve hareket analizi için yürüme hızı, kalça, diz, ayak bileği açıları ve kütle merkezi gibi değişkenler kullanılmıştır.

Güvenlik alanlarında olduğu gibi sağlık, bakım ve yaşlı gözetimi alanlarında da görüldüğü üzere bu tanıma sistemleri büyük önem taşımaktadır. Khan ve Sohn [68], yaşlı insanların günlük yaşamdaki kusma, bayılma, düşme gibi anormal hareketleri tanıyan bir yaşlı bakım sistemi geliştirmiştir. Dubois ve Charpillat [69], Yaşlı bir insanın günlük aktivitelerini tanımak ve düşme gibi kazaları tespit etmek için Saklı Markov Modeli' ni kullanan bir yöntem önermiştir. Çömelme, düşme, yatma, kanepeye uzanma, bir nesne üzerine çıkma, yürüme, oturma, diz bükme gibi yaşlı bir insanın sekiz farklı hareketini sekiz durumlu bir Saklı Markov Model kullanarak ayırt etmeyi amaçlamıştır. Bir RGB-D sensör kullanarak düşme hareketini tanımayı amaçlayan sistem, sekiz hareketi de ayırt etmektedir ancak eğitim verisi sağlıklı aktörlerden alındığı için sistemin gerçekliliği tartışılmaktadır. Benzer şekilde [70]' deki çalışmada da, günlük hayattaki karmaşık hareketleri tanımak için Saklı Markov Modeli ve RGB-D sensörü kullanmıştır.

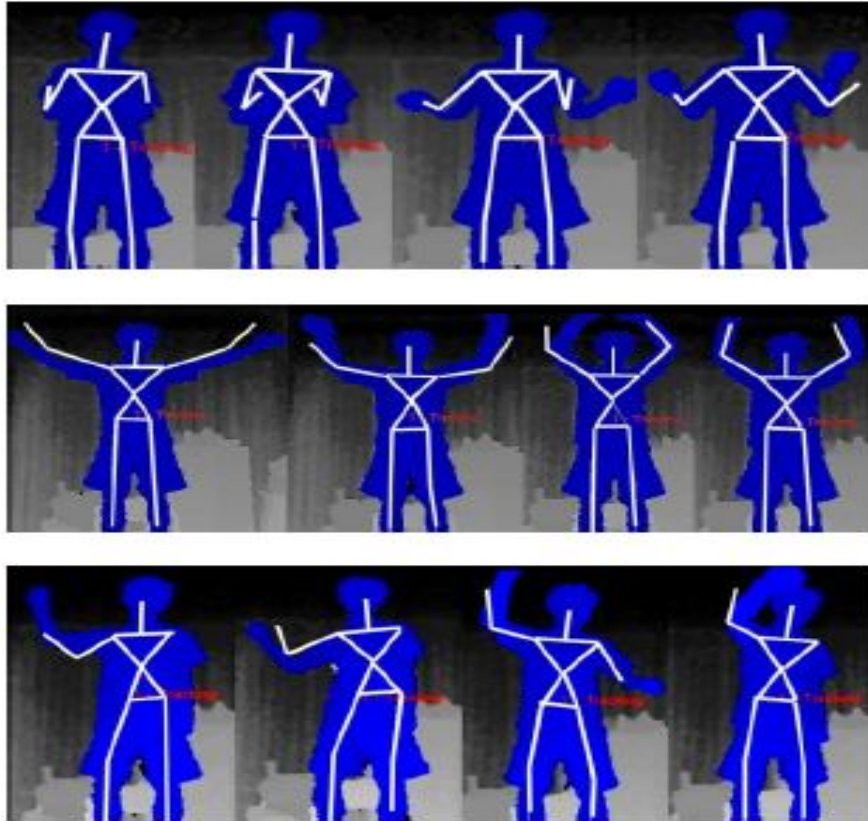
İnsan hareketlerinin tanınmasında, bazı çalışmalar görüş açısı ile sınırlı görüntü pikselleri üzerinden özellik çıkarırken [71], son zamanlarda hareket tanıma üzerine yapılan çalışmalar iskelet vücut modelini tercih etmektedir [72]. Xiao ve Mengyin [73], harekete ait iskelet eklemlerinin üç boyutlu koordinat olarak, karar ağaçları yöntemi ile hareketlerin tanınmasını amaçlamıştır.



Şekil 1.6. KLT dedektör ile görüntü üzerinde özellik seçimi ve takip [75].

Zou ve Liu [74], özellik çıkarımı için Bayes Ağlar kullanarak, bir iskelet modeli ile davranış sınıflandırma yöntemi sunmuştur. Thi ve arkadaşları [75], görüntü kareleri üzerinde özellik noktalarını takip eden KLT yöntemini kullanarak Şekil 1.6’ da görüldüğü gibi hareket takip ve tespit yöntemi geliştirmiştir. Alınan 2B bu özellik noktalarından ayırık geometrik model oluşturulmuştur. Koordinat ve hız bilgisi veren bu özellik dedektörü ile KTH veritabanındaki 6 farklı harekete ait graf yapısı çıkarılarak hareketlerin sınıflandırılması sağlanmıştır.

RGB-D sensör ile iskelet vücut modeli oluşturularak alınan 3B hareket verileri, hareket tanıma çalışmalarında özellik vektörlerine dönüştürülebilmekte ve hareketlere ait bu özellik vektörleri üzerine sınıflandırma yöntemleri uygulanabilmektedir. Bengalur [76], bir hareketle diğer hareketin özelliklerini ayırt etmek için çok sınıflı Destek Vektör Makineleri kullanmıştır. Kinect sensör kullanarak elde edilen test ve eğitim görüntüleri üzerinden, 3B eklemlili iskelet çıkarımı yapılmıştır ve hareketlere ait özellik vektörleri oluşturulmuştur. Makine öğrenmesi ve Destek Vektör Makineleri kullanılarak, çeşitli insanlar tarafından gerçekleştirilen farklı aktivitelerin tanınmasını sağlamıştır.



Şekil 1.7. Bazı insan hareketleri için iskelet takibi ve derinlik haritaları [77].

Şekil 1.7’ de sensör kamera ile insan hareketlerini takip etmek için oluşturulan iskelet vücut modeli gösterilmiştir. Özellik çıkarımı ile derinlik kameradan alınan görüntü dizileri, özellik dizilerine dönüştürülmüştür ve bu özellik vektörüne Dinamik Zaman Bükme algoritması uygulanmıştır [77]. Basit hareketler için iyi bir tanıma oranı yakalarken, daha karmaşık hareketler için iyi bir yöntem olduğu düşünülmemektedir. Her insanın vücut boyutu farklı olduğu için, her bir görüntü karesindeki insan vücut parçalarının eklem yönü kullanılarak özellik vektörü oluşturulmuştur.

1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu yüksek lisans tezinin amacı, günlük yaşamda sıklıkla karşılaşılan kaldırma, oturma, kalkma, yürüme gibi hareketlerin modellenmesi ve simülasyonu, biyomekaniksel analizlerinin gerçekleştirilmesi ve bu analizleri kullanan bilgisayar görme tabanlı insan hareketi tanıma algoritmalarının geliştirilmesidir. İnsan hareketlerini tanıma yöntemlerinin geliştirilmesi için, öncelikle çeşitli aktörler tarafından gerçekleştirilen hareketlere ait eğitim verileri alınmıştır ve biyomekaniksel bir model oluşturularak bu hareketler analiz edilmiştir. Hareket analizlerine göre geliştirilen biyomekaniksel model ile sensör kamera görüntülerinden alınan 15 farklı vücut eklem noktalarına ait veriler kullanılarak, özellik çıkarım yöntemleri geliştirilmiştir. Model tabanlı bir hareket simülasyonu ve tanıma yaklaşımı sunan tezin hedeflenen katkıları aşağıda sıralanmıştır

- Doğal insan hareketlerinden olan koşma hareketinin modellenmesi ve simülasyonu için adaptif yöntem ile birlikte bulanık mantık tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Doğrusal olmayan koşma hareketinin simülasyonu için seçilen iki boyutlu modele, elde edilen deneysel veriler ile birlikte önerilen yöntemler uygulanarak doğruluğu test edilmiş ve hareket simülasyonu başarıyla sonuçlanmıştır. Farklı eklem açılarının eş zamanlı olarak değişmesi ve bu değişimlerden kaynaklanan gecikmelerin önlenmesi sistemin temel bir hedefi olup, bu hedefe yönelik adaptif yöntem sunularak sistemin performansında artış sağlanmıştır.
- İnsan hareketlerinin biyomekaniksel analizlerinin yapılması ve tanıma yöntemlerinin geliştirilmesi için 5 farklı aktör tarafından üç kez gerçekleştirilen oturma, kalkma, kaldırma, bir nesneyi alma, yürüme, sekme, zıplama, tek ve

çift yönde el sallama hareketlerine ait eğitim verileri alınarak, küçük bir hareket veritabanı oluşturulmuştur. Bu veritabanı, ucuz maliyetli derinlik ve renk kameraları kullanılarak gerçekleştirilen tanıma çalışmalarına daha fazla yoğunlaşılmasını teşvik etmektedir.

- Toplanan hareket verilerinin, oluşturulan biyomekaniksel model ile tutarlı olabilmesi için, veri ön işleme algoritmaları geliştirilmiştir. Böylelikle sensörden alınan hatalı veriler ve görüntüler ayıklanarak, tanıma algoritmalarının performansının doğru şekilde ölçülmesi sağlanmıştır.
- Anahtar eklem özellikleri kullanılarak oluşturulan yaklaşım, daha az veri ile performansı yüksek bir tanıma yöntemi hedeflemiştir.
- İnsan vücudunun eklemlerine ait farklı hareket yörüngeleri tespit edilerek hareketin doğru tanınması için, 15 farklı eklem noktalı biyomekaniksel bir model oluşturulmuştur. Literatürde var olan diğer iskelet modelleri ile kıyaslandığında, tanıma için gerekli eklem sayısı azaltılmıştır.
- Önerilen yöntemler, hareketlere ait niceliksel bilgilerin doğru alınması halinde, pratik ve günlük hayatta karşılaşılan tüm hareketlere uyarlanabilir olduğu için güvenilir ve güçlüdür.

İnsan hareketlerinin tanınmasında pek çok problem ile karşılaşılmaktadır. Tez kapsamında bu problemleri çözmek için belirli hareket grupları ve belirli kamera açıları gibi varsayımlar üzerinden tanıma yöntemi sunulmuştur. Gerçek insan hareketleri üzerinden, eğitilen ve test edilen yöntemlerin performansı başarılı bir şekilde ölçülmüş ve deneysel sonuçlar ile gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar ile konferanslara sunulan bildiri çalışmaları aşağıda verilmiştir.

- Ay, B. ve Karaköse, M. “Koşma ve Yürüme Hareketlerinin Deneysel Analizi için Bulanık Kontrol Yöntemi”, Tok 2012, s: 682–687, Nevşehir, 2012.
- Ay, B. ve Karaköse, M. “Motion Classification Approach Based on Biomechanical Analysis of Human Activities ”, IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC), s: 615–622, Madurai, Tamilnadu, India, 2013.

- Tez çalışmasında kullanılan hareketlere ait görüntüler ve veriler, YÖK yurt dışı araştırma desteği ile The Ohio State Üniversitesi' ndeki Bilgisayarlı Görme Laboratuvarı' nda (Columbus, OH, USA - <http://dpl.ceegs.ohio state.edu/members.php>) elde edilerek test edilmiştir.
- M.F.13.11 nolu Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FUBAP) desteği alınarak yapılan çalışmalar başarı ile sonuçlandırılmış ve sunulmuştur.

1.4. Tezin Yapısı

Bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, insan hareketleri ve hareket analizleri hakkında genel bilgiler, literatürde var olan yöntemler, tezin amacı, kapsamı, sunduğu katkılar ve yapılan konferans çalışmaları yer almaktadır.

Bölüm 2' de insan hareketlerinin tanınması ile ilgili genel bilgiler, kamera görüntülerinden insan hareketlerinin algılanması ve insan hareketlerinin tanınmasında farklı veri ölçüm teknikleri ile kullanılan teknolojiler sunulmaktadır. Genel bir hareket tanıma yaklaşımı ile eğitim verilerinin toplanması ve eğitim verilerinin bulunduğu özel veritabanlarından bahsedilmektedir. Eğitim verilerine uygulanan veri ön işleme yöntemleri ve literatürde var olan hareket tanıma yöntemleri ile ilgili açıklamalar yer almaktadır.

Bölüm 3' de insan hareketlerinin modellenmesi ve simülasyonu için gerekli koşullara dikkat çekilmiştir. Karmaşık insan hareketlerinden olan koşma ve yürüme hareketlerinin modellenmesi ve simülasyonu için bulanık mantık tabanlı bir yöntem önerilmektedir. İnşa edilen iki boyutlu modelin, temel parametrelerine ve sağlıklı bir insandan alınan sayısal verilere yer verilmektedir. Önerilen yöntemin detayları üyelik fonksiyonları ve kural tabloları ile açıklanmaktadır. Simülasyon sonuçları ve performans değerlendirmesi ayrıntılı bir şekilde bölüm sonunda gösterilmektedir.

Bölüm 4' de biyomekaniksel hareket analizi ile ilgili genel bilgiler açıklanmaktadır. Tez kapsamında kullanılan hareketler ve kinematik verilerin elde edilmesi bu bölümde sunulmaktadır. Kullanılan hareketlerin biyomekaniksel analizi için önerilen yöntem ve deneysel sonuçlar detaylı olarak yer almaktadır.

Bölüm 5' de önerilen hareket tanıma algoritmaları ve bu hareket tanıma algoritmalarının ayrıntıları açıklanmaktadır. Önerilen tanıma algoritmalarının sonuçları, literatürde var olan diğer çalışmalar ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

2. İNSAN HAREKETLERİNİN TANINMASI

İnsan hareket analizinin bir parçası olan insan davranışlarının anlaşılması, sanal gerçeklik, otomatik izleme, akıllı video erişim, insan ve bilgisayar etkileşimi uygulamalarında önemli bir araştırma alanı olmuştur ve tanıma problemlerini çözmek için pek çok yöntem geliştirilmiştir. İnsan hareketlerini tanıma sistemleri genel olarak kamera görüntüleri üzerinden normal ya da anormal hareketlerin tespit edilmesini hedeflemektedir. Güvenlik alanlarında olduğu gibi sağlık ve bakım alanlarında da bu tanıma sistemleri büyük önem arz etmesi sebebiyle üzerinde çalışılması gereken son derece hassas bir konudur. Tablo 2.1’ de hareket tanıma sistemlerinin bazı uygulama alanları gösterilmiştir.

Tablo 2.1. İnsan hareketlerini tanıma sistemlerinin önemli uygulama alanları

Kişi Analizi	✓ Kamera görüntüleri üzerinden kişilerin takip edilmesi ✓ Takip edilen kişinin davranışlarının anlaşılması ✓ Eşkâl tespiti ✓ Kaybolan, kaçak kişilerin bulunması
Kalabalık Analizi	✓ Kalabalık ortamlardaki anormal hareketlerin tespiti ✓ Ortamdaki insan sayısının belirlenmesi ✓ Yoğunluk artışı, izdiham alarmı
Güvenlik Analizi	✓ Yasak alan ihlali yapan kişilerin tespiti ✓ Askeri alanda, hareketli bir hedefin takip edilmesi ✓ Suç olarak kabul edilen davranışların tespiti
Sağlık Analizi	✓ Kusma, bayılma, düşme gibi anormal hareketlerin tespiti ✓ Yaşlı bakım takibi ✓ Fiziksel engelli kişilerin tespiti

Bir kişinin anormal hareketlerinin tespit edilerek kullanılabilecek güvenlik sistemlerinden, fiziksel bir engeli olup olmadığı anlaşılabilir sağlık hizmetlerine kadar pek çok alanı kapsayan hareket tanıma sistemlerinin genel amacı, bir topluluktaki belirli davranışları sınıflandıracak yöntemi geliştirilerek faydalı bir uygulama oluşturmak ve tanıma problemlerine çözüm sunmaktır.

Hareket tanıma sistemlerinin karşılaştıkları problemler temel olarak iki şekilde ele alınabilir.

- İnsan vücudunun fiziksel yapısından kaynaklı tanıma problemleri
 - İnsan vücudu esnektir ve sayısız hareket gerçekleştirebilmektedir
 - İnsan vücudunun eklemleri, bir hareketi gerçekleştirmek için çok fazla serbestlik derecesine sahiptir
 - Her insanın vücut şekli farklıdır
 - Her insanın parmak izi, ses kayıtları, yüz özellikleri benzersiz olduğu gibi hareket stilleri de benzersizdir.
- Kamera görüntülerinden insan hareketlerini tanıma problemleri
 - Eğitim verilerindeki belirsizlikler
 - Hareketlerin sınıflandırılmasındaki zorluklar
 - Hareketlerin doğru tespiti
 - Gölge ve aydınlatma nedeniyle oluşan gürültüler
 - Giyilen kıyafetler
 - Kalabalık video görüntüleri

Hareket tanıma sistemleri, genel olarak 3 kısımda incelenir [78]. Şekil 2.1' de hareket sistemlerinin işleyişi ile ilgili genel bir bakış sunulmuştur.

1. Görüntüden ya da bir siluetten kişi tespit edilmesi,
2. Çeşitli yöntemlerle hareketin tanınması,
3. Elde edilen veriler ile hareketin sınıflandırılması



Şekil 2.1. Hareket sistemlerine genel bir bakış [78].

Basit ve performansı güçlü bir hareket tanıma sistemi için gerçekleştirilmesi gereken adımlar şu şekilde verilmiştir:

- Hareketlerin biyomekaniksel olarak analiz edilmesi ve tanıma tekniği için kullanılacak hareketlerin belirlenmesi
- Kamera görüntülerinden kişinin takibi için kullanılacak teknolojilerin belirlenmesi ve gerekli yazılımının gerçekleştirilmesi
- Uygun laboratuvar koşulları sağlanarak gerçekleştirilen yazılım uygulaması ile hareketlere ait verilerin toplanması
- Toplanan verilerin doğruluğunun ölçülmesi için simülasyon çalışmalarının yapılması ve gürültülerin tespit edilmesi
- Gürültüden kaynaklanan hatalı verilerin, bir ön işleme algoritması kullanarak tespit ya da ihmal edilmesi
- Doğrulan hareket verileri ile bir veritabanı oluşturularak gerçekleştirilecek tanıma sistemi için bir özellik çıkarım tekniği geliştirilmesi
- Hareket tanıma algoritmasının uygulanması ve hareketlerin sınıflandırılması. Deneysel sonuçlar ile önerilen yöntemin performansının değerlendirilmesi.

2.1. Kamera Görüntülerinden Hareketin Algılanması

İnsan vücudunun fiziksel yapısından kaynaklı tanıma problemlerini çözmek için, insan hareketlerine ait niceliksel bilgilerin alınması son derece önemlidir. İnsan hareketlerini tanımlama ve kaydetme problemini çözmek amacıyla ilk olarak, ortamdaki kullanıcıyı saptamak gereklidir. Hareketlerin yakalanarak takip edilebilmesi ve niceliksel bilgilerin alınabilmesi için pek çok maliyetli ve zaman alıcı teknolojiler kullanılmaktadır. Farklı veri ölçüm teknikleri ile kullanılan teknolojiler aşağıda verilmiştir (Şekil 2.2).

- 3B Lazer tarama
- Gerçek zamanlı RGB-D sensör
- Time-of-flight (TOF) sensör
- Giyilebilir optik cihazlar ya da işaretçiler
- Çoklu kamera görüntüleri



3B Vücut Tarama

- \$40.000 ile \$200.000 arasında değişmektedir
- 3B veri elde edilir ve elde edilen veriler yazılım aracılığıyla 3B görüntülenir
- Hızlı ve etkili şekilde veri elde edilir, kaydedilir
- Kısa bir sürede tüm vücut yüzeyi taranır

TOF (Uçuş Süresi) kamera

- Yaklaşık \$4500 maliyeti vardır
- Mesafe ölçüm sensörleri ile 3B görüntü alınır
- Hedef üzerine gönderilen foton ile geri yansıtıp gelen foton arasındaki gecikme (uçuş süresi) ile hedefin bulunduğu konum belirlenir
- Arka plan yansımaları gürültüye sebep olur

RGB-D (Renk ve Derinlik) kamera

- Ucuz maliyetlidir, \$150
- TOF teknolojisine dayanmaktadır
- 3B renk ve derinlik bilgisi alınır
- Kamera ile kullanıcı arasındaki optimum mesafe 1.2–3.5 metredir



GigE Ethernet Kamera

- Yaklaşık \$4000 maliyeti vardır
- Yaklaşık 30 metre uzaklıktan görüntü analizi
- Global deklanşör ile hızlı hareket eden nesneleri yakalayabilir

Giyilebilir optik cihazlar

- Sensör sayısına bağlı olarak yaklaşık \$1000 maliyeti vardır
- Özel bir kıyafet ile vücudun istenilen bölümlerine sensör yerleştirilir
- Tüm vücut hareketi takip edilebilir ve 3B hareket verisi alınabilir



Şekil 2.2. Farklı veri ölçüm teknikleri ile kullanılan teknolojiler

Giyilebilir cihazlar ya da işaretçiler, eklem noktalarına yanlış yerleştirildiğinde veya kullanımı sırasında eklem noktalarından kaydıngında, harekete ait hatalı bilgiler verebilmektedir. Bu cihazlar kullanıcıyı son derece rahatsız etmekle birlikte, günümüz teknolojilerinde fazla tercih edilmemektedir. Aynı şekilde çoklu kamera görüntüleri üzerinden, çeşitli görüntü işleme teknikleri ile veri almak oldukça zaman alıcıdır. Hareket, görüş açısı ile sınırlı olacağı için en az iki kamera açısı gereklidir. Vücut üzerine monte edilen ivmeölçer, jiroskop veya gonyometre gibi rahatsız edici optik cihazlar ya da yüksek maliyetli lazer tarama ve kameraların aksine renk ve derinlik kamerası olarak adlandırılan RGB-D sensör, kullanımı pratik ve ucuz maliyetlidir. RGB-D sensör, yazılım geliştirme kiti (SDK-Software Development Kit) ile gerçekleştirilen bir uygulama ile ortamdaki kişi algılanabilir, kişinin hareketleri takip edilebilir ve kişiye “sanal iskelet” giydirilerek eklem noktalarına ait veriler elde edilebilmektedir.



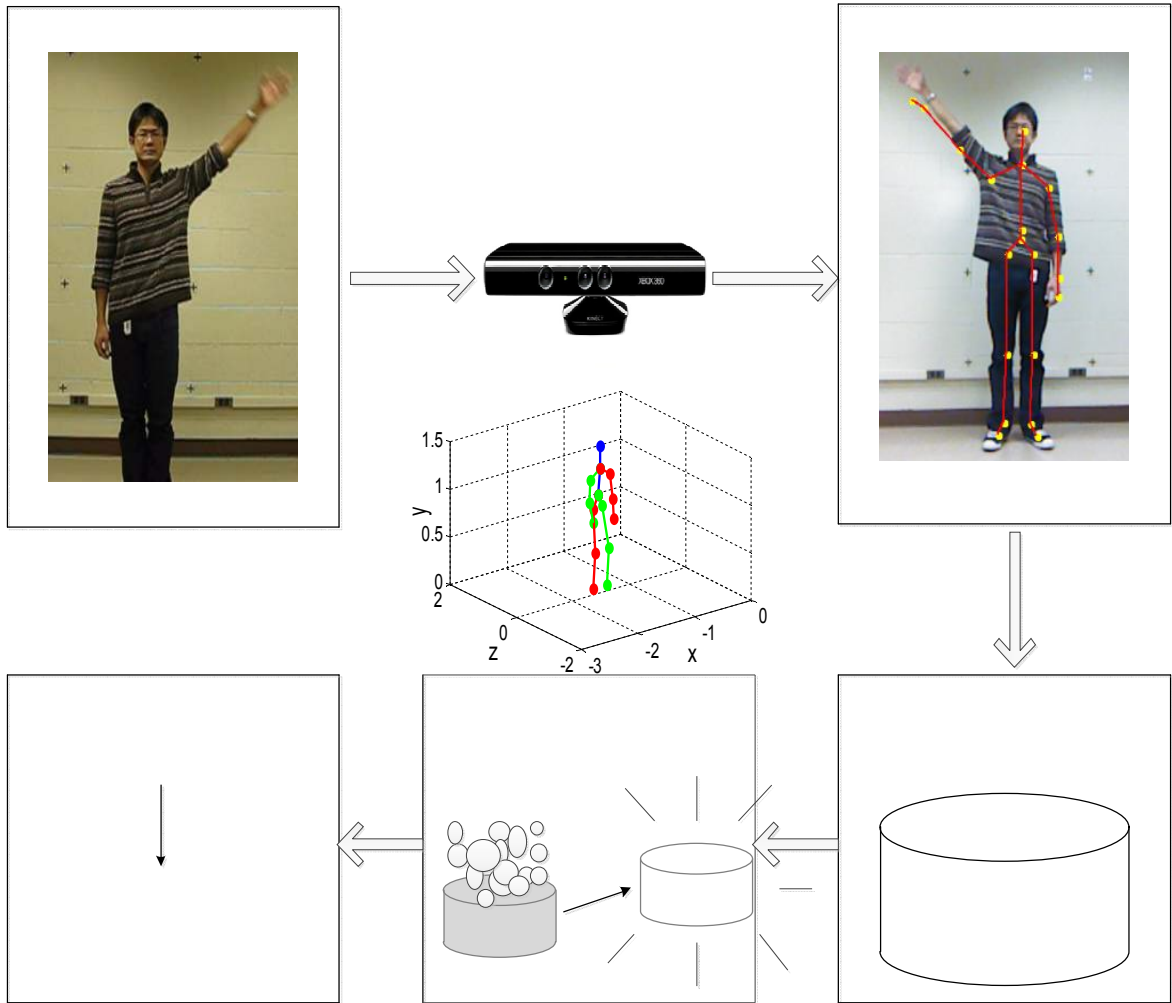
Şekil 2.3. RGB-D sensör üzerinden sanal iskelet testi ile hareketin algılanması

Bu tez çalışmasında, hareketlerin algılanması ve gerekli eğitim verilerinin elde edilmesi için bir RGB-D sensör (Kinect) kullanılmıştır. RGB-D sensör kullanarak geliştirilen uygulama ile hareketin tespiti ve hareketi takip eden “sanal iskelet” görüntüsü Şekil 2.3’de sunulmuştur.

2.2. Eğitim Verilerinin Toplanması

İnsan hareketi, vücut eklemlerinin açısal ya da konumsal değişimi ile oluşmaktadır. İnsan vücudu bir anda konum değiştiremediğinden hareket analiz çalışmalarında zaman önemli bir faktördür. Hız, konum değişiminin zamana oranı ile ifade edilmektedir. Dolayısıyla, insan hareketlerinin tanınmasında, eklem noktalarının 3B (x, y, z) konum bilgisi, açı bilgisi ya da hız bilgisinden faydalanılmaktadır. Erişilebilen hareket veritabanlarından ya da bahsedilen teknolojiler ile çeşitli aktörler kullanarak elde edilebilen bu niceliksel bilgiler, bir hareket tanıma çalışmasının eğitim ve test verilerini oluşturmaktadır.

Şekil 2.4’ de, statik bir ortam içinde tek bir kişinin olması durumunda genel bir hareket tanıma yaklaşımının adımları açıklanmıştır.



Şekil 2.4. Hareket tanıma yaklaşımları için iş akışı

Kullanılan aktörler, algılama cihazları, gerekli niceliksel bilgiler, ön işleme algoritmaları ve sınıflandırma yöntemleri kamera üzerinden tanıma çalışmalarında farklılık gösterse de genel olarak iş akışı şu şekildedir.

- Eğitim verilerinin toplanması amacıyla öncelikle kullanıcı sensörün karşısına geçerek, tanıma çalışmaları için belirlenen hareketleri sergiler.
- Sensör kullanıcıyı tespit eder ve gerçekleştirilen uygulama arayüzü ile hareket takibi gerçekleştirilir. Sanal iskelet ile takip edilen kullanıcının hareketleri, kullanıcı arayüzünde görülmektedir.
- Hareket süresince iskeletin eklemlerine ait 3B konum bilgileri alınır. Bu bilgiler veri ön işleme algoritmasından geçerek, gürültülerden ve hatalardan arındırılır.
- Ön işlemeden geçmiş veriler ile hareketlere ait özellik çıkarımı yapılır ya da farklı hareketlere ait verilere tanıma yöntemleri uygulanır.
- Kamera görüntülerinden alınan farklı insan hareketleri ve verileri için yöntem test edilerek, hareketler sınıflandırılır.

Laboratuvar şartlarında çeşitli teknolojiler ile eğitim verilerinin elde edilmesinin yanı sıra, hareket tanıma çalışmalarında test ve eğitim için literatürde yaygın olarak kullanılan hareket veritabanları bulunmaktadır. Kolay erişilebilir hareket veritabanlarından bazıları şunlardır:

- KTH veritabanı: 25 farklı aktör tarafından birkaç kez gerçekleştirilen 6 farklı hareket (yürüme, tempolu koşma, koşma, boks, el sallama, el çırpma) videolarını içerir.
- IXMAS veritabanı: 11 farklı aktör tarafından 3 kez gerçekleştirilen 13 farklı günlük hayat aktivitesini (oturma, kalkma, yürüme, el sallama, bir nesneyi alma, saati kontrol etme, etrafında dönme, tekme atmak, kalkma, hiçbir şey, bir nesneyi başın üzerinden atmak, yukarıdan aşağı atmak, yumruk atmak) içerir. Çoklu kameralar üzerinden video görüntüleri kaydedilmiştir.
- MoCap veritabanı: sportif aktiviteler, günlük yaşam aktiviteleri, yaygın davranış ve ifadeler, çeşitli durum ve senaryolar ile birlikte diğer veritabanlarına göre daha zengin bir içerik videosuna sahiptir. Kullanıcıların hareketlerine ait veriler 41 işaretçi monteli özel siyah bir elbise ile alınmıştır.

2.3. Veri Ön İşleme

İnsanlar sürekli hareket eder. Otururken bile sabit duramaz, kıpırdar, başını sağa sola çevirir ya da elini oynatır. Dolayısıyla aydınlatma koşulları, giyilen kıyafetler, ortamın sesi gibi gürültüye sebebiyet veren etmenler elverişli hale getirilse de, durağan görünen bir hareket için bile her defasında farklı veriler elde edilmektedir. Hareket tanıma çalışmalarında önerilen yöntemlerin iyi sonuç vermesi de, bu elde edilen niceliksel verilerin doğru tespitine bağlıdır.

Görüş açıları ile sınırlı görüntü piksellerinden ya da çeşitli veri ölçüm yöntemlerinden elde edilen veriler ham veri olarak adlandırılmaktadır. Ham veriler çoğunlukla gürültülü ve eksik bilgiler içermektedir. Görüntülerde ne kadar gürültü varsa, güvenilir tanıma sonuçlarına da ulaşmak o kadar güç olacaktır. Verilerin kalitesini arttırmak, yöntemin performansını güçlendirmek ve doğru sonuçlar elde edebilmek için, ham veriler ön işleme aşamalarından geçirilmelidir. Veri ön işleme teknikleri şu şekilde sıralanabilir:

1. Veri Temizleme:
2. Veri Birleştirme
3. Veri Dönüştürme
4. Veri indirgeme

Kirli veri olarak adlandırılan, verilerin eksik, tutarsız ve gürültülü olması önerilen yöntemlerin güvenilirliğini etkileyeceğinden, eğitim verisi ya da test verisi olarak kullanılmadan önce ön işlemeden geçmesi gerekmektedir.

- Eksik veri, bazı değişkenlere karşılık gelen değerlerin bulunmamasıdır.
Örneğin, kamera görüntülerinden alınan bir dirsek eklemının 10. saniyedeki x koordinat değerinin kaydedilmemiş olması.
Nedeni: Donanımsal ya da yazılımsal hatalar
- Gürültülü veri, değişkenlere karşılık gelen değerlerin yanlış olmasıdır.
Örneğin, 10. görüntü karesindeki dirsek eklemının x eksenindeki konum değerinin hatalı olması.
Nedeni: Veri elde edilen kameraların hassasiyeti, kullanıcının hareketi çok hızlı ya da yanlış yapması, yazılımsal ve donanımsal sorunlar

- Tutarsız veri, değişkenlerin değerleri arasında tutarlılığın olmamasıdır. Örneğin, iki farklı ortamda alınan aynı harekete ait verilerin birbirleriyle tutarsız olması
Nedeni: Farklı veri kaynakları, hesaplama yanlışlıkları

Veri Temizleme

Eksik verilerin değerleri doldurulur, gürültülü verilerin olduğu görüntü kareleri tespit edilerek düzeltilir ya da kaldırılır, gürültüden ya da hesaplamalardan kaynaklı tutarsız veriler düzeltilir. Veri temizleme tekniklerinden bazıları aşağıda verilmiştir.

1. **Binning:** Sıralanmış verileri düzeltmek için kullanılan bir yöntemdir. İlk olarak sıralanmış veri eşit derinlikli bin' lere ayrılır, daha sonra bin ortalaması ve sınırlarına göre düzeltilir [79].

Örnek: Sıralanmış veriler 4, 8, 9, 15, 21, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 34

- Eşit derinlikli bin' lere ayırma
Bin 1: 4, 8, 9, 15
Bin 2: 21, 21, 24, 25
Bin 3: 26, 28, 29, 34
- Bin ortalamasına göre düzleştirme
Bin 1: 9, 9, 9, 9
Bin 2: 23, 23, 23, 23
Bin 3: 29, 29, 29, 29
- Bin sınırlarına göre düzleştirme
Bin 1: 4, 4, 4, 15
Bin 2: 21, 21, 25, 25
Bin 3: 26, 26, 26, 34

2. **Korelasyon:** Korelasyon değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçer. Veri tabanlarının birleştirilmesi ile oluşan fazla veri, korelasyon analizi ile tespit edilebilir.
3. **Regresyon:** Bağımlı ya da bağımsız değişkenler arasında ilişki kurarak bir tahmin yürütülmesini sağlar. Yanlış veriler, regresyon ile düzeltilebilir.

Veri Birleştirme

Birden çok veritabanının birleşiminden kaynaklı veri fazlalığı oluşur. Bu veri fazlalığı korelasyon analizi tespit edilebilir. Farklı veritabanındaki aynı değişken, farklı isimler ile kaydedilmiş olabilir. Örneğin, bir veritabanındaki dirsek eklemine değerleri dirsek_eklemi değişkeni olarak tanımlanırken, diğer veritabanında elbow_joint olarak tanımlanabilir.

Veri Dönüştürme

Toplanan ham veriler, önerilen yönteme uygun bir formata çevrilebilir. Örneğin, kamera görüntülerinden alınan x koordinat verileri, [-2, 2] metre arasında değişirken [-1, 1] metre aralığına düşmesi için ölçeklendirilmesinin yapılması. Ölçeklendirme teknikleri şunlardır:

- Min-Max: Doğrusal dönüşüm ile ölçeklendirme
- Z Skor: Z dönüşümü ile ölçeklendirme
- Ondalık ölçekleme: Değişkenin değer sayısına göre ondalık kısmının hareket ettirilmesi. Örnek: x değerleri [-20, 230] arasında değişmektedir. Maksimum değer 230, n=3 olduğundan 230 sayısı 0,23 olarak ölçeklendirilir.

Veri İndirgeme

Fazla veriler, karmaşık hesaplamaları gerektirmektedir. Veri indirgemenin amacı, aynı sonuçları veren daha küçük veri kümelerinin elde edilmesidir. Bu sayede uygulanan yöntemin performansı ve etkinliği artmaktadır. Veri indirgeme yöntemleri şunlardır:

- Veri Birleştirme
- Boyut İndirgeme
- Veri Sıkıştırma
- Kesikli Hale Getirme

Boyut indirgeme, hareket tanıma çalışmalarında en çok kullanılan veri indirgeme yöntemidir. Örneğin vücudun 20 farklı eklem noktasına ait verilerin elde edildiğini düşünelim. Yapılan çalışmada, bazı eklem noktalarının veri bilgisine ihtiyaç yoktur. Dolayısıyla gereksiz eklem noktalarına ait veriler silinmelidir.

2.4. Hareket tanıma yöntemleri

Bir kişinin anormal hareketleri tespit edilerek kullanılabilecek güvenlik sistemlerinden, fiziksel bir engeli olup olmadığı anlaşılacak sağlık hizmetlerine kadar pek çok alanı kapsayan tanıma sistemlerinin genel amacı bir topluluktaki belirli davranışları sınıflandıracak yöntemi geliştirmek ve tanıma problemlerine çözüm sunmaktır. Literatürde hareketlerin tanınması ve sınıflandırılması için aşağıdaki veri madenciliği yöntemleri sıklıkla kullanılmıştır:

- Saklı Markov Model,
- Yapay Sinir Ağları,
- Karar Ağaçları,
- Destek Vektör Makineleri
- Bayes Sınıflandırıcı

Görünüm tabanlı yüz ve hareket tanıma uygulamaları, büyük veri boyutlarına dayandığından veri indirgeme yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Poz iyileştirme, izometrik haritalama, yerel lineer gömme, çekirdek temel bileşen analizi ve temel bileşenler analizi gibi doğrusal olmayan boyutluluk azaltılması için pek çok yöntem vardır. Ön işleme tekniklerinden, veri indirgemedede kullanılan en etkili yöntem Temel Bileşenler Analizidir (TBA). TBA analizinde ham veri kümesi, bilgi kaybı olmasını minimum şekilde koruyarak, daha az boyutlu veri kümesi elde edilmesinde kullanılmaktadır.

1901 yılında Karl Pearson tarafından bulunan yöntemi, Turk ve Pentland [80], yüz tanıma çalışması için kullanarak tanıma sistemlerine genel bir bakış açısı sunmuştur. Kamera görüntüleri üzerinden yüz tespiti yapan ve diğer yüz özellikleri ile karşılaştırılıp bireyin yüzünün tanınmasını sağlayan bir sistem geliştirmiştir. Yöntem basit zaman-mekânsal filtreleme ile belirli bir zaman aralığında hareket eden nesnenin, değiştirdiği görüntü yerlerini kontrastlar, böylece görüntü içinde hareket eden nesne aydınlanır. Tüm görüntünün aydınlanması durumunda, hareket algılanarak nesne tespit edilir. Yüz özellikleri arasında önemli özellikler (önyüzler), bir özellik uzayında toplanmaktadır.

Az boyutlu veri uzayında çalışabilen TBA, gürültüye karşı düşük hassasiyet gösterdiğinden dolayı tanıma çalışmalarında anlaşılması gereken en temel yöntemdir. Bu tez çalışmasında, hareketlere ait veriler ile özellik vektörleri oluşturmak ve veri boyutlarını

indirmek amacıyla bir yüz veritabanından alınan görüntülerin TBA yöntemi uygulanarak tanınmasını sağlayan bir uygulama geliştirilmiştir.

Geliştirilen uygulamada öncelikle Yale yüz veritabanından [81], deneme yüzler alınmıştır. Alınan deneme yüzlerden ortalama bir yüz çıkararak, örnek bir yüzün tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.5’ de TBA ile yüz tanıma algoritması için kullanılan yüzler gösterilmiştir;



Şekil 2.5. Deneme yüzler [81].

Deneme yüzleri kullanılarak elde edilen ortalama yüz Şekil 2.6’ da gösterilmiştir;



Şekil 2.6. Ortalama yüz

Ortalama yüz kullanarak, seçilen bir resim için en yüksek 3 dereceli önyüzler Şekil 2.7’ de gösterilmiştir. Deneme yüz olarak seçilen örnek resim, dosyadaki diğer resimler ile eşleştirilerek tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir.



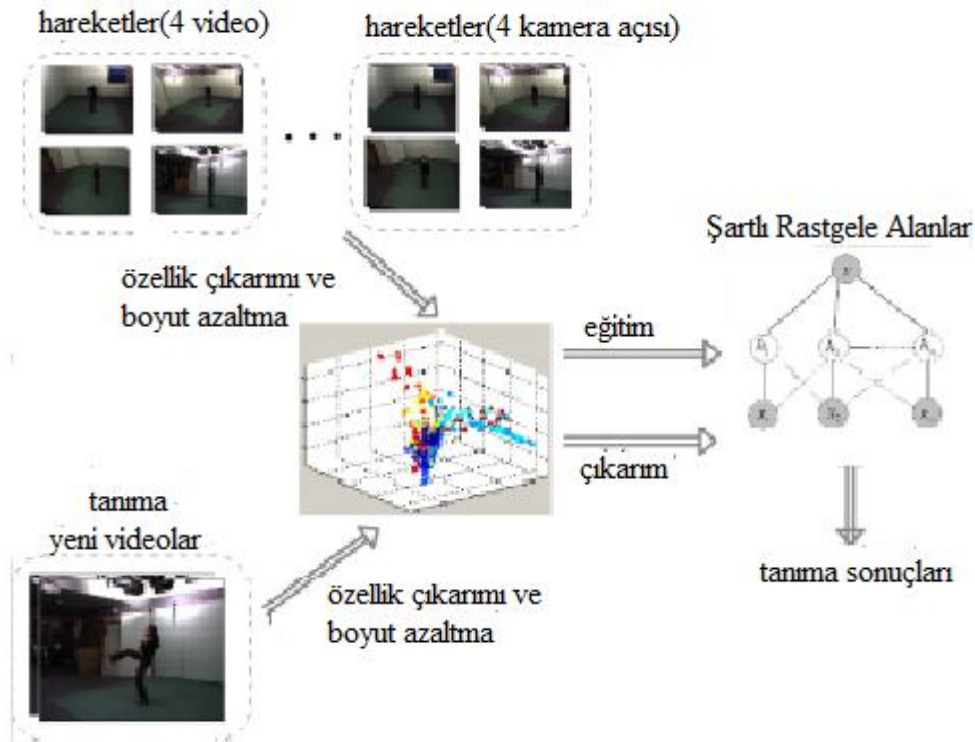
Şekil 2.7. Önyüzler (eigenfaces)

Gerçekleştirilen yüz tanıma algoritmasından görüldüğü gibi, TBA insan hareketlerinin tanınmasında da kullanılabilecek bir yöntemdir. Görüntü üzerinden insan hareketlerine ait özellikler çıkarılarak, ortalama bir hareket elde edilebilir ve tanınması istenen hareket veritabanındaki diğer hareketler ile karşılaştırılarak tanınabilir. Bu şekilde, karmaşık

hesaplama algoritmaları gerektiren insan hareketlerinin simülasyonunda ve tanınmasında kullanılan pek çok TBA yöntemi vardır.

Görünüm tabanlı bir robot hareket simülasyonu sunan Zhao ve Sun [82], TBA kullanarak örnek görüntülerden robot hareket görüntüleri oluşturmuştur. Öncelikle bütün örnek görüntülerin ortalaması çıkartılır. Daha sonradan orijinal görüntülerden oluşan öz değerler ile ilişkili öz vektörler seçilir. Görüntüler arasındaki ilişkiler ve robotun eklem konumları hesaplanır. Robotun her bir konumdaki görüntülerinden bir görüntü kümesi oluşturulur. Robotun başlangıç ve bitiş konumları verildiğinde, bu görüntü kümesi kullanılarak robot hareketi gösterilir.

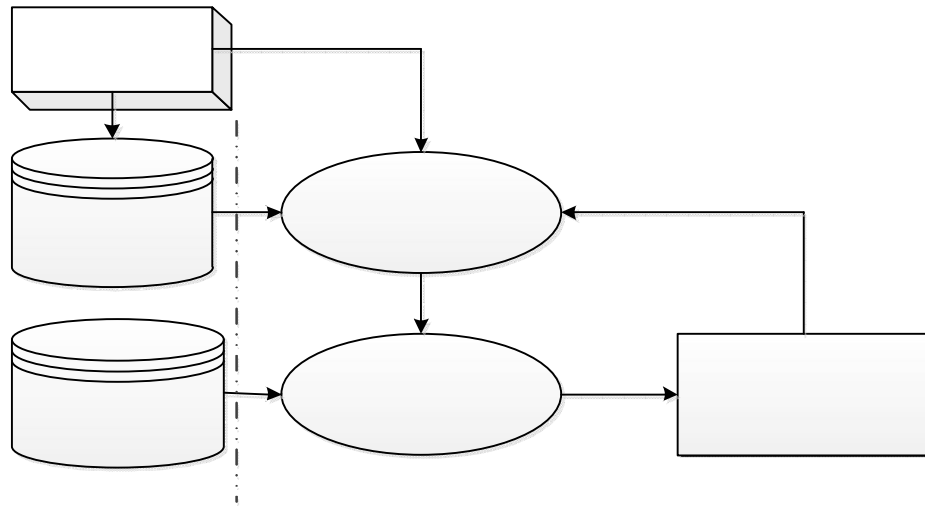
Liu ve arkadaşları [83], önerdiği hareket tanıma yönteminde hareket uzayı elde etmek ve görüntü özelliklerinin boyutunu azaltmak için Bulanık TBA kullanmıştır (Şekil 2.8). İnsan hareketlerini modellemek için Şartlı Rastgele Alanlar yöntemini kullanmıştır.



Şekil 2.8. Önerilen Yöntem [83].

Şekil 2.8’ deki önerilen yöntemde görüntü üzerinden siluet çıkarımının daha kolay olduğu düşünüldüğünden, görüntü özelliği olarak siluet seçilmiştir ve kişinin ikili siluet görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma IXMAS veritabanı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hareket süresince gürültüye duyarlı olan yöntem, ucuz maliyet açısından avantajlıdır.

İnsan hareketlerine ait verilerin boyutu çeşitli yöntemler ile azaltılacağı gibi hareketi tanımayı kolaylaştıran özel veritabanları da oluşturulabilir. Wang [84], Şekil 2.9’ da gösterildiği gibi insan hareketlerinin tanınması için hareketlerin kolay tanınmasını sağlayan anahtar pozlardan bir veritabanı oluşturmuştur. 3B konum bilgisi RGB-D sensör ile alınır ve anahtar poz veritabanı sanal iskeletin başlangıç konumunu almak için kullanılır. Yöntem doğru takip sonuçları alırken, koşma ve yürüme gibi benzer hareketlerde tanıma oranı düşüktür. Bu tez çalışmasında, insan hareketlerinin tanınması için anahtar eklem noktalarını kullanan bir tanıma yöntemi sunulmuştur.



Şekil 2.9. Önerilen Yöntem [84]

2.5. Bölüm Değerlendirmesi

Tez çalışmasının bu bölümü, insan hareketlerinin tanınmasına yönelik yapılan çalışmalara genel bir bakış açısı sunmuştur. Hareketlerin tanınmasının öneminden, tanıma sistemlerinin uygulama alanlarından, tanıma sistemlerinde kullanılan teknolojilerden, eğitim verilerinin alınmasından, veri ön işleme algoritmalarından ve hareket tanıma algoritmalarından tez çalışmasının daha iyi anlaşılması için kısaca bahsedilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan yöntemlerin ve teknolojilerin neler olduğu ve neden tercih edildiği hareketlerin tanınmasına yönelik literatürde var olan yöntemler ve teknolojiler ile karşılaştırılarak açıklanmıştır. Veri ön işleme algoritmalarının, hareket tanıma yöntemleri için gerekliliği ortaya koyulmuştur.

3. İNSAN HAREKETLERİNİN MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU

Modelleme, tasarlanan sistemin ve uygulanan yöntemin çalışmasını gösteren bir modelin üretilme işlemidir. Bir model gerçek sisteme yakın verilerden ve belirgin özelliklerden faydalanarak oluşturulur. İyi bir model gerçeğe yakın ve basit olmalıdır. Genellikle, bir simülasyon çalışması için tasarlanan model simülasyon yazılımların yardımıyla geliştirilen bir matematiksel modeldir. Matematiksel modeller, stokastik ya da deterministik; dinamik ya da statik değişkenleri içerir. Genel olarak bu modeller, stokastik ve dinamiktir.

İnsan hareketleri için modellemenin amacı, gerçek insan hareketlerinin bilgisayar ortamında hareket analizleri ve geliştirilen yöntemlerin tasarlanan sisteme etkisinin görülmesi için kullanılmasıdır. Karmaşık insan hareketlerinin analizinde, gerçek bir insan hareketi oluşturmak için gerçek dinamiklerin karşılıklarını modellemek gerekir.

İnsanlar günlük yaşamda ya da sportif etkinliklerde koşma, yürüme, zıplama, kaldırma gibi farklı hareketler gerçekleştirmektedir ve çok sayıda araştırmacı bu hareketlerin modellenmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu insan hareketleri farklı modelleri ve farklı kinematik ya da kinetik verileri gerektirse de bu hareketlerin modellenmesi ve simülasyonunda ortak olarak dikkat edilecek hususlar şunlardır:

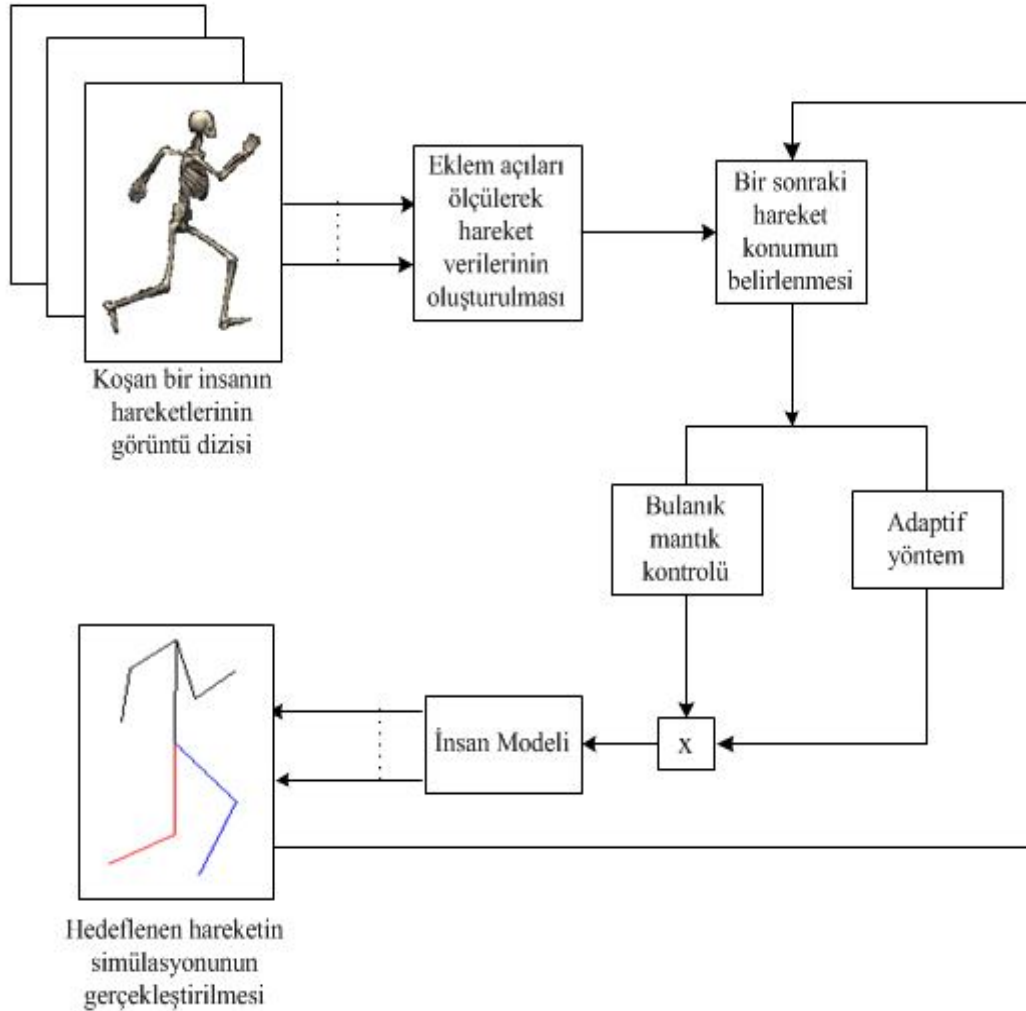
- ✓ İyi bir model ve optimizasyon yöntemi seçilmeli,
- ✓ Önerilen yöntemin performansı değerlendirilmeli,
- ✓ Yöntem deneysel sonuçlardan elde edilen verilere uygulanmalı.

Sayısız hareket gerçekleştirebilen insan vücudu, esnektir ve vücut eklemleri yüksek serbestlik derecesine sahiptir. Kamera görüntüleri üzerinden insan hareketlerinin tanınabilmesi için, insan vücudunun ve hareketlerinin detaylı incelenerek analiz edilmesi gerekmektedir. Tezin bu bölümünde, karmaşık insan hareketlerinden olan koşma ve yürüme hareketinin analiz ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Hareket için gerekli kinematik veriler toplanarak, 9 parçalı bir insan modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan insan modeline adaptif bir yöntem ile birlikte bulanık mantık kontrolü sağlanarak, hareketin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Koşma ve yürüme hareketleri; kaldırma, oturma, kalkma gibi hareketlere göre daha karmaşık veri gerektirdiğinden yapılan analizler sonucu bu çalışmada 9 parçalı insan modeli tercih edilmiştir. Çalışmada, eğitim verisi olarak eklem açıları ve vücut parça uzunlukları görüntü karelerinden hesaplanmıştır.

3.1. Önerilen Yöntem

Bu çalışmada koşu hareketine ait görüntü dizilerinden elde edilen eklem açılarının sayısal verileri, tasarlanan dokuz parçalı insan modeline uygulanarak koşma hareketinin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Koşu hareketinin simülasyonu için MATLAB/Simulink arayüzü kullanılmıştır ve bu arayüz ile hareketin kontrolü için bulanık mantık tabanlı bir sistem geliştirilmiştir.

Gerçekleştirilen sistemin blok diyagramı, sistemin daha yakından incelenmesi ve fikir vermesi açısından Şekil 3.1' de sunulmuştur.

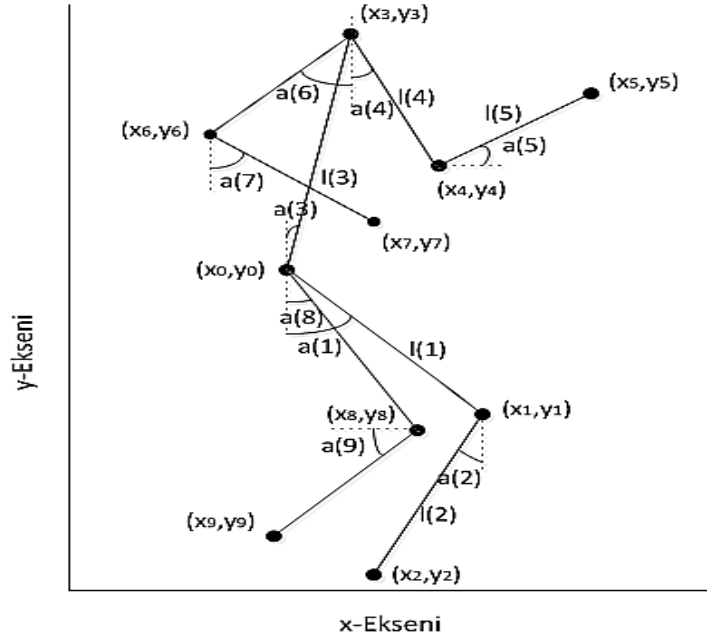


Şekil 3.1. Sistem blok diyagramı

Sistemde görülen blokların ayrıntılı olarak açıklaması ve her bloğa ait yapılan çalışmalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

3.1.1. İnsan Modeli ve Hareket Modeli

Model tabanlı yöntemler, yüksek seviyeli karmaşık hareketleri anlamak için daha uygun olduğundan dolayı bu çalışmada, koşma ve yürüme hareketinin simülasyonu için model tabanlı bir yaklaşım tercih edilmiştir ve Şekil 3.2’ de gösterildiği gibi dokuz parçalı bir çubuk şekil insan modeli kullanılmıştır



Şekil 3.2. Eklemler ile bağlantılı dokuz parçalı insan modeli

İnsan hareketi, kasların kasılmasıyla iskeletin eklem noktalarında açısal değişikliklere uğraması sonucu oluşur. Bu yüzden insan hareketinin analizi için bir insan vücudunun modellenmesinde açı hareketleri göz önünde bulundurulmalıdır. Birbirleriyle bağlantılı şekilde değişen eklem açılarının değişiminin incelenebilmesi için açı değerleri alınacak olan eklem noktalarının doğru tespit edilmesi gerekmektedir. Şekil 3.2’ de gösterilen iki boyutlu modelde vücudun sağ ve sol bölümüne göre dirsek, omuz, kalça, gövde ve diz eklem açıları kullanılarak koşma ve yürüme hareketi için iki boyutlu bir insan modeli tasarlanmıştır.

Tasarlanan modeldeki temel parametrelerin açıklaması Tablo 3.1’ de verilmiştir. Koşma hareketi, oturma, kalkma, bir nesneyi kaldırma gibi hareketlere göre daha karmaşık verileri gerektirdiğinden ve hareket gerçekleşirken vücudun sağ ve sol bölümündeki aynı eklem noktalarında farklı açı değişimleri olduğundan dolayı tabloda gösterilen eklem açılarının tümü, hareketlerin simülasyonunda kullanılmıştır.

Tablo 3.1. 9 parçalı insan modelinde kullanılan temel parametreler

Açılar	Tanımı	Uzunluklar		Tanımı	
a(1)	Sol kalça	l(1), l(2)		Üst bacak, Alt bacak	
a(2)	Sol diz	l(3)		Gövde	
a(3)	Gövde	l(4), l(5)		Üst kol, Alt kol	
a(4)	Sol omuz	Konum	Eklem	Konum	Eklem
a(5)	Sol dirsek	(x ₀ ,y ₀)	Kalça	(x ₃ ,y ₃)	Gövde
a(6)	Sağ omuz	(x ₁ ,y ₁)	Sol diz	(x ₈ ,y ₈)	Sağ diz
a(7)	Sağ dirsek	(x ₂ ,y ₂)	Sol ayak bileği	(x ₉ ,y ₉)	Sağ ayak bileği
a(8)	Sağ kalça	(x ₄ ,y ₄)	Sol dirsek	(x ₆ ,y ₆)	Sağ dirsek
a(9)	Sağ diz	(x ₀ ,y ₀)	Sol el bileği	(x ₇ ,y ₇)	Sağ ayak bileği

Geliştirilen modelde, eklem açıları ve vücut parçalarının uzunlukları göz önünde bulundurularak eklem noktalarındaki değişimler ile koşu hareketinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Modelin hareketini kontrol etmek ve hareket değişimlerini simüle edebilmek için eklem noktalarından bağlantılı vücut parçaları, koordinat yaklaşımına göre birleştirilmiştir. Kollar, bacaklar ve gövdeden oluşan vücut parça hareketlerinin koordinat yaklaşımı aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

Bacaklar: Alt-bacak ve üst-bacak vücut parçalarından oluşmaktadır. Üst-bacak, diz eklem noktası ile kalça eklem noktasının; alt-bacak, diz eklem noktası ile ayak bileği eklem noktasının birleşiminden oluşur.

Sol-Bacak

- Diz eklem noktası (x₁,y₁):
$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 + l(1) \times \sin(|a(1)|) \\ y_1 &= y_0 - l(1) \times \cos(|a(1)|) \end{aligned}$$
- Ayak bileği eklem noktası (x₂, y₂):
$$\begin{aligned} y_2 &= y_1 - l(2) \times \sin(|a(2)|) \\ x_2 &= x_1 - l(2) \times \cos(|a(2)|) \end{aligned} \quad (3.1)$$

Sağ-Bacak

- Diz eklem noktası (x₈,y₈):
$$\begin{aligned} x_8 &= x_0 + l(1) \times \sin(|a(8)|) \\ y_8 &= y_0 - l(1) \times \cos(|a(8)|) \end{aligned}$$
- Ayak bileği eklem noktası (x₉, y₉):
$$\begin{aligned} y_9 &= y_8 - l(2) \times \sin(|a(9)|) \\ x_9 &= x_8 - l(2) \times \cos(|a(9)|) \end{aligned} \quad (3.2)$$

Gövde: Kalça eklem noktası ile omuz eklem noktasının birleşiminden oluşur.

- Omuz eklem noktası (x_3, y_3) :
$$\begin{aligned} x_3 &= x_0 + l(3) \times \sin(|a(3)|) \\ y_3 &= y_0 + l(3) \times \cos(|a(3)|) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Kollar: Alt-kol ve üst-kol vücut parçalarından oluşmaktadır. Üst-kol, omuz eklem noktası ile dirsek eklem noktasının; alt-kol, dirsek eklem noktası ile el bileği eklem noktasının birleşiminden oluşur.

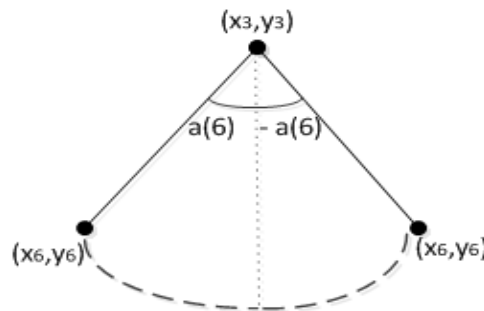
Sol-Kol

- Dirsek eklem noktası (x_4, y_4) :
$$\begin{aligned} x_4 &= x_3 + l(4) \times \sin(|a(4)|) \\ y_4 &= y_3 - l(4) \times \cos(|a(4)|) \end{aligned}$$
- El bileği eklem noktası (x_5, y_5) :
$$\begin{aligned} y_5 &= y_4 + l(5) \times \sin(|a(5)|) \\ x_5 &= x_4 + l(2) \times \cos(|a(5)|) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Sağ-Kol

- Dirsek eklem noktası (x_6, y_6) :
$$\begin{aligned} x_6 &= x_3 - l(4) \times \sin(|a(6)|) \\ y_6 &= y_3 - l(4) \times \cos(|a(6)|) \end{aligned}$$
- El bileği eklem noktası (x_7, y_7) :
$$\begin{aligned} y_7 &= y_6 - l(5) \times \sin(|a(7)|) \\ x_7 &= x_6 + l(5) \times \cos(|a(7)|) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Model için temel olarak yukarıda tanımlanan denklemler, koşma hareketi için yeterli değildir. Örneğin koşarken ya da yürürken bir kolumuz öne doğru giderken diğer kolumuz geridedir ve her bir adımda bu kollar yer değiştirdiği için konumları da açılara bağlı olarak değişecektir. Koşmanın farklı safhalarında iki kolun değişimi eksi yönde ve artı yönde değişmektedir. Şekil 3.3’ de sağ üst- kol hareketi için öne ve arkaya doğru iki farklı açı durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Sağ üst-kol hareketi için farklı açı durumları

Sağ kol gerideyken a(6) açısı pozitif, öndeyken negatif olacaktır ve bu açı değişimine göre dirsek eklem noktası (x₆,y₆), şu şekilde yeniden düzenlenecektir.

- a(6) > 0 ise, $x_6 = x_3 - l(4) \times \sin(|a(6)|)$,
 $y_6 = y_3 - l(4) \times \cos(|a(6)|)$.
 - a(6) < 0 ise, $x_6 = x_3 + l(4) \times \sin(|a(6)|)$,
 $y_6 = y_3 - l(4) \times \cos(|a(6)|)$.
- (3.6)**

Sağ üst kol, omuz konumuna ve gövdenin y eksenindeki değişimine bağlı olarak pozitif ve negatif yöndeki açısal değişiklik y₆ koordinatını değiştirmezken, x₆ koordinatını değiştirmektedir. Bu değişim diğer vücut parçalarında farklılık göstermektedir.

3.1.2. Kullanılan Veriler

	m[1]	m[2]	m[3]	m[4]	m[5]	m[6]	m[7]	m[8]	m[9]	m[10]	m[11]	m[12]	m[13]	m[14]	m[15]	m[16]	m[17]	m[18]	m[19]	m[20]	m[21]	m[22]	m[23]	m[24]
a[1]	0	40	45	30	5	-1	-2	-3	-3	-2	-1	15	40	40	30	5	-1	-2	-3	-3	-2	-1	15	40
a[2]	90	45	50	55	50	50	45	40	30	20	15	65	45	50	55	50	50	45	40	30	20	15	65	45
a[3]	0	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1
a[4]	0	15	10	-4	-8	-15	-25	-45	18	20	20	-45	-25	10	-4	-8	10	-25	-45	18	20	20	-45	-20
a[5]	90	20	-10	-60	-90	-90	-90	-90	30	32	32	-70	-35	-10	-60	-80	-10	-90	-90	30	32	32	-70	-35
a[6]	0	25	3	-5	-6	-5	-9	-14	55	80	86	-9	-9	25	-5	-6	3	-9	-14	55	80	86	-9	-9
a[7]	90	-55	-60	-60	-50	0	20	30	172	168	175	20	20	-35	-60	-60	-80	20	30	172	168	175	20	20
a[8]	0	25	40	60	50	60	60	50	50	50	50	-1	25	40	60	50	60	60	50	50	50	50	-1	25
a[9]	95	-5	-25	20	40	50	60	88	170	80	60	15	-5	-25	20	40	50	60	88	170	80	60	15	-5



Şekil 3.4. Eklem açıları ve bu açılara karşılık gelen hareketler dizisi

Bu çalışmada yalnızca kinematik hareket üzerine yoğunlaşmıştır ve eklem açıları, eklem noktalarının konumları, vücut parça uzunlukları gibi insan hareket kinematiklerindeki çalışmalar için kullanılan sayısal veriler ile koşu analizi gerçekleştirilmiştir. Koşma hareketinin modellenmesi ve simülasyonunda deneysel veriler ile elde edilen 9 farklı açı verileri ve bu verilere karşılık gelen hareketler Şekil 3.4 'de verilmiştir.

Bir vücut parçasının hareketleri diğer vücut parçalarının hareketleri ile ilişkili olarak değiştiği için eklemler arasındaki vücut parçalarının uzunlukları önemlidir. Bu çalışmada, sağlıklı bir insandan, koşma hareketi simülasyonunda kullanılması için vücut parça uzunluklarının sayısal verileri alındı. Tablo 3.2’ de gerçek bir insandan alınarak toplanan bu sayısal veriler gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Vücut parça uzunlukları

Üst-bacak uzunluğu $l(1) = 43$ cm

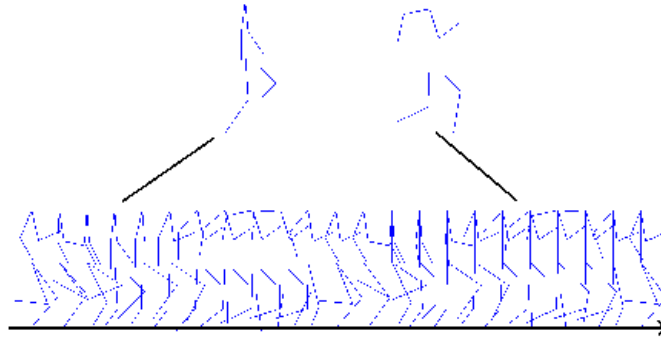
Alt-bacak uzunluğu $l(2) = 40$ cm

Gövde uzunluğu $l(3) = 48$ cm

Üst-kol uzunluğu $l(4) = 29$ cm

Alt-kol uzunluğu $l(5) = 25$ cm

Koşma hareketine ait görüntü dizilerinden alınan gerçek açı değerleri ile sağlıklı bir insandan alınan vücut parça uzunlukları hesaplanarak eklem noktaları güncellenmiş ve istenilen koşu hareketine uygun Şekil 3.5’ de görüldüğü gibi bir hareket dizisi oluşturulmuştur. Bu hareket dizisinin stili Şekil 3.6’ da verilmiştir.

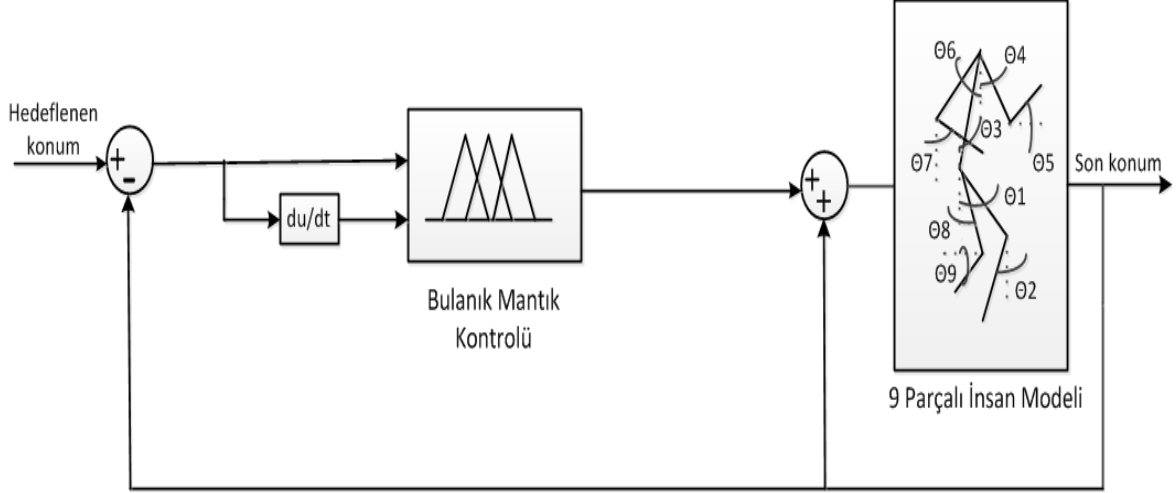


Şekil 3.5. Koşma hareket dizisi



Şekil 3.6. Hareket dizisindeki stil gösterimi

3.1.3. Bulanık Mantık Kontrolü



Şekil 3.7. Bulanık mantık kontrolü

Bir sistemin kontrolünde matematiksel modelin elde edilemediği ya da zor elde edildiği, bazı parametrelerin düzgün olarak değişmediği ya da çoğu yöntemlerin uygulanmasının elverişli olmadığı durumlarda bulanık mantık kontrol yöntemi uygulanmaktadır. İnsan vücudu doğrusal olmayan hareketler sergilediği için bu çalışmada da koşma hareketinin kontrolü için bir bulanık mantık kontrol sistemi tercih edilerek tasarlanmıştır.

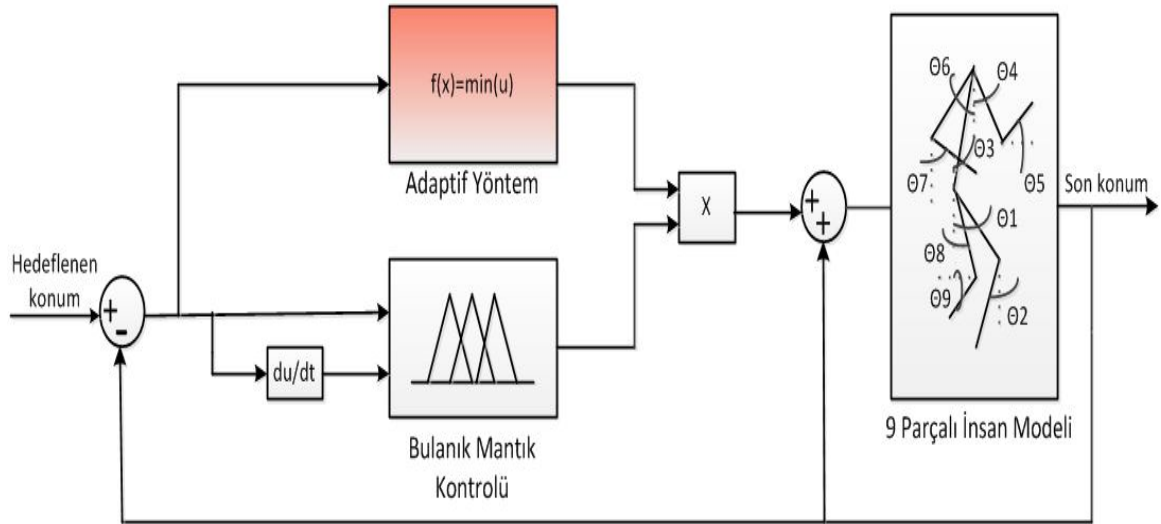
Koşu hareket simülasyonunu gerçekleştirmek üzere yapılan uygulamada her bir eklem noktasının açısı için 2 girişli ve 1 çıkışlı bulanık mantık kontrol sistemi kullanılmıştır. Bir eklem açısının değeri için kullanılan bulanık sistem Şekil 3.7 'de açıklanmıştır.

Bulanık mantık kontrollü koşu hareketi simülasyon modelinin geliştirilmesi için gerçekleştirilen adımlar şunlardır;

- Her bir hareket için eklem açılarına ait veri dizileri, hedeflenen açı değerleri olarak bulanık mantık kontrol sistem girişine açı değerlerinin değişim miktarı (du/dt) ile birlikte verilir.
- Hedeflenen açı değerleri ve bu açı değerlerinin değişim miktarı iki giriş olarak bulanık sisteme girmeden önce $[1,-1]$ aralığında olacak şekilde küçültülür. Küçültme işlemi, bir eklem açısına ait veri dizilerindeki tüm değerler göz önünde bulundurularak giriş değerlerinin, belirli oranlarda belirlenen kazanç değerleri ile çarpılmasıdır.

- Kazanç değerler ile çarpılan hedef açı değerleri bulanık sistem girişine gelir ve kural tablosu kullanılarak eklem açılarının değişim miktarları hesaplanır.
- Eklem açılarının değişim miktarlarına bir önceki açı değerleri eklenerek, 9 parçalı insan modeline gönderilir. Bu modele ait fonksiyonun çalıştırılmasıyla yeni açı değerleri ile değişen x, y konumları hesaplanır ve güncellenen x, y konumlarına bağlı olarak değişen ilgili hareket anı ekranda gösterilir.
- Elde edilen açıların değişim miktarları, her bir eklem için hedeflenen açı değerlerinden çıkarılarak yeni hedef açı olarak bulanık sistem girişine verilir ve yukarıdaki adımlar hedeflenen açıya ulaşmaya kadar tekrarlanır.
- Sistem çalışırken sürekli olarak güncellenen x ve y konumları ekranda gösterilerek koşu hareketinin simülasyonu gerçekleştirilir. Hesaplanan konum verileri ile grafiksel olarak işlenen hareket simülasyonu, her adımda gözlemlenerek sistemin performans sonuçları değerlendirilir.

3.1.4. Adaptif Yöntem



Şekil 3.8. Adaptif yöntem ile bulanık mantık kontrolü

Bulanık mantık kontrollü koşu hareketi simülasyonunda bazı gecikmeler gözlemlenmiştir ve açı değişimlerinin eş zamanlı olarak değişmediği görülmüştür. Bu soruna çözüm önerisi olarak gerçekleştirilen sisteme Şekil 3.8’ de görüldüğü gibi bir adaptif yöntem sunulmuştur. Koşma hareketine ait görüntü dizilerinden alınan her bir

eklem noktasındaki açı değerleri birbirinden farklıdır ve gerçekleştirilen sistemde bu farklılıktan kaynaklanan sorunlar yaşanmıştır. Bir sonraki hareket konumunun belirlenmesi için bir diz eklemının hedef açısının, dirsek eklemının hedef açısından çok büyük olduğunu farz edelim. Dirsek eklemi, hedeflenen açıya daha erken ulaşırken hareketin sağlanması için diz eklemının hedef açıya ulaşmasını beklemek zorundadır ve bu bekleme süresi sistemi yavaşlatmaktadır.

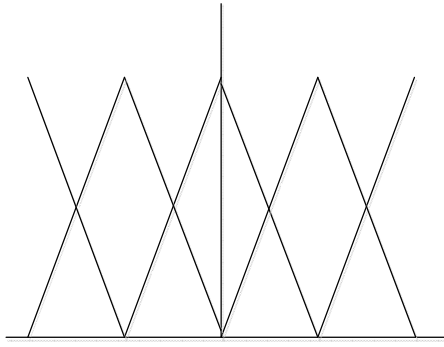
Bulanık mantık çıkış değeri olarak hesaplanan açı değişimleri, önerilen yöntem ile elde edilen sayısal sonuçlarla çarpılarak, eklem açılarının değişimleri arasında eş zamanlı çalışma sağlanmıştır. Adaptif yöntem gere, bir hareket için gerekli olan tüm açı değerlerinin minimumu alınır ve her bir eklem ait hedef açı değeri minimum açı değerine bölünerek yöntemin çıkışı elde edilir. Bu yöntem her bir eklem ait bulanık sistemlerde kullanılır ve her hareket anında minimum açı değerleri güncellenerek hata oranı arttırılmadan sistem gecikmeleri engellenir.

Bulanık Sistemin Üyelik Fonksiyonları

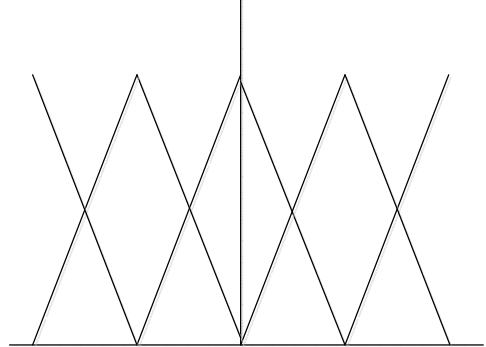
Bulanık mantık ile modellemede, 3 temel işlem vardır:

- (1) Bulanıklaştırma: Sisteme giriş olarak alınan bilgiler bulanık bilgi haline dönüştürülür yani bulanıklaştırılır. Bu bulanık kümelerin üyelik dereceleri, üyelik fonksiyonları oluşturularak elde edilir.
- (2) Bulanık Kural Tabanı: Giriş bulanık değerlerinin, çıkış bulanık değerlerine eğer- ise gibi kurallar oluşturularak eşleştirilmesidir.
- (3) Durulama: Bulanık çıkış bilgilerini gerçek değerlere dönüştürerek, sistemin anlayabileceği bir hale dönüştürmektir.

Bu çalışmada, sisteme giriş olarak alınan açı hata değerleri ve hataların değişim oranları, bulanık kümelere dâhil edilerek bulanık bilgiye dönüştürülür. Giriş bulanık değerlerinden, kural tablosu kullanılarak çıkış bulanık değerlerine ulaşılır. Bulanık çıkış değerleri, $[0,1]$ arasında açı değişim miktarı olarak çıkış değerine dönüştürülür ve bu çıkış değerleri, bir önceki eklem açıları ile toplanarak insan modeline gönderilir. Dokuz farklı eklem noktasının açı değerleri ve bu açı değerlerinin değişim oranları için Şekil 3.9’ da verilen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Giriş değerlerine ait üyelik fonksiyonun sayısı beş olarak seçilmiştir.



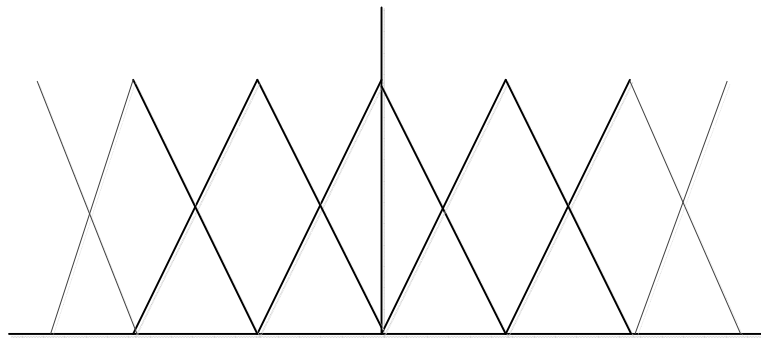
NK- Negatif küçük, NB- Negatif büyük,
S- Sıfır, PK- Pozitif küçük,
PB- Pozitif büyük
(a) Açı değeri için üyelik fonksiyonu



NK- Negatif küçük, NB- Negatif büyük,
S- Sıfır, PK- Pozitif küçük,
PB- Pozitif büyük
(b) Açı değerinin değişim oranı için üyelik fonksiyonu

Şekil 3.9. Giriş değişkenleri için üyelik fonksiyonları

Eklem açılarının değişim miktarı için Şekil 3.10' da verilen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Çıkış değişkenine ait bulanık küme 7 tane üyelik fonksiyonuna sahiptir. Yukarıda giriş ve çıkış değerleri için tanımlanan üyelik fonksiyonları, 9 farklı açı için ayrı ayrı tanımlanmaktadır. Burada sadece bir açı için üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Bulanık sisteme giriş olarak gelen açı değerleri ve açı değerlerinin değişim oranları, bulanık kümeye ait giriş üyelik fonksiyonlarına gelerek bulanıklaştırılır.



NK- Negatif küçük, NO- Negatif orta, NB- Negatif büyük,
S- Sıfır, PK- Pozitif küçük, PO- Pozitif orta, PB- Pozitif büyük
(c) Açı değişim miktarı için üyelik fonksiyonları

Şekil 3.10. Çıkış değişkenleri için üyelik fonksiyonları

Giriş bulanık değerlerine karşılık gelen çıkış bulanık değerleri Tablo 3.3’ deki 5x5’ lik kural tablosu kullanılarak bulunur.

Tablo 3.3. Kural tablosu

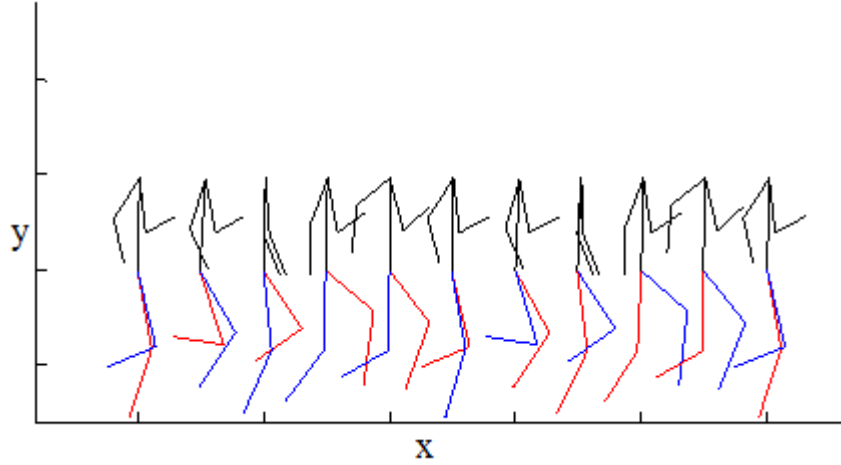
$\frac{e}{\dot{e}}$	NB	NK	S	PK	PB
NB	NB	NB	NK	NK	S
NK	NB	NK	NK	S	PK
S	NK	NK	S	PK	PK
PK	NK	S	PK	PK	PB
PB	S	PK	PK	PB	PB

Kural tablosu kullanılarak, giriş bulanık değerlere karşılık gelen çıkış bulanık değerleri bulunur ve durulandırma işlemi yapılarak bulanık denetleyici çıkış değeri için açı değişim miktarı elde edilir. Bu değişim miktarı bir önceki açı değeriyle toplanır. Bu son açı değeri, hedef açı değerinden çıkarılarak tekrar bulanık sisteme, yeni açı değişim miktarını belirlemek için gönderilir ve yukarıdaki işlemler her bir eklem için ayrı ayrı, hedef açı değerine ulaşmaya kadar tekrarlanır. Bulanık sistem çalışırken açı değişimine bağlı olarak güncellenen x, y konumları insan modeline gönderilerek ekrana çizdirilir ve sürekli şekilde çizilen bu şekiller bir koşu hareketini oluşturur. Diğer yöntemlerin aksine, bulanık mantık sistemi doğrusal olmayan sistemlerde daha iyi sonuçlar verdiği için bu çalışmada koşu hareketinin kontrolü için bulanık mantık tercih edilmiştir. Matlab Simulink ortamında gerçekleştirilen koşu hareketi simülasyonu çalıştırılarak, önerilen yöntemin sonuçları elde edilmiştir. Simülasyon sonuçları alınarak sistemin performansı ve yöntemin doğruluğu ölçülmüştür.

3.2. DeneySEL Sonuçlar

Bu çalışmada, koşma hareketine ait görüntü dizilerinden elde edilen eklem açılarının ve sağlıklı bir insandan ölçülen vücut parça uzunluklarının sayısal verileri alınarak koşma hareketinin modellenmesi ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu hareketin simülasyonunda deneysel olarak elde edilen dokuz farklı eklem açısına karşılık gelen hareketlerin bir döngüsü Şekil 3.11’ de gösterilmiştir.

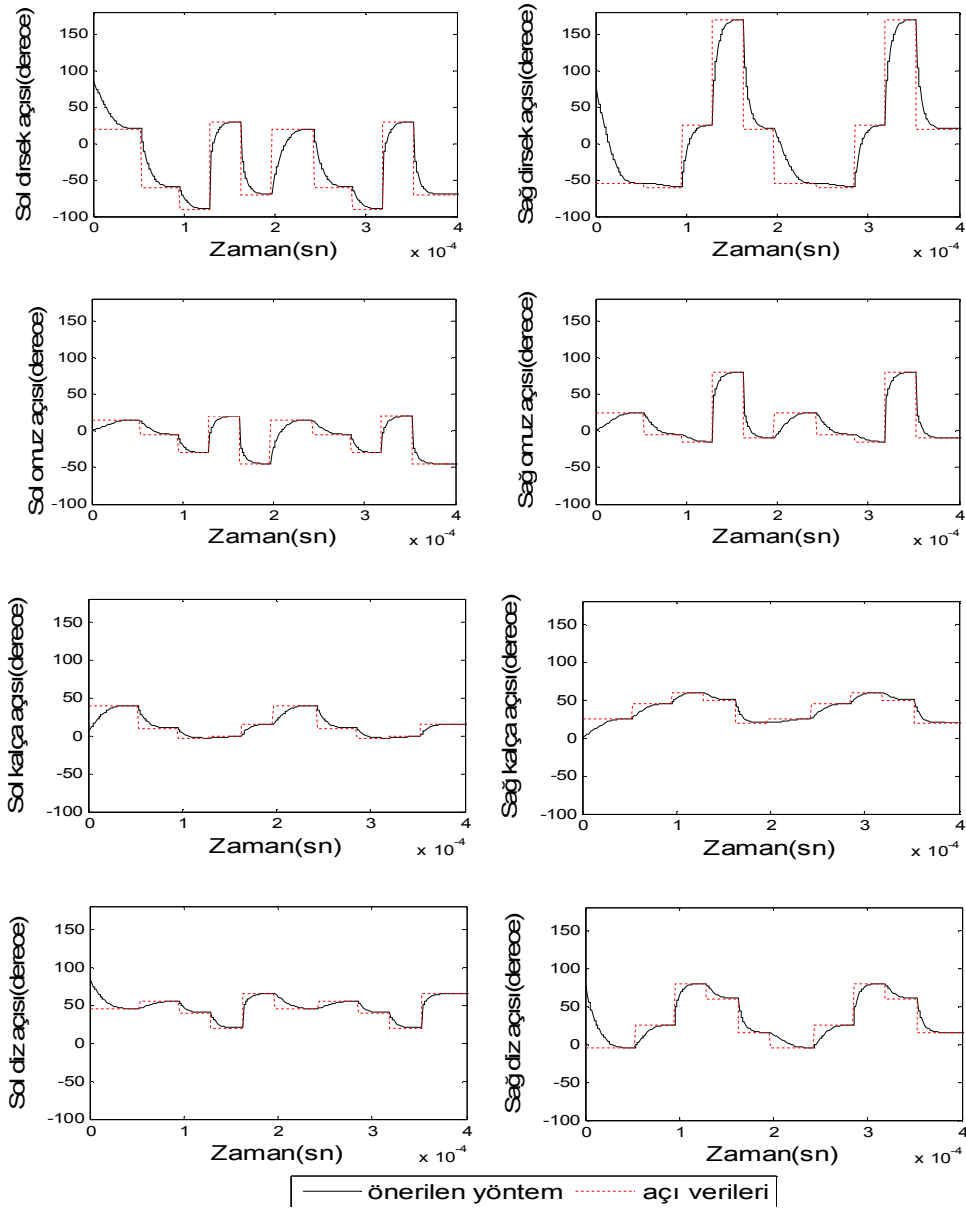
Eklem noktalarına ait açı verilerinin doğruluğu ve önerilen yöntemin performansı, tasarlanan modelin simülasyonunun çalıştırılmasıyla ölçülmüştür. Önerilen yöntemle ait, deneysel sonuçlar grafikler ile verilmiş ve tartışılmıştır.



Şekil 3.11. Koşma hareket döngüsü

Koşma ve yürüme döngüsü, aynı ayağın ikinci kez yere değmesine kadar geçen sürede var olan hareketler dizisi olarak tanımlanmaktadır. Koşma ve yürüme hareketi gibi periyodik hareketlerde, her bir hareket döngüsü basma ve salınım olmak üzere iki aşamaya sahiptir. Ayak zemine temas ettiğinde basma aşaması başlar, zeminden ayrıldığında sona erer ve salınım aşamasına geçer. Bir ayağın ikinci kez yere basmasıyla hareket döngüsü sona erer. Dokuz farklı eklem açısına ait açı verileri kullanılarak simülasyon sonucundan elde edilen Şekil 3.11’deki koşma döngüsü incelendiğinde, aynı ayağın ikinci kez yere basmasıyla hareketin bir periyodunun tamamlandığı görülür. Koşma hareketinde yürüme hareketine göre salınım fazları daha fazladır ve şekilden görüldüğü gibi iki ayağın birden yerle temasının kesildiği sıçrama anları olarak adlandırılan salınım fazları oluşmaktadır.

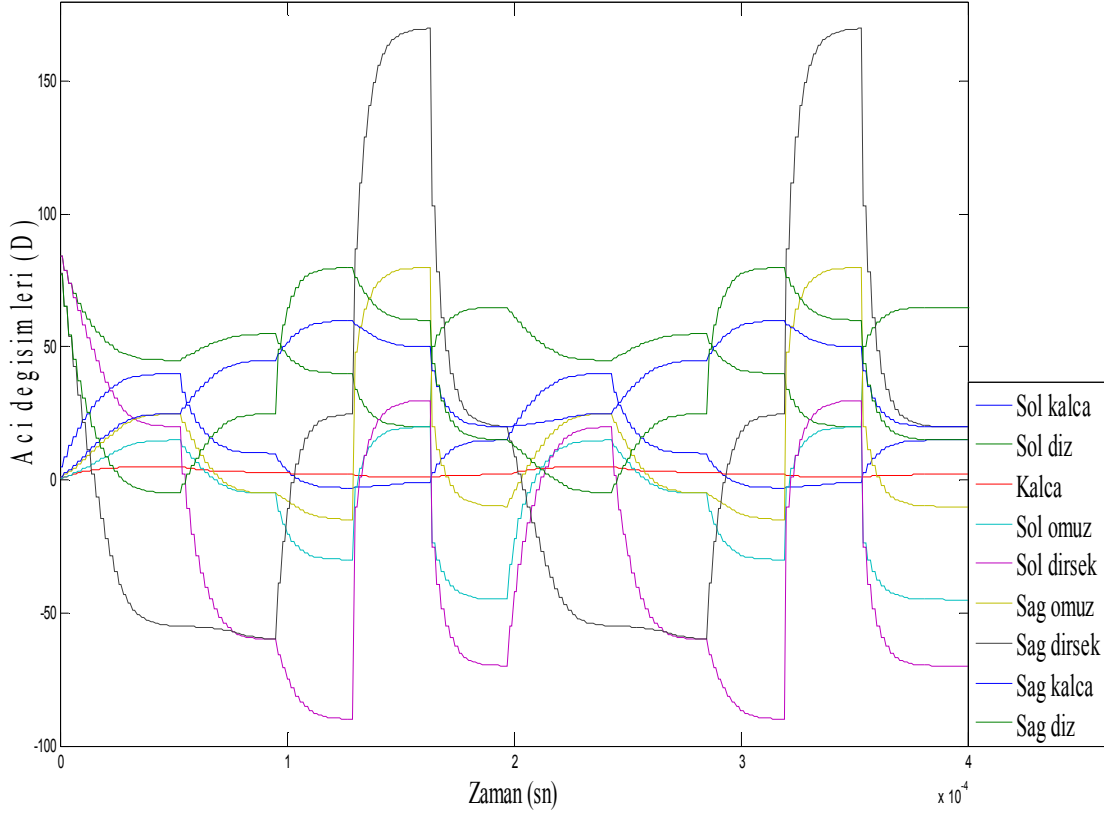
Önerilen yöntem ile MATLAB Simulink ortamında geliştirilen sistem, bulanık sistem kontrolü, insan modeli ve hareket verilerinin bulunduğu alt sistemlerden oluşmaktadır. Bulanık sistem kontrolü, Matlab araçlarından olan Fuzzy Logic Toolbox ile önerilen yöntemle tasarlanmıştır. İnsan modeli, açı değişimleri ile değişen x, y konumlarını güncelleyerek ekrana ilgili hareketi çizdiren bir fonksiyonu içermektedir ve son olarak hareket verileri, görüntü dizilerinden elde edilen eklem açı değerlerinin bulunduğu bir fonksiyondur. Önerilen yöntem ile birlikte geliştirilen sistem için gerçek açı verilerinin ve her bir ekleme ait açı değişimlerinin simülasyon sonuçları Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Eklem Açıları ve Açı Değişimleri

Tasarlanan dokuz parçalı insan modelinin vücudun sağ ve sol bölümüne göre kalça açısı, sol diz açısı, omuz açısı ve dirsek açısında simülasyon süresinde meydana gelen değişimler Şekil 3.12’ de gösterilmiştir. Gerçekleştirilen koşma hareketi simülasyonunda, deneysel olarak elde edilen eklem açlarına ait veriler ile önerilen yöntemin performansı şekilde verilen simülasyon sonuçlarında karşılaştırılmalı olarak görülmektedir. Başlangıç durumundan itibaren, bulanık kontrol yönteminin uygulandığı eklemlerin açı değişimleri incelendiğinde, koşma hareketi boyunca vücudun sağ ve sol bölümündeki eklem noktalarının gerçek açı verileriyle uyumlu şekilde değiştiği görülecektir.

Eklem açılarındaki değişimlere dikkat edildiğinde bir eklem şimdiki durumdan bir sonraki duruma geçişte açısal artış ve azalışlar meydana gelmektedir ve bu durum eklemler arasında eş zamanlı olarak değişmektedir. Bu eş zamanlı geçişleri daha rahat görebilmek için Şekil 3.13’ de belirli açı ve zaman aralığında, tüm eklemlerin açı değişim durumu verilmiştir.



Şekil 3.13. Açıların değişim durumu

Simülasyon sonuçlarından görüldüğü gibi bir hareket için, tüm eklem açıları ilgili hedef açıya ulaşıncaya kadar açısal değişikliklere uğrar ve hedeflenen açıya ulaştığında hareket gerçekleştirilir. Örneğin 9.6×10^{-5} saniye sonunda eklem açıları istenilen hedefe eş zamanlı olarak ulaşarak, yeni hareketi oluşturmak için tekrar açı değişimine uğrarlar. Hareketin başlama konumundan itibaren $1,03 \times 10^{-4}$ saniye sonunda bir koşu döngüsünün tamamlandığı görülür ve bu noktadan sonra açı değerleri periyodik olarak değişime devam eder. Şekil incelendiğinde, gerçekleştirilen koşma hareketi 4 döngü şeklinde gösterilmiştir. İlk döngüden sonra, diğer döngüler benzer hareketler gerçekleştirdiği için grafiklerde benzer sonuçları göstermektedir.

3.3. Bölüm Değerlendirmesi

Hareket analizi sistemleri, üç grupta incelenebilir: (1) vücut parçalarının hareketlerinin incelenmesi, (2) hareketlerin izlenmesi ve (3) hareketlerin tanınması. Aggarwal ve Ryoo, hareket analizleri üzerine çeşitli çalışmalar gerçekleştirerek insan hareketlerinin tanınması için önerilen yaklaşımlara genel bir bakış açısı sunmuştur. Tezin bu bölümünde, insan hareketleri incelenmiş, gerçek bir insan hareketi üzerinden deneysel veriler alınmış ve 9 parçalı bir insan modeli inşa edilerek önerilen yöntem ile hareket simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, oturma, kalkma, kaldırma gibi basit hareketler üzerinden çalışılan sistem, koşma ve yürüme gibi daha karmaşık hareketleri simüle edecek şekilde geliştirilmiştir.

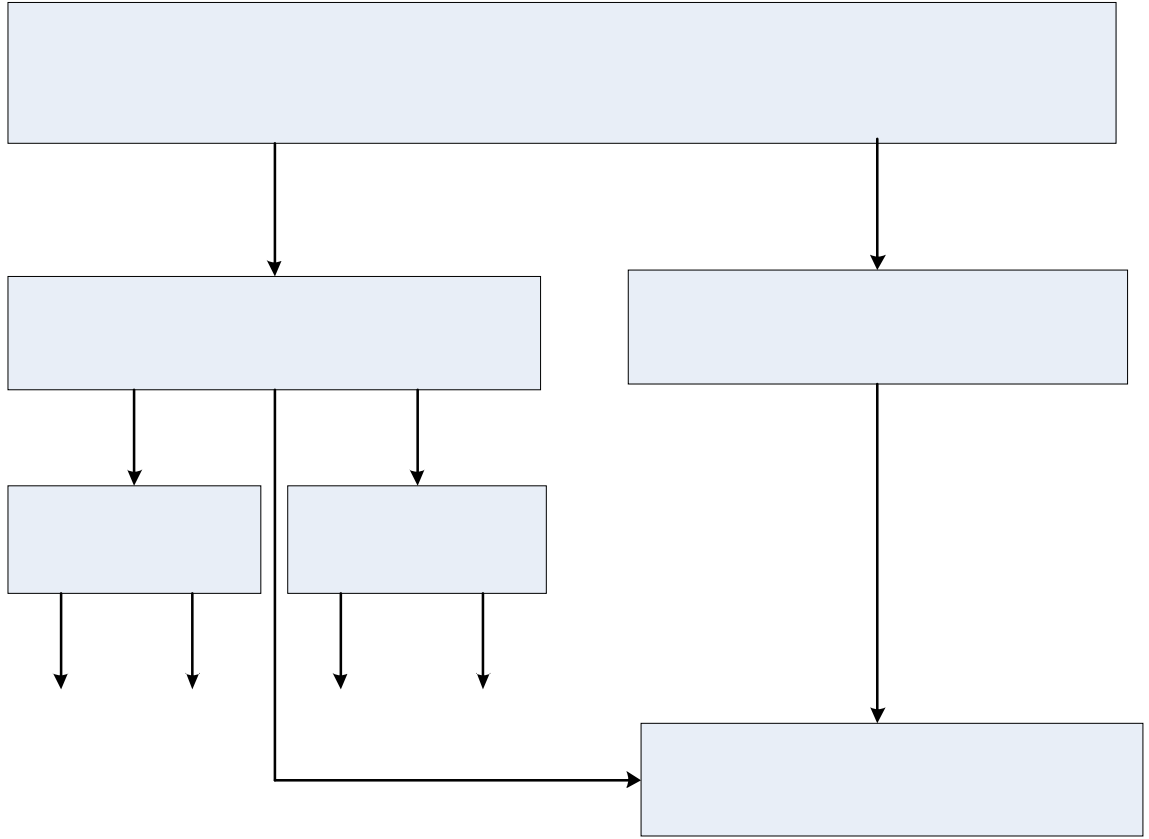
İnsan hareketlerini analiz etmek ve daha iyi anlayabilmek için tezin bu bölümünde, gerçek bir insanın koşma hareketinden yola çıkarak bu hareketlerin kinematik karşılığının modellenmesi ve simülasyon sonuçlarının sunulması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmiştir.

- Bir insanın koşma hareketi, görüntü dizilerine aktararak eklem noktalarındaki açısal değişikliklerin karşılığı hesaplanmıştır.
- Bu açı verilerinin doğruluğunun gözlemlenmesi için 9 parçalı bir çubuk şekil modeli oluşturulmuştur.
- Matlab ortamında oluşturulan bu model çalıştırılarak açılara karşılık gelen hareketler çizdirilmiş ve bu hareketler incelenerek verilerin doğruluğu gözlemlenmiştir.
- Koşu hareketinin doğru çalıştırılması için bulanık mantık kontrollü bir sistem geliştirilmiştir ve açı farklılıklarından kaynaklanan gecikmelerin önlenmesi için bu sisteme adaptif bir yöntem eklenmiştir.
- Elde edilen açı verileri, geliştirilen sisteme giriş olarak verilerek verilerin her açı değişimindeki karşılığı ekranda sistemin çalışması süresince izlenmiştir.
- Sistemin çalıştırılması ile koşu hareketi simülasyonu gerçekleştirilmiş ve simülasyon sonuçlarına bakılarak önerilen yöntemin performansı değerlendirilmiştir.
- Adaptif yöntemin gecikmelerden kaynaklı gerekliliği ve etkinliği deneysel sonuçlarda ortaya koyulmuştur.

4. İNSAN HAREKETLERİNİN BİYOMEKANİKSEL ANALİZİ

Canlıların hareketlerinin nasıl gerçekleştiği sorusuna kinesiyojoloji, mühendislik, fizik, biyoloji gibi birçok araştırma alanı ilgi duymaktadır. İnsan ve hayvan hareketlerinin tanınması biyomekaniksel analizler, performans analizleri, kişi tanıma, hareket bozukluklarının belirlenmesi, bilgisayar grafikleri ile sanal insan canlandırmaları gibi pek çok alanda önemli bir rol oynamaktadır.

İnsan hareketleri üzerine çalışan bilim adamları kinesiyojoloji ve biyomekanik terimlerinin kullanılması üzerine fikir ayrılıkları yaşarlar [85]. Biyomekaniksel ve kinesiyojoloji hareket analizlerinin temel bileşenleri Şekil 4.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Hareket analiz çeşitleri

Kinesiyojoloji, insan hareketlerini anatomik, fizyolojik, psikolojik ya da mekanik olarak tanımlamaktadır. Yani birçok farklı içerik alanlarını tanımlamak için farklı bilim dalları tarafından kullanılır. Bir sandalyeden kalkma hareketinin kinesiyojolojik analizi kalça, diz uzantısı ve kas hareketleri ile ilgilenir.

Biyomekaniksel analiz, yaşıyan canlılar üzerindeki kuvvetlerin etkinliğini ve yaşıyan canlıların hareketlerini değerlendirir. Hareket analizleri için biyomekaniksel yaklaşım, hareketlerin gözlemlenmesi ile niteliksel, harekete ait bilgilerin ölçülmesi ile nicelik olabilir. Bir sandalyeden kalkma hareketinin biyomekaniksel analizi, ayak ve yer arasındaki kuvvet ve ayak bileği, diz, kalça gibi eklem kuvvetleri ile ilgilenir.

Biyomekaniksel analizlerde ve kinesiyoijide kullanılan bileşenler aşığıda verilmiştir.

- **Kinematik:** Hareket ait özellikleri içerir (pozisyon, hız, ivme özellikleri)
- **Kinetik:** Harekete neden olan etmenleri içerir (kuvvet, torklar)
- **Fonksiyonel Anatomi:** Bir hareketi gerçekleştirmek için ihtiyaç duyulan vücut bileşenleri (kaslar)

Hareket sistemlerinde kullanılan biyomekaniksel analiz, canlı hareketlerinin tanınması ve analizi için mühendislik prensiplerinin biyolojik sistemlere uygulanmasıdır. Hareketler biyomekanik analizlerde kinetik ve kinematik olmak üzere ikiye ayrılır. Kinematik analizde hareketi oluşturan kuvvetler ve torklar göz önünde bulundurulmaz ve yalnızca hareket incelenir. İnsan hareketlerinin kinematik analizinde, eklem noktalarının konumları, hızları ve ivmeleri gibi sayısal veriler elde edilir. Bir hareket gerçekleşirken pozisyon ve hız bilgilerinin alınması, hareketin daha doğru şekilde modellenmesini veya tanınmasını sağladığından dolayı hareket analiz sistemlerinde kinematik veriler sıklıkla tercih edilmektedir. Kinetik analizde, çeşitli hareketler için kas-iskelet yapısı üzerine uygulanan kuvvet ve momentler incelenir.

Hareket analizlerinde kullanılan insan vücut modellerinde, vücut bölümleri, diz, omuz, dirsek, kalça gibi eklemler ve kollar, bacaklar, gövde gibi vücut parçalarından oluşmaktadır. Biyomekanik analizlerinde kullanılan yöntemlerin iyi sonuç vermesi, bu vücut bölümlerinin ve parçalarına ait hız ve konum bilgilerini içeren kinematik verilerin doğru tespitine bağlıdır.

Bu bölümde, tez içeriğindeki hareketleri tanınma yöntemleri için biyomekaniksel analizler yapılmıştır. Çalışılacak hareketlerin belirlenmesi, bir RGB-D sensör ve sensör üzerinde geliştirilen uygulamayı kullanarak farklı aktörler tarafından gerçekleştirilen hareketlere ait 3B konum bilgilerinin alınması, 3B konum bilgilerinden biyomekaniksel analiz yöntemi ile hız bilgilerinin hesaplanması ve biyomekaniksel analiz sonuçları sunulurak değerlendirilmesi yapılmıştır.

4.1. Kullanılan Hareketler

Bu tez çalışmasında günlük hayatta sıklıkla kullanılan insan hareketlerinin analizi gerçekleştirilmiştir. Biyomekaniksel analizlerde ve hareket tanıma çalışmalarında kullanılacak hareketlerin belirlenmesi için insan hareketleri fiziksel, mekaniksel ve biyolojik olarak detaylı incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ve gözlemler sonucunda, tez çalışmasında kullanılacak dokuz farklı harekete karar verilmiştir.



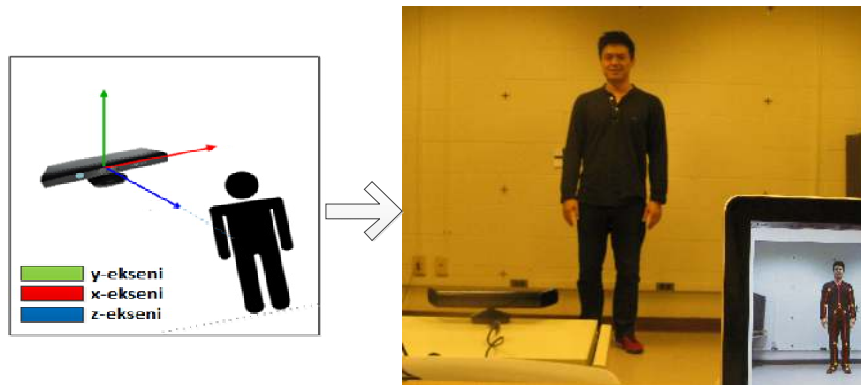
Şekil 4.2. Zıplama (A) , ileri zıplama (B), bir nesneyi alma (C), el sallama (D), kalkma (E), kaldırma (F), sekme (G),sekme (G), oturma (H), yürüme (I) hareketi ve eklemlerin iskelet modeli

Ohio State Üniversitesi, Bilgisayarlı Görme Laboratuvarı'ndan alınan hareket videolarına ait kamera görüntüleri Şekil 4.2' de verilmiştir. 3 farklı aktör (Young-Jin, Polun, Daniya) tarafından zıplama, ileri zıplama, bir nesneyi alma, el sallama, kalkma, kaldırma, sekme, oturma, yürüme hareketleri çok kez gerçekleştirilmiştir. Hareketlere ait 3B konum bilgileri geliştirilen uygulama ile bir RGB-D sensör üzerinden alınmıştır. Şekilden görüleceği üzere hareketler kırmızı renkli bir iskeletle takip edilip, sarı renkli eklem noktalarına ait veriler kaydedilmiştir.

4.2. Kinematik Verilerin Toplanması

Kinematik verilerin toplanması için nicelik analizinde pek çok yöntem vardır. Örneğin biyomekanik laboratuvarları, vücut hareketlerinin hızlanma ivmelerini ölçmek için hareket ölçer aletleri kullanmasına rağmen, yüksek hızlı videolardan kinematik verilerin elde edilmesine yönelik yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Video kameralardan elde edilen veriler sıklıkla zaman ile değişen vücut parça hareketlerinin ya da vücut eklemlerinin konum bilgisidir.

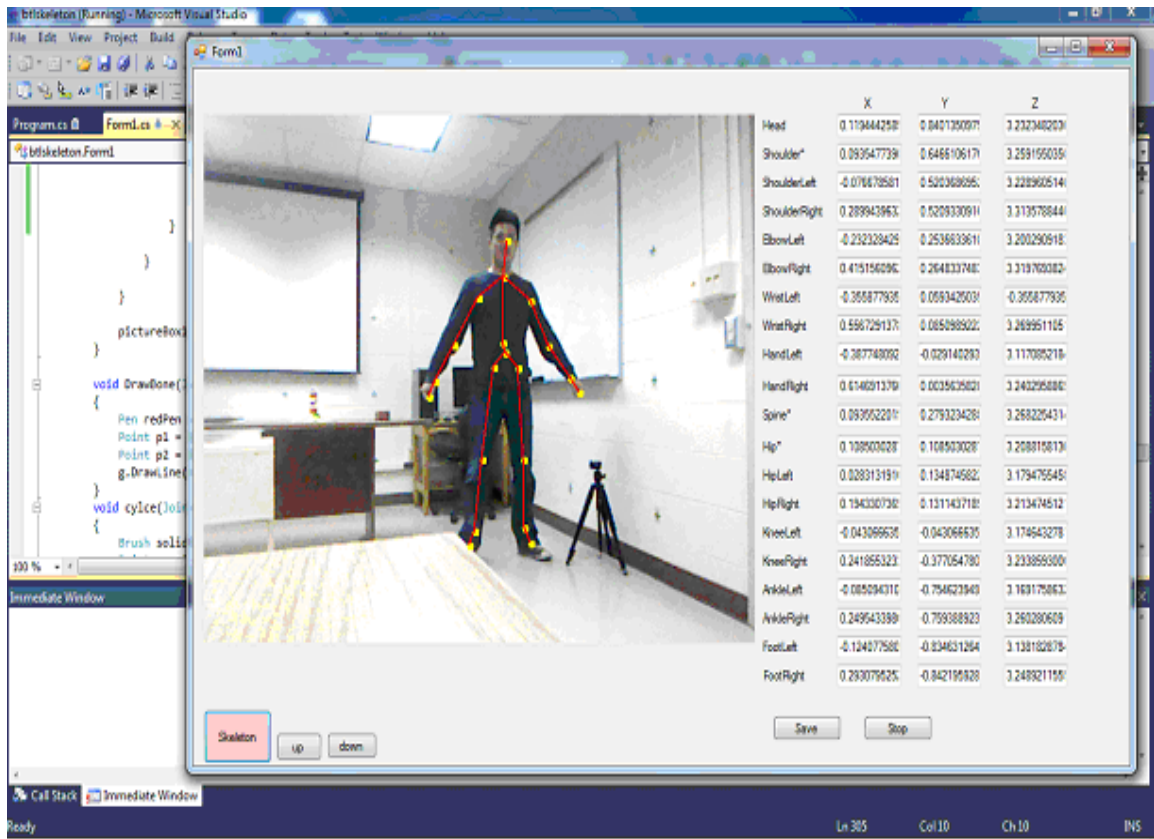
Video frame'lerinin bir diğer deyişle bir hareket videosundan alınan kamera görüntülerinin analizinde, x ve y eksenlerinden oluşan 2 boyutlu sistemde bir vücut parçasının konumu hesaplanmaktadır. 2 boyutlu sistemlerde, merkezden (orijin) sola doğru yapılan hareket negatif x değerlerini, aşağıya doğru yapılan hareket ise negatif y değerlerini temsil etmektedir. 3 boyutlu sistemlerde ise 2 boyutlu sistemlere ek olarak kamera ile olan mesafe, z değerlerini temsil etmektedir. Bu çalışmada Şekil 4.3' de gösterildiği gibi bir RGB-D sensör kullanılarak gerçekleştirilen uygulama ile hareketli eklem noktalarına ait üç boyutlu konum verileri (x, y, z) alınmıştır.



Şekil 4.3. Hareketli eklem noktalarına ait konum bilgilerinin elde edilmesi

Yazılım Geliştirme Kiti ile gerçekleştirilen Uygulama

RGB-D sensör ile kamera üzerinden kişi tespit edilerek hareketlerinin takip edilebilmesi için bir iskelet takip uygulaması oluşturularak kontrol (eklem) noktalarına ait verilerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Her bir eklem noktasına ait eğitim verileri (3B koordinat bilgisi), başlangıç ve bitiş hareketleri arasında seçim yapılarak text dosyasına kaydedilmektedir. Bu uygulama, ana geliştirme dili olarak c#, Kinect SDK V1.0 ve üzeri yazılım geliştirme kitini kullanmaktadır.



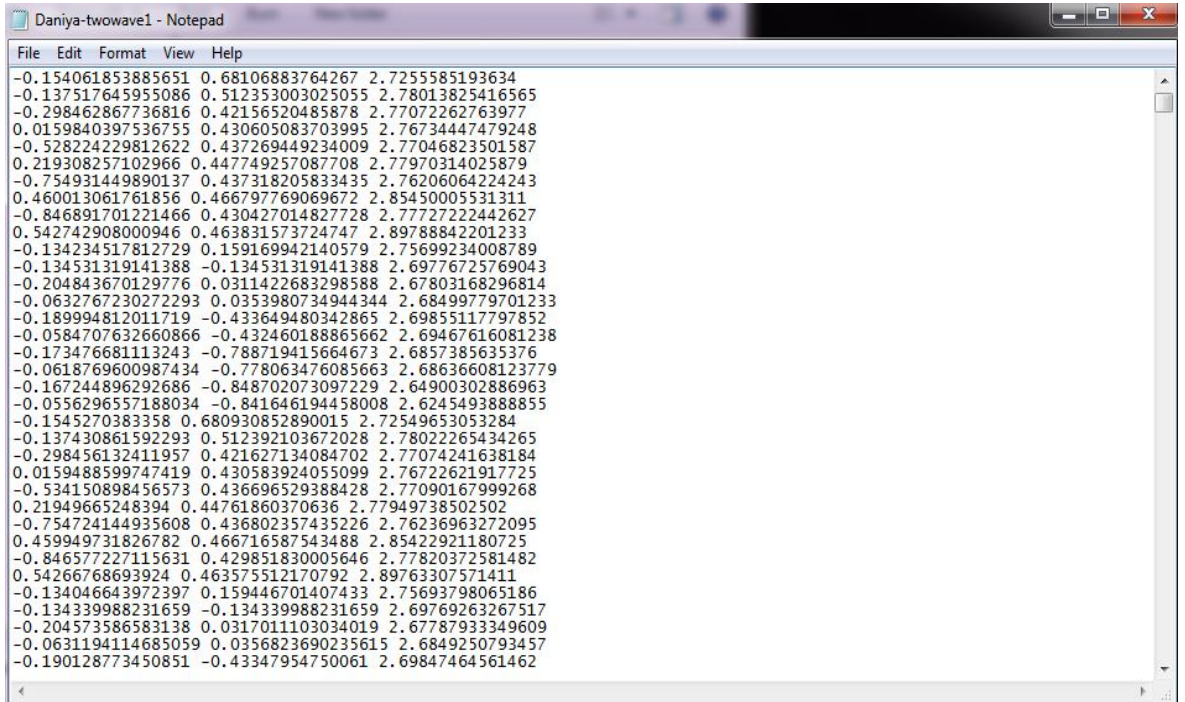
Şekil 4.4. Hareket verilerinin kaydedilmesi

Şekil 4.4' de gösterilen ara yüzden görüleceği gibi kullanıcının her bir hareketinde 20 kontrol noktasının x, y ve z konum bilgileri alınmaktadır.

Her bir kontrol noktasındaki (x, y, z) konumu şu şekilde ifade edilir:

- x, merkezden sağa doğru hareket eksenini
- y, merkezden yukarı doğru hareket eksenini
- z, sensörden kullanıcıya doğru hareket eksenini

Konum bilgilerinin alınma zamanı kullanıcının tercihiyle bağli olarak el kaldırma gibi bir tanıma yöntemi ile ya da save-stop (kaydet-durdur) butonu ile başlangıç ve bitiş hareketleri belirlenerek gerçekleştirilmiştir. Up-down (yukarı-aşağı) butonu ile kameranın aşağı ve yukarı yönde kullanıcıya göre hareketi sağlanmıştır. Bu şekilde tez çalışmasında kullanılacak olan tüm hareketler gerçekleştirilerek, geliştirilen uygulama ile hareketlere ait konum-zaman verileri kaydedilmiştir. Bir el sallama hareketine ait 3B konum bilgilerinin bulunduğu kayıtlı bir dosya Şekil 4.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. 3B konum bilgilerinin bulunduğu örnek dosya

Geliştirilen uygulama ile kamera üzerinden alınan hareketli eklem noktalarına ait konum bilgileri dosyada görüldüğü şekilde kaydedilmiştir. Satırlar yukarıdan aşağıya doğru baş, omuz, sol omuz, sağ omuz, sol dirsek, sağ dirsek, sol el bileği, sağ el bileği, sol el sağ el, bel, sol kalça, sağ kalça, sol diz, sağ diz, sol ayak bileği ve sağ ayak bileği eklemlerine ait x, y ve z konum bilgilerini içermektedir. Z konum bilgilerine bakıldığında, hareketi alınan aktörün kameradan uzaklığının 2.5- 3 metre arasında olduğu görülmektedir. Kayıtlı konum bilgileri, kameradan kaynaklı pek çok gürültülü veri içerebilmektedir. Şekil 4.6’ da bazı hatalı kamera görüntüleri kırmızı kutular içerisinde gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Hatalı veri içeren bazı kamera görüntüleri

Şekilden görüleceği üzere, sensör üzerinden hareketli eklem noktalarına ait konum bilgileri alınırken bazı hataları veriler elde edilmiştir. Özellikle zıplama, sekme ve yürüme gibi hızlı hareketlerde iskeletin takibi zorlaşmaktadır. Ucuz ve pratik 3B dijital algılama cihazı olan RGB-D sensörün genel olarak dezavantajları aşağıda verilmiştir.

- Sesin yansımından dolayı sesteki kaynaklı gürültülere duyarlıdır
- Hızlı hareketlerde vücut hareketlerinin takibi zorlaşmaktadır
- Kameradan görünmeyen vücut parçalarına ait veriler hatalı olabilmektedir
- Bir görüntü karesi üzerinde yalnızca bir ya da iki kişinin vücut hareketleri takip edilebilmektedir
- Kamera ile aktör arasındaki ideal uzaklık 1.2 – 3.5 metre olmalıdır.

4.3. Konum Zaman Verilerini Kullanarak Vektörel Hız Hesaplamaları

Bu bölümde, aktörler tarafından gerçekleştirilen hareketlere ait konum bilgileri kullanılarak bu bilgilerden eklem noktalarına ait hız çıkarımı yapılacaktır. Hız verilerinin elde edilmesi için Merkezi Fark Yöntemi kullanılmıştır. Biyomekaniksel hareket analizleri sonucunda bu yöntemin doğruluğu, deneysel sonuçlarda tartışılacaktır. Hareket, bir nesnenin konum değişimi ile oluşmaktadır. Bir hareketin oluşabilmesi için nesneler bir anda konum değiştiremediğinden zaman önemli bir faktördür. Böylelikle hareket belirli bir zaman içerisinde bir konum değişimi olarak düşünülebilir. Bir başlangıç konumundan hareket eden nesnenin aldığı yol ve hareketin yönü ile yer değiştirme miktarı hesaplanmaktadır.

Matematiksel olarak yatay (x) ve dikey (y) düzlemde yer değiştirme sırasıyla (Δx , Δy) şu şekilde ifade edilir;

$$\begin{aligned}\Delta x &= x_s - x_i \\ \Delta y &= y_s - y_i\end{aligned}\tag{4.1}$$

Burada s simgesi son konumu, i simgesi ilk konumu ifade etmektedir. Yer değiştirme, cismin son bulunduğu noktadan ilk bulunduğu nokta çıkarılarak bulunmektedir.

Hız, konum değişiminin zamana oranı ile tanımlanan vektörel bir niceliktir. Biyomekaniksel analizlerde hız, skaler nicelikten ziyade vektörel nicelik olarak tercih edilir. Hız şu şekilde ifade edilmektedir;

$$\begin{aligned}V &= (\text{konum}_s - \text{konum}_i) / (\text{zaman}_s - \text{zaman}_i) \\ &= \text{konumdaki değişim} / \text{zamandaki değişim} \\ &= \Delta x / \Delta t \text{ ya da } \Delta y / \Delta t\end{aligned}\tag{4.2}$$

Biyomekanikte yaygın olarak kullanılan hız birimi saniye başına düşen metre yani metre/saniyedir.

4.4. Önerilen Yöntem

Kameranın görüntü karelerinden (frame rate) oluşan zaman aralığı ile videonun her bir karesinden alınan eklem konumlarına dayalı biyomekaniksel çalışmalarda kinematik veriler toplandığı için biyomekanistler hız bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Bir nesnenin konumu, video kareleri arasındaki süreden daha az bir periyotta değişebilir. Bu yüzden hız, video kareleri arasındaki tüm sürenin üzerinden hız ortalamasını gösteren iki video karesi arasından hesaplanır. Ortalama bir hız, hareket süresince konumdaki değişimden hesaplanabilmektedir. Geleneksel yöntemler ile bir video karesinin başlangıç ve bitiş süresine göre her bir görüntü karesine düşen ortalama hız hesaplandığında, zaman konum bilgisi ile tam olarak eşleşmez. Fakat Merkezi Fark Yöntemi [85] ile iki görüntü karesi kullanılacağı için bu problem çözülmüş olur.

- Merkezi fark yöntemine göre hız şu denklemlerle ifade edilir;

$$V_{xi} = \frac{(Xi+1)-(Xi-1)}{2\Delta t} \quad V_{yi} = \frac{(yi+1)-(yi-1)}{2\Delta t} \quad (4.4)$$

Denkleme göre, frame i' deki hız, frame i+1 ve i-1' deki konum bilgileri kullanılarak hesaplanmaktadır. Örneğin frame 3' teki hızın hesaplanması istenirse, frame 4 ve 5' teki veriler kullanılır. Bir hareket gerçekleşirken, görüntü kareleri arasındaki eklem noktalarına ait hız değişimi farklıdır, dolayısıyla hız değişimlerini aynı olarak kabul etmek yanlış olacaktır. Bu yüzden bu tez çalışmasında konum-zaman verilerinden hız-zaman verileri çıkarımı yapmak için Merkezi Fark Yöntemi kullanılmıştır. Böylelikle, iki görüntü karesindeki hız değişimleri dikkate alınarak, gerçeğe yakın hız verilerine ulaşılması hedeflenmiştir.

Tablo 4.1' de bir el sallama hareketinde sol dirsek hareketine ait her bir frame' e (görüntü karesi) karşılık gelen zaman, konum bilgileri ve fark yöntemi kullanarak hız hesaplama sonuçları gösterilmiştir. Örneğin 3.frame' e ait hız (V_x) değeri şu şekilde hesaplanır;

$$V_x(3) = \frac{(Xi+1)-(Xi-1)}{2\Delta t} = \frac{(-0,485173762)-(-0,50446707)}{(0,074074)-(0,024691)} = 0,390689492 \quad (4.4)$$

Tablo 4.1. Konum-Zaman verilerinden hız hesaplaması

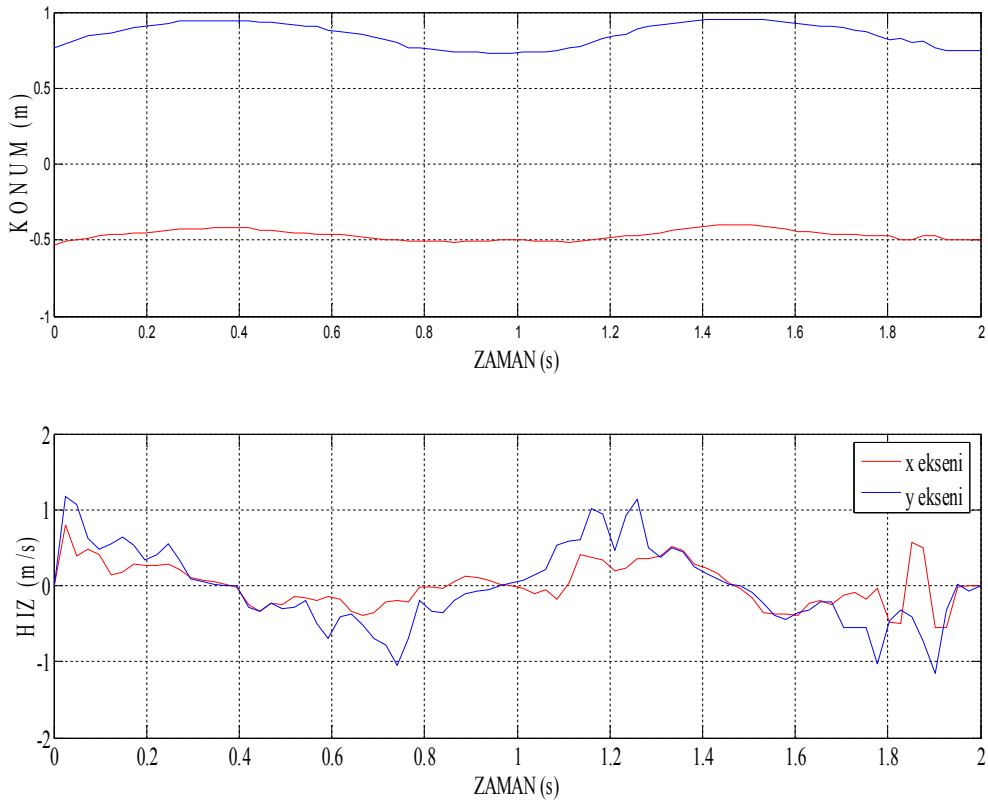
Frame	Zaman (s)	Konum (x) Verileri (m)	Vektörel Hız (Vx) (m/s)	Konum (y) Verileri (m)	Vektörel Hız (Vy) (m/s)
1	0	0,533324361	0	0,764214933	0
2	0,024691	- 0,50446707	0,798833929	0,787327528	1,167180151
3	0,049383	0,493875772	0,390689492	0,821853459	1,074147463
4	0,074074	0,485173762	0,476205625	0,840371847	0,617933884
5	0,098765	0,470359445	0,416768409	0,852368712	0,480255693
6	0,123457	0,464592606	0,148041442	0,864088178	0,547086954
7	0,148148	0,463048756	0,173688255	0,879385352	0,638900578
-	-	-	-	-	-
75	1,82716	0,496694654	0,490161493	0,825277448	0,322691068
76	1,851852	0,494614124	0,566599824	0,801817179	0,415930152
77	1,876543	0,468714416	0,493156046	0,804737687	0,732896447
78	1,901235	0,470260739	0,552086323	0,765624762	1,160449952
79	1,925926	0,495977938	0,551632494	0,747431517	0,327906489
80	1,950617	-0,49750185	0,024253942	0,749431849	0,023339644
81	1,975309	0,497175664	0,005374745	0,748584092	0,072329119
82	2	-0,49776727	0	0,74586004	0

Geliştirilen bir yazılım uygulaması ile Tablo 4.1’ de hesaplanan sonuçlar incelendiğinde, 0 ile 2 saniye arasında gerçekleştirilen el sallama hareketi 82 frame’ e bölünerek sol dirsek eklemine ait konum bilgilerinden her bir görüntü karesindeki sol dirsek hareketinin hız değişim bilgisine ulaşılmıştır. Her bir frame arasındaki zaman farkı $2/82 = 0,024691$ saniyedir. Tablo incelendiğinde, hız değeri harekete ilk başlama anında (frame 1) ve hareket sonlandığında (frame 82) 0 olarak görülmektedir. Görüntü kareleri arasındaki geçişte, sol dirsek eklemine ait hız değişimleri farklılık göstermiştir. Bir el sallama hareketi periyodiktir. . El sallama hareketinde, sol dirsek ekleminin hareket dizisi Şekil 4.7’ de verilmiştir.

**Şekil 4.7.** El sallama hareket döngüsü

El sallama hareketinin hız geçiş durumlarına bakıldığında, ilk durumda kol hareketsizdir. Daha sonradan +y yönünde hızlanma görülmektedir. Hareketin ilk yarım döngüsü tamamlandıktan sonra -y yönünde hızlanarak eski konumuna dönüş gerçekleştirilir. Böylece bir el sallama hareketinin döngüsü tamamlanmış olur.

Şekil 4.7’ de Merkezi Fark Yöntemi ile el sallama hareketinin sol dirsek eklemine ait her bir frame için konum zaman değerlerinden Tablo 4.1’ de görüldüğü gibi hız hesaplamaları yapılarak hareketin gözlemlenmesi için hız-zaman grafiği elde edilmiştir.



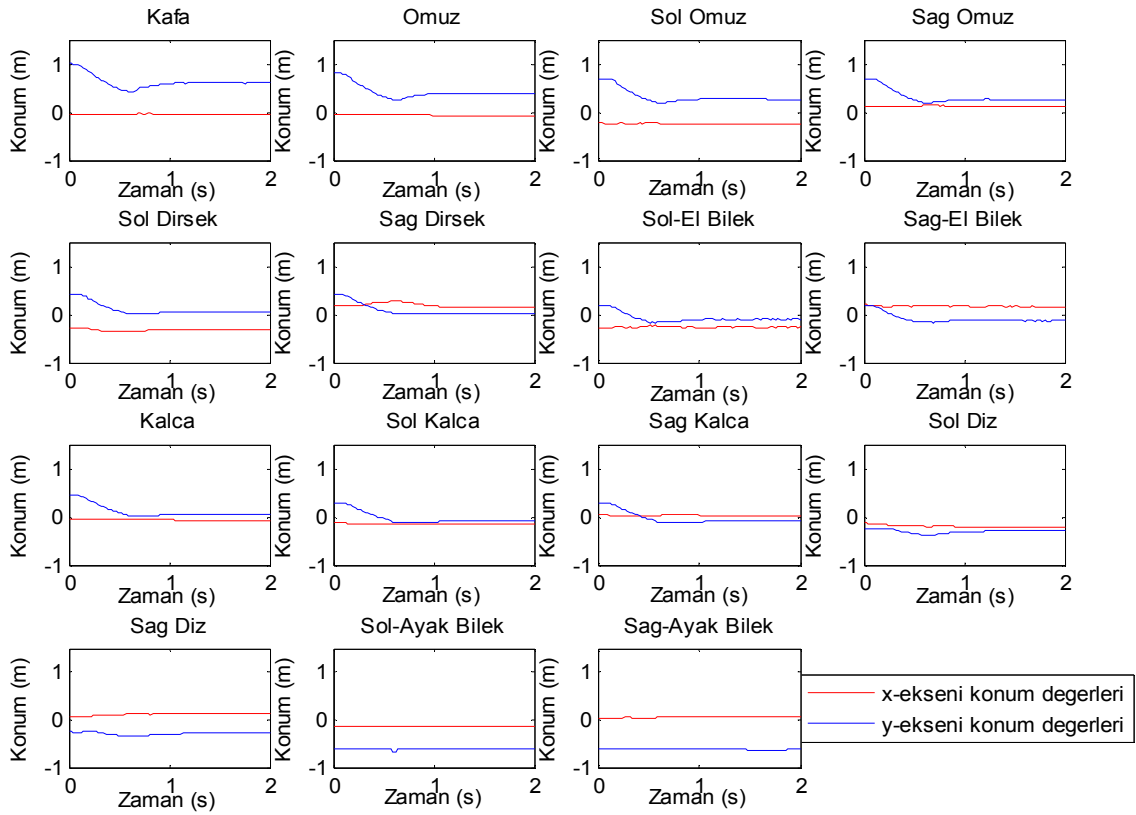
Şekil 4.8. Konum-zaman ve hız-zaman grafiği

Başlangıçta takip edilen insan vücudu sensörün merkezine (koordinat düzleminde orjin) yerleştirilir. Merkezden sola ve sağa doğru hareketler, sırasıyla negatif x ve pozitif x değerlerini göstermektedir. Merkezden aşağı ve yukarı doğru hareketler, sırasıyla negatif y ve pozitif y değerlerini göstermektedir. Şekil 4.8’ deki sol el sallama hareketine ait konum-zaman grafiği incelendiğinde, x ve y konum değerlerinin 0.5 saniye boyunca yukarı doğru hareket ettiği görülecektir. Bu durumda, dirsek eklem noktası pozitif y değerini gösterir. Hareketin ilk yarım döngüsü tamamlandığında eklem noktasındaki hız 0 olmuştur. Hız-

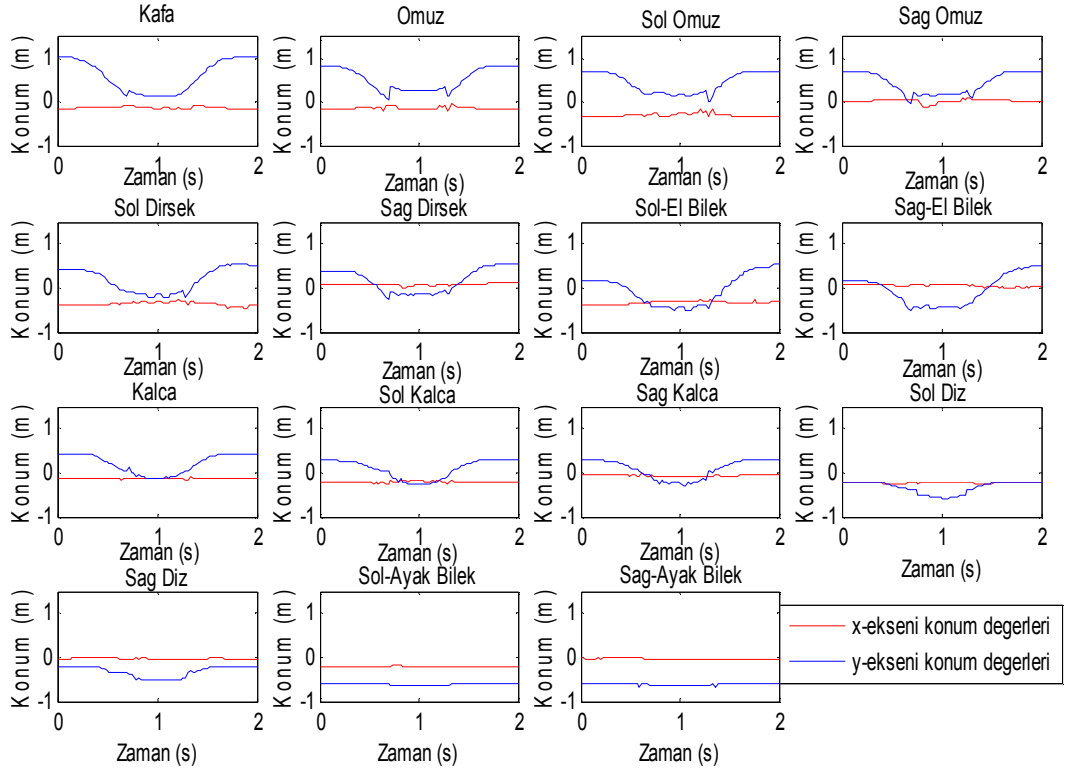
zaman grafiğinden görüleceği gibi 0.5 ve 1 saniye arasındaki hareketin ikinci yarım döngüsü, 0 ve 0.5 saniye arasındaki ilk yarım döngünün tersidir. Her hareket, farklı aktörler tarafından 2 saniye süresince 2 ya da 3 kez tekrarlanır. Böylelikle takip edilen bütün eklem noktalarına ait bu şekilde konum verileri gözlenmiştir ve konum verileri kullanılarak hız verileri hesaplanmıştır.

4.5. DeneySEL Sonuçlar

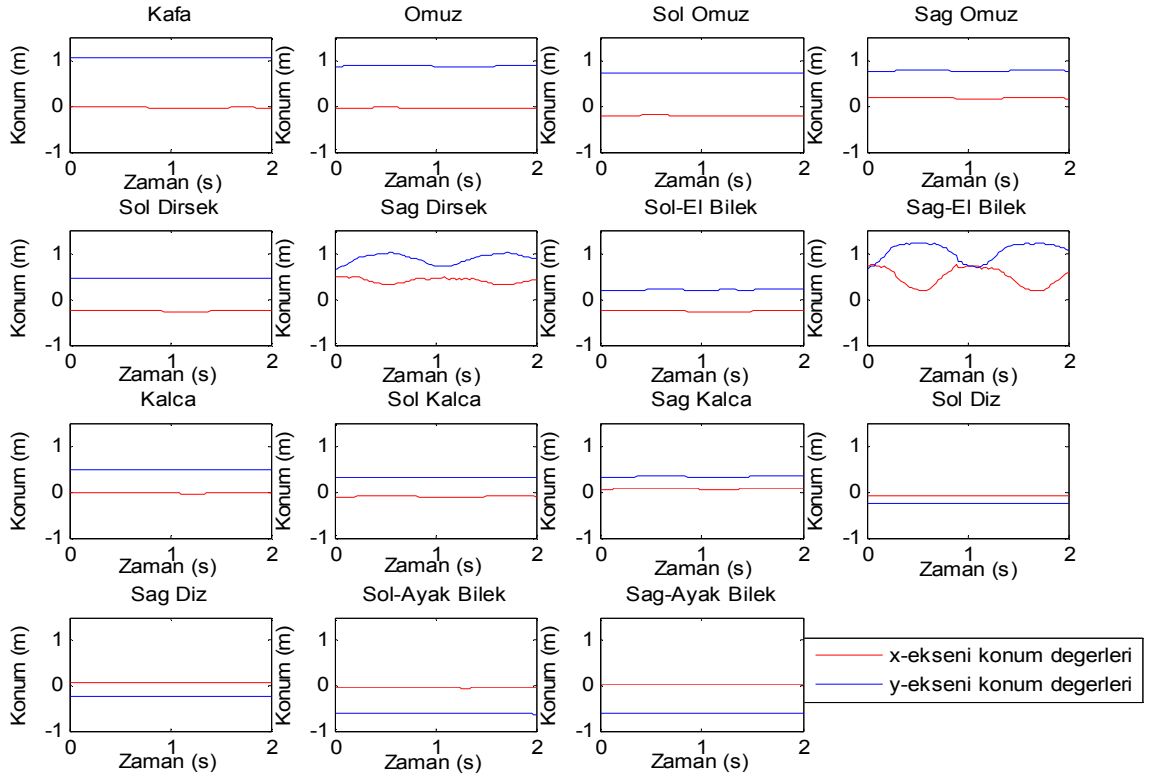
Oturma (Şekil 4.9) , kaldırma (Şekil 4.10), el sallama (Şekil 4.11), kalkma (Şekil 4.12), bir nesneyi alma (Şekil 4.13) hareketlerine ait bazı veriler konum-zaman grafiklerinde verilmiştir. Sensör kullanılarak alınan kafa, omuz, sol omuz, sağ omuz, sol dirsek, sağ dirsek, sol el bileği, sağ el bileği, kalça, sol kalça, sağ kalça, sol diz, sol ayak bileği, sağ ayak bileği eklemlerinin zamana göre x ve y ekseninde konum değişimleri aşağıdaki grafiklerden görülmektedir. Gösterilen hareketler, z ekseninde bir konum değişimi gerçekleştirmediği için grafiklerde yer almamıştır.



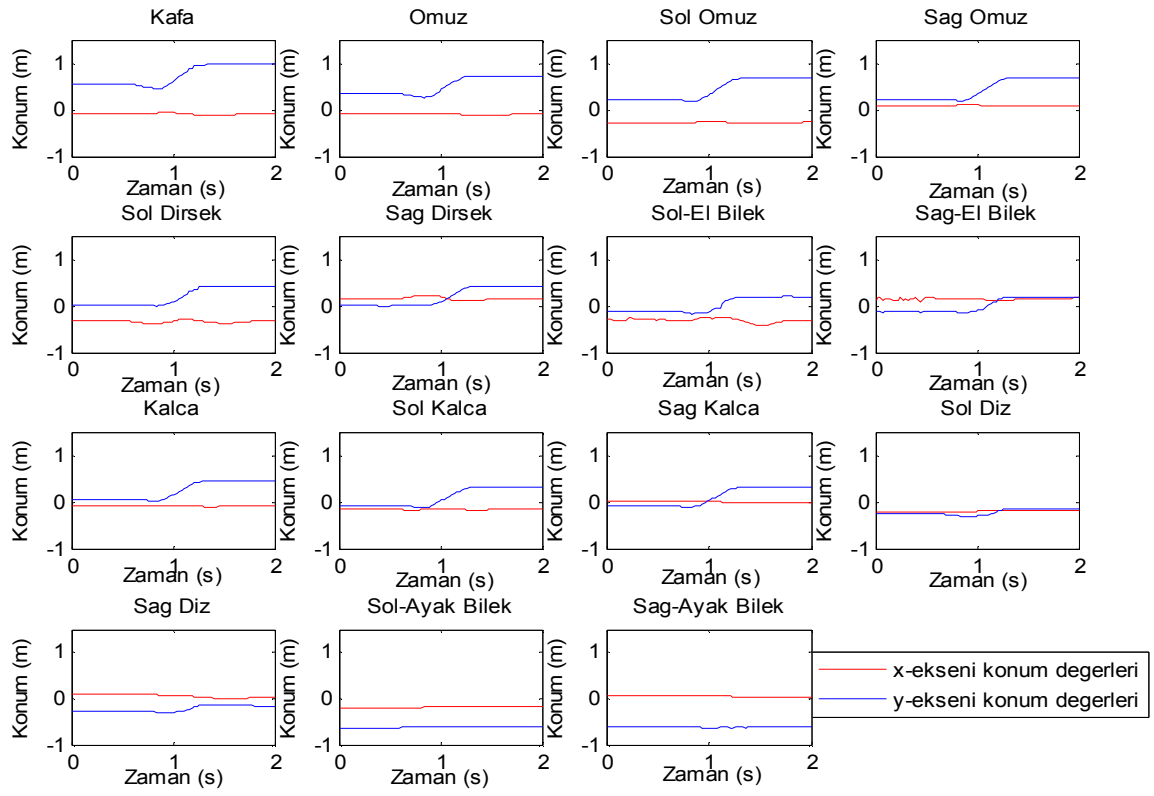
Şekil 4.9. Oturma hareketine ait konum-zaman grafiği



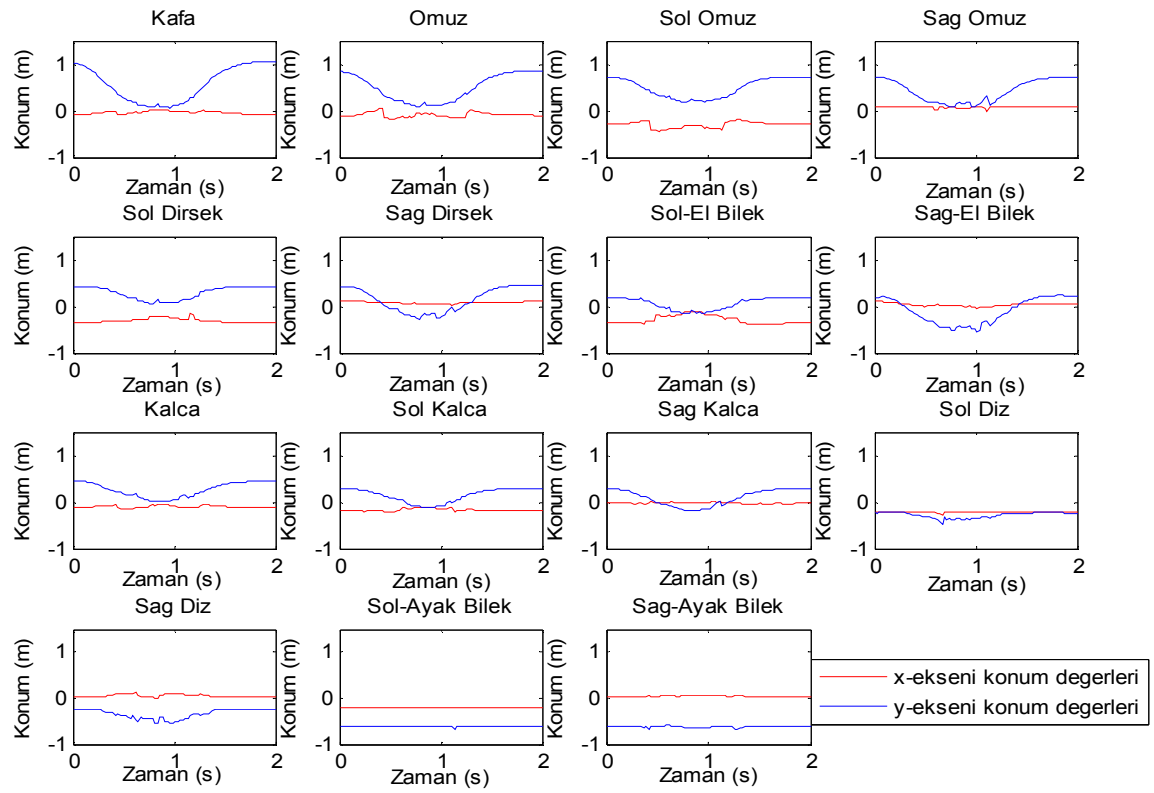
Şekil 4.10. Kaldırma hareketine ait konum-zaman grafiği



Şekil 4.11. El sallama hareketine ait konum-zaman grafiği

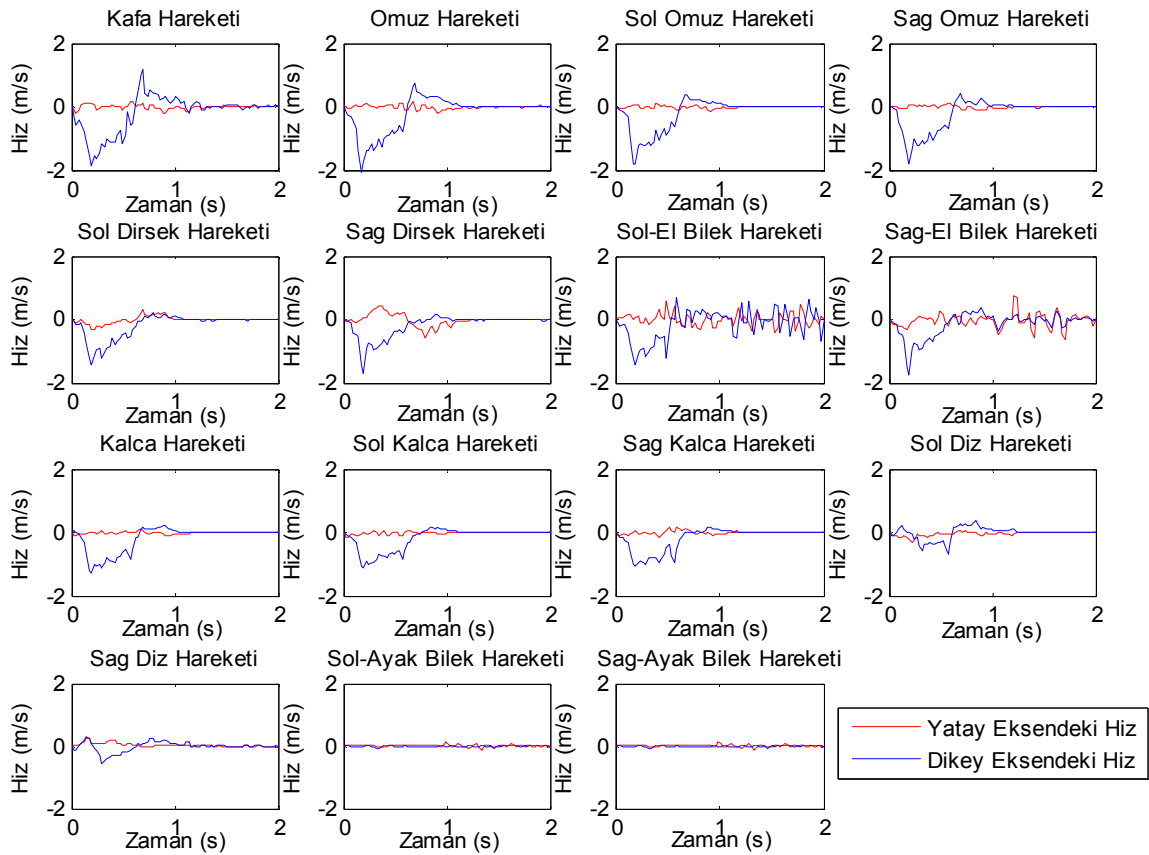


Şekil 4.12. Kalkma hareketine ait konum-zaman grafiği

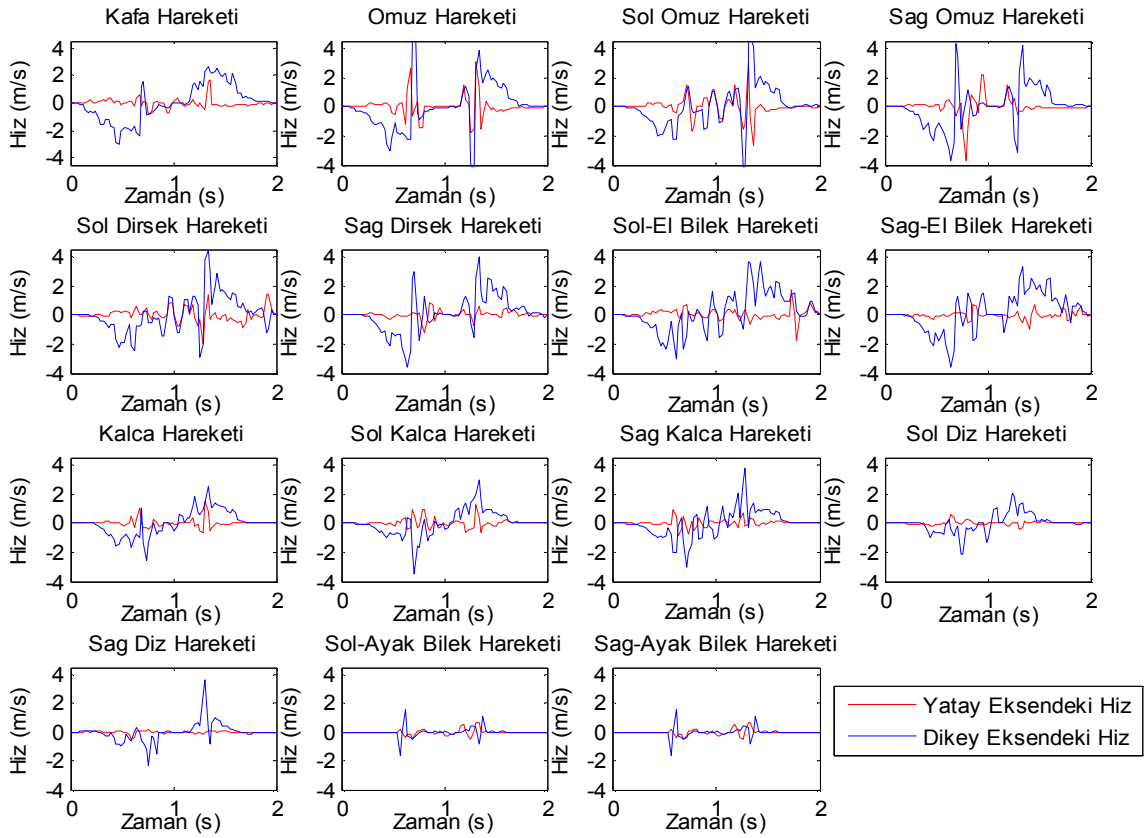


Şekil 4.13. Bir nesneyi alma hareketine ait konum-zaman grafiği

Konum-zaman grafiklerinden önerilen yöntem ile elde edilen oturma (Şekil 4.14), kaldırma (Şekil 4.15), el sallama (Şekil 4.16), kalkma (Şekil 4.17), bir nesneyi alma (Şekil 4.18) hareketlerine ait hız-zaman grafikleri aşağıda verilmiştir. Bir oturma hareketinde, yukarıdan aşağı doğru vücut parçalarında -y yönünde hızlanma görülür. Oturma hareketinin hız-zaman grafiği incelendiğinde, baş ve omuz eklemlerinin y ekseninde diğer eklemlere göre başlangıç noktasından daha çok hız değişimi olduğu görülmektedir. Sağ ve sol eklemler ise x ve y ekseninde belirgin hız değişimlerine sahiptir. Kalkma hareketinde vücut parçaları +y ekseninde aşağıdan yukarıya doğru hareket etmektedir ve oturma hareketi ile ters bir grafik beklenmektedir. Belirgin hız değişimleri görülen baş, omuz ve el bilekleri eklemlerine ait oturma ve kaldırma hareketlerinin hız grafikleri karşılaştırıldığında bu ters durum görülmektedir. Kaldırma hareketi düşünüldüğünde, ayak bilekleri ve diz eklemleri dışındaki diğer eklem noktalarında hız değişimlerinin daha fazla olması beklenmektedir. Bu durum, Şekil 4.15’ deki hız-zaman grafiğinde açık bir şekilde fark edilmektedir.

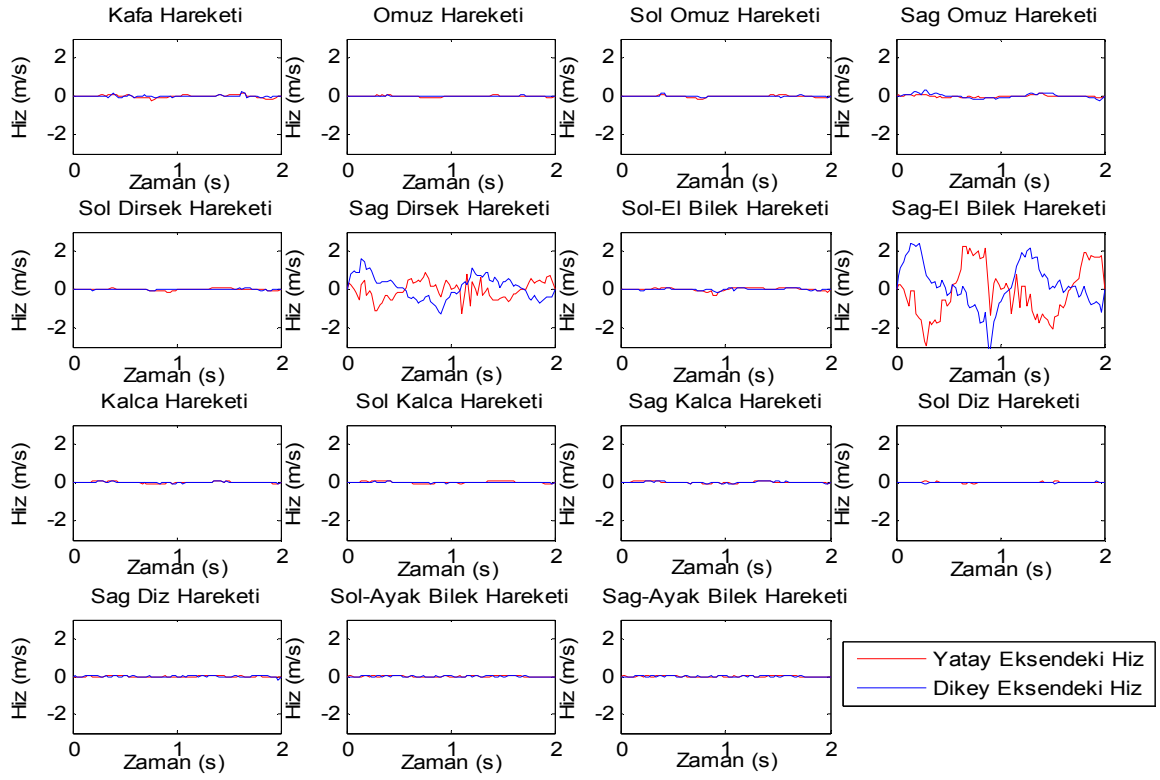


Şekil 4.14. Oturma hareketine ait hız-zaman grafiği

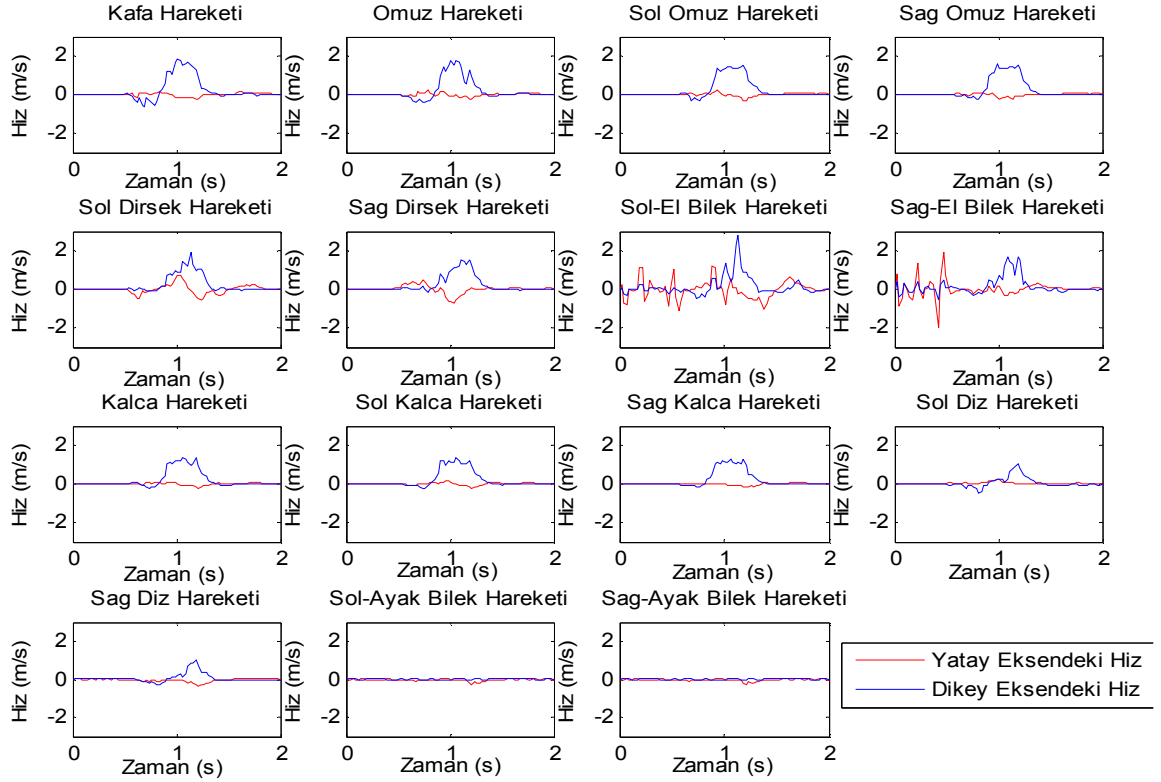


Şekil 4.15. Kaldırma hareketine ait hız-zaman grafiği

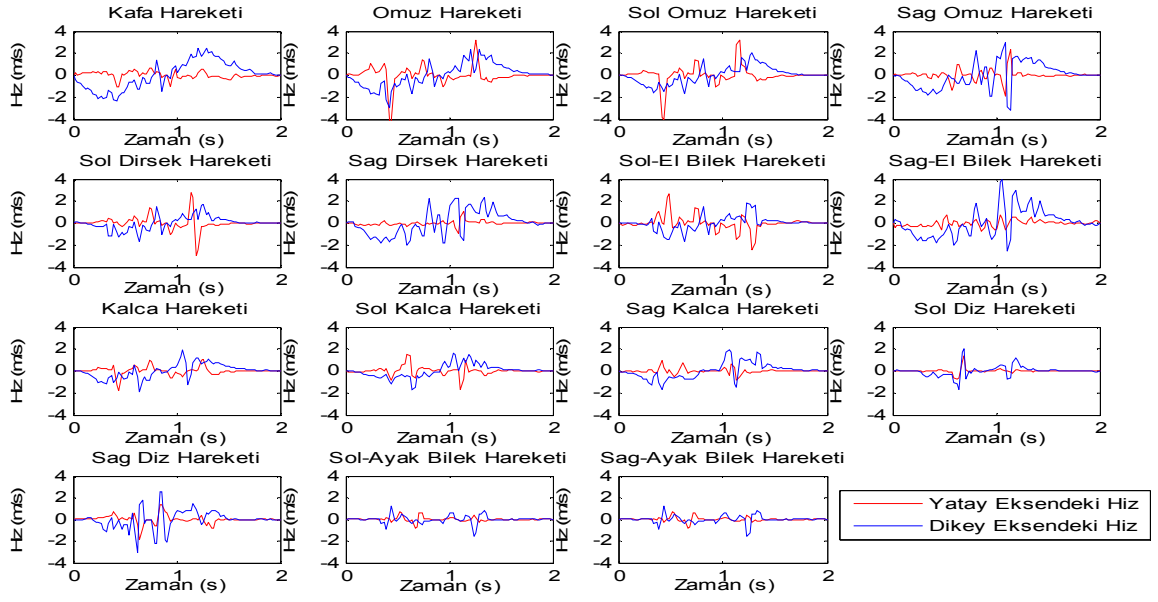
El sallama hareketinde yalnızca kollara ait eklem noktalarında hız değişimi görülmektedir. Şekil 4.16 incelendiğinde, hız-zaman grafiğinin bir sağ el sallama hareketine ait olduğu net bir şekilde açıklanmıştır. Kolun hareketinden kaynaklı, omuz eklemlerinde küçük hız değişimleri görülse de ayak bilekleri x eksenı yönünde hız değişimi görülmeyecek kadar hareketsizdir. Şekil 4.17’ deki kalkma hareketinde de ayak bileklerindeki hız değişimi ihmal edilebilecek şekilde küçüktür. Hız grafiğine bakıldığında merkezden yukarı doğru hareket eden y eksenine ait hız değişimleri, aşağıdan yukarıya doğru bir hareketin gerçekleştiğini göstermektedir. Yerden bir nesneyi alma hareketi, kaldırma hareketine benzerdir. Yalnız kaldırma hareketi çift elle gerçekleşirken, bir nesneyi tek elimizle yerden alırız. Bir nesneyi alırken vücut parçalarındaki en büyük hız değişimi omuzlarda görülmektedir. Diz eklemi büküleceği için küçük hız değişimleri görülürken, ayak bilekleri neredeyse hareketsizdir. Şekil 4.18’ e bakıldığında, nesnenin sağ elle alındığı görülmektedir. Bu şekilde yalnızca hız-zaman grafikleri dahi incelendiğinde, hareketin ne olduğuna dair tahmin yürütülebilmektedir.



Şekil 4.16. El sallama hareketine ait hız-zaman grafiği



Şekil 4.17. Kalkma hareketine ait hız-zaman grafiği



Şekil 4.18. Bir nesneyi alma hareketine ait hız-zaman grafiği

4.6. Bölüm Değerlendirmesi

Tezin bu bölümünde, hareket tanıma algoritmalarında kullanılacak 9 farklı hareketin biyomekaniksel analizleri gerçekleştirilmiştir. Hareketlerin kinematik analizinde, eklem noktalarına ait konum ve hız gibi niceliksel bilgilerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Farklı aktörler tarafından çok kez gerçekleştirilen hareketler sensör ile takip edilerek incelenmiştir. Hareketli eklem noktalarına ait konum bilgileri kaydedilmiştir ve hatalı veri içeren kamera görüntüleri tespit edilmiştir. Kayıtlı konum bilgileri kullanılarak, önerilen yöntem ile hareketli eklem noktalarının hız değişim bilgileri hesaplanmıştır.

Deneysel sonuçlarda, hız ve konum bilgilerinin zamana göre değişim grafikleri sunulmuş ve tartışılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, bir insan hareketi yalnızca hız-zaman grafiklerine bakarak bile tahmin edilebilirken hareket tanıma yöntemlerinde biyomekaniksel hareket analizlerinin kullanılması son derece önemlidir. Geleneksel yöntemler ile bir video karesinin başlangıç ve bitiş süresine göre her bir görüntü karesine düşen ortalama hız hesaplandığında, zaman konum bilgisi ile tam olarak eşleşmez. Merkezi Fark Yöntemi ile iki görüntü arasındaki hız değişimleri hesaplandığından bu problem çözülmüş olur ve bu yönüyle gerçeğe yakın sonuçlar alan yöntem avantaj sağlamaktadır. Ayrıca hareket ölçer aletleri yerine, basit bir yazılım ile vücut hareketlerinin hızlanma ivmeleri ölçülebildiğinden, yapılan analizler kolaylık ve yüksek performans sunmuştur.

5. HAREKET TANIMA YAKLAŞIMLARI

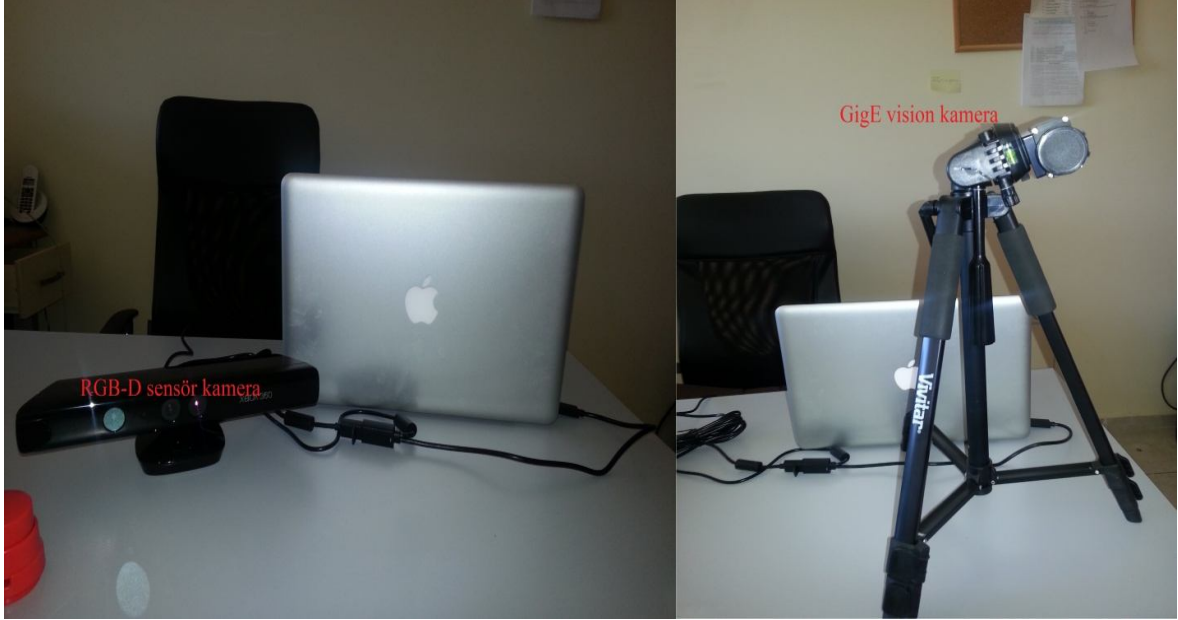
Hareket tanıma yöntemleri çeşitli görüntülerden elde edilen nesnelerin tespiti, tanınması, izlenmesi ve nesnelerin davranışlarının anlaşılması için kullanılır. Bu tez çalışmasında, bazı insan hareketlerin tanınması için hareketler arasındaki bağlantılar kullanılarak özellik çıkarım algoritmaları geliştirilmiştir. Model-tabanlı yaklaşımlar sunan yöntemler, oturma, kalkma ve el sallama gibi bazı gerçek zamanlı günlük hayat aktivitelerini tanımayı hedeflemektedir. Hareket tanıma yaklaşımları için ucuz maliyetli ve pratik bir RGB-D kamera kullanılmıştır. Kullanılan kamera ile uygun yazılım gerçekleştirilerek, hareket verilerinin olduğu bir veritabanı hazırlanıp özellik çıkarım yöntemi ile hareket tanıma algoritması önerilmiştir.

Doğal insan hareketlerinin biyomekaniksel analizi yapılarak, bu analizleri kullanan bilgisayar görme tabanlı insan hareketi tanıma algoritmaları geliştirilmiştir. Uygun sayıda seçilen aktörlerden hareket verileri elde edilerek, insan hareketlerini tanıyan bir tanıma yöntemi inşa edilmiştir. Belirli bir hızda görüntü yakalayabilen bir sensör ile hareketler takip edilip, hareketli eklem noktalarından 3B veriler elde edilmiştir ve bu veriler toplanarak hareketlerin tanınması için basit ve güvenilir bir model oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen yöntem, gerçeğe yakın zamanlı performans ve hassasiyetin pratik gerekliliğinin yanı sıra insan vücudunun biyomekaniksel teori bilgisini kullanarak avantaj sağlamıştır.

Bir insan vücudu sayısız hareketi gerçekleştirebildiğinden, hareketler arasındaki bağlantıları analiz etmek ve hareketlere özgü özellikleri ayırt etmek bu tez kapsamında önerilen tanıma yöntemlerinin öncelikli hedefidir. Bu hedeften yola çıkarak iki farklı yöntem sunulmuştur. İlk olarak biyomekaniksel analizler sonucu, elde edilen eklem noktalarına ait hız bilgileri kullanılarak anahtar eklemlerin hesaplanmasıdır. Bir hareket gerçekleşirken, harekete ait anahtar eklemlerin kullanılması yöntemin daha az veri ile daha fazla performans elde etmesini sağlamıştır. Hareketlere özel anahtar eklemler ile etkin ve güvenilir bir tanıma algoritması sunulmuştur. Ayrıca eklem noktalarından alınan gürültülü verilere ön işleme yöntemleri uygulanarak, doğru tanıma sonuçlarına ulaşılması hedeflenmiştir. İkinci yöntem olarak Temel Bileşenler Analizi ile hareketlere ait konum verilerinden özellik çıkarımı yapılmasıdır. İnsan hareketlerinin 3B düzlemde ortalama hareketi hesaplanarak bu analiz yöntemi sunulmuştur. Önerilen yöntemler ve deneysel sonuçları aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

5.1. Kullanılan Donanım Bileşenleri

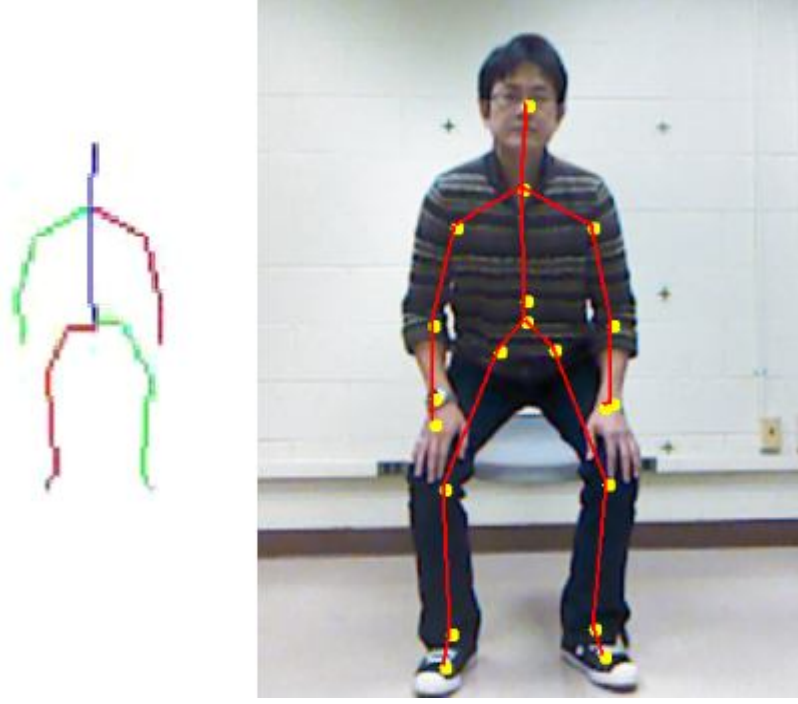
Hareket tanıma çalışmaları yapabilmek ve hareket verilerini elde etmek amacıyla bu tez çalışmasında Şekil 5' de görüldüğü gibi sensör ve vision kamera kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Kullanılan Malzemeler

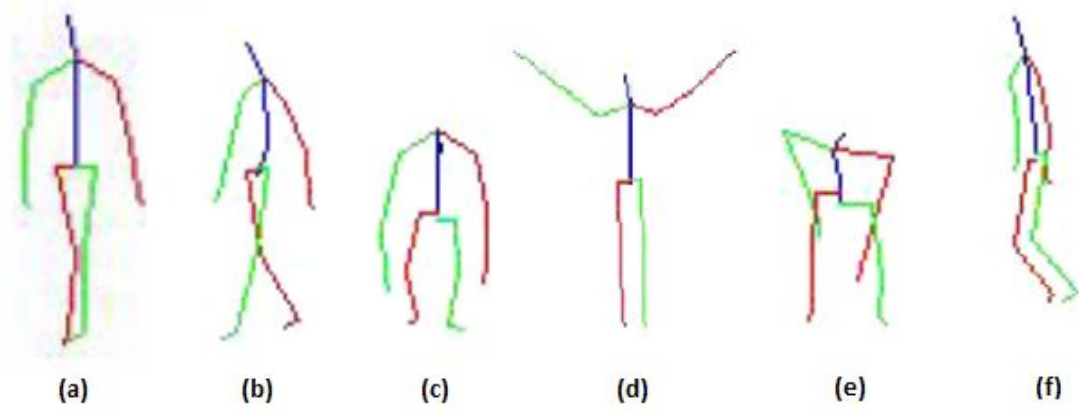
Eklem noktalarına ait hareket verilerinin elde edilmesi için, vücuda bağlı cihazlara ihtiyaç duymayan ve geleneksel sensörlerin aksine oldukça ucuz maliyetli bir Kinect kamera tercih edilmiştir. Kinect uygulaması, sensörün önündeki insanların varlığını tespit etmek için derinlik akışını kullanmaktadır. İskelet takip, sensöre bakan kullanıcıları tanımak için optimize edilmiştir. Belirlenen hareketlerin tanınması için projenin test kısmında yaklaşık 30 metre uzaklıktan görüntü analiz edebilen GigE vision kamera kullanılmaktadır. Bütün hareket çalışmaları 8GB bellek, 750GB hard disk, 2.9GHz işlemci hızı ve intel core i7 işlemcili bir bilgisayarda test edilmiştir. Kinect kameradan eklem verileri elde edebilmek için Microsoft tarafından desteklenen SDK ile c# yazılım dili kullanılmıştır. Aktörler kameradan yaklaşık 2 metre uzaklıkta belirlenen hareketleri gerçekleştirmiştir. Hareket analizleri ve önerilen tanıma yönteminin uygulanması için MATLAB ara yüzü kullanılmıştır. GigE vision kameradan görüntülerin test edilmesi ve tanıma algoritmalarının uygulanması için Labview yazılımı kullanılmıştır. Hareket çalışmalarında kullanılan veriler, simülasyon uygulamaları ile desteklenmiştir.

Üç farklı aktör tarafından gerçekleştirilen hareketlere ait 3B verilerin doğruluğunun test edilmesi için 15 eklem noktasını dikkate alarak inşa edilen bir model ile hareket simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bir kaldırma hareketine ait verilerin alınması ve simülasyon çalışması Şekil 5.2' de sunulmuştur.



Şekil 5.2. Kalkma hareketi ve hareketin simülasyonu

Alınan konum verileri ile MATLAB ortamında uygulanan diğer bazı simülasyon çalışmaları Şekil 5.3' de gösterilmiştir.

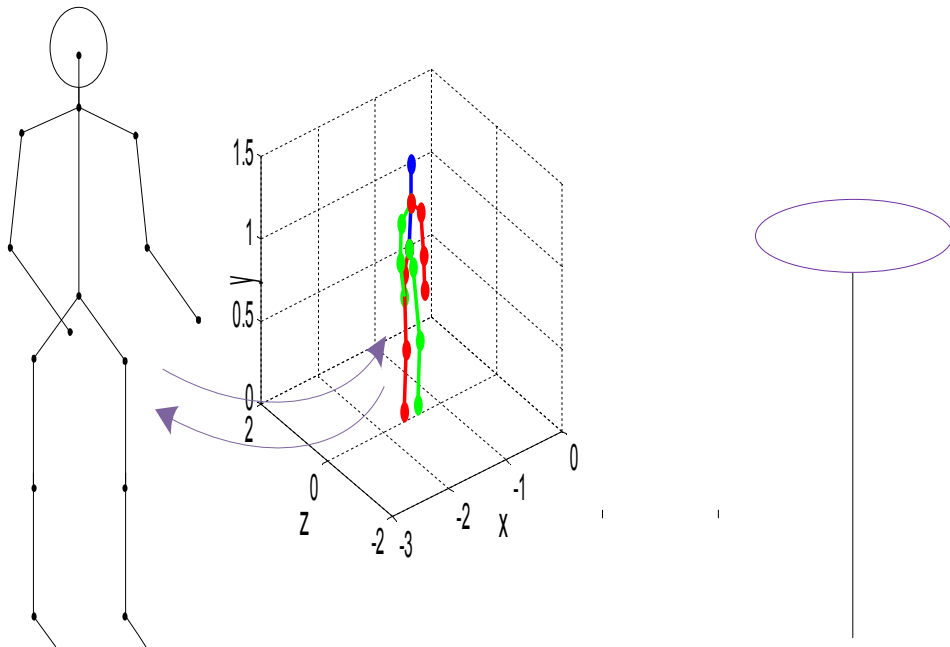


Şekil 5.3. (a) zıplama; (b) yürüme; (c) kaldırma; (d) el sallama; (e) bir nesneyi alma; (f) atlama

adımda, önerilen biyomekaniksel modele görüntü dizilerinden çıkarılan deneysel veriler uygulanmaktadır. Bir biyomekaniksel model inşa ettikten ve gerekli eklem verileri toplandıktan sonra, üçüncü adım hareket analizidir. Veri ön işleme algoritması oluşturmak için, konum-zaman ve hız-zaman grafiklerini içeren hareket analizleri ve simülasyonlar ile gösterilen kayıtlı 3B konum verileri incelenmiştir. Farklı hareketler arasındaki ilişkili konum verileri özellik çıkarımı için karşılaştırılmıştır. Son olarak önerilen yöntem için tanıma süreci gerçekleştirilmiştir. Bu amaç için, harekete bağlı olan özellik vektörleri ile anahtar eklemler hesaplanmış ve belirlenmiştir. Biyomekaniksel model ile anahtar eklemler hareketlerin tanınmasını kolaylaştırmıştır.

İnsan Modeli

Bu tez çalışmasında, hareket değişimlerine bağlı olarak bir biyomekaniksel model oluşturulmuştur ve iskelet modeli üzerinden anahtar eklemler seçilerek bir özellik çıkarım yöntemi sunulmuştur. RGB-D sensörden elde edilen eklem konum verileri ile görüntü kareleri ve biyomekaniksel hareket değişimleri analiz edilerek anahtar eklemler belirlenmiştir. Kullanılan biyomekaniksel model Şekil 5.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Biyomekaniksel İnsan Modeli

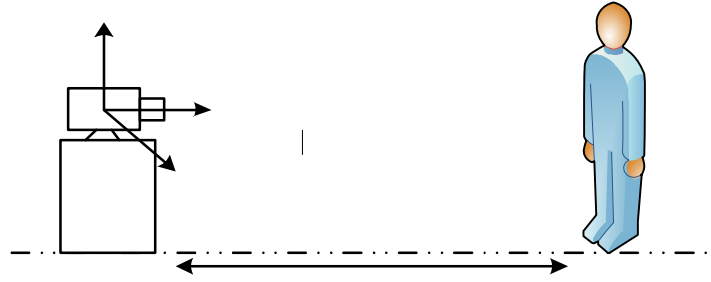
Modelden görüleceği üzere, insan vücudu bu tez çalışmasında 15 eklem noktalı bir insan modeli olarak gösterilmiştir. Eklem noktalarına ait toplanan konum verileri, biyomekaniksel modelle eşleşerek bir hareket tanıma yöntemi önerilmiştir. İnsan hareketlerinin eklem noktalarındaki değişimlerini doğru bir şekilde açıklamayı hedefleyen model vücudun sağ ve sol vücut parçalarına göre baş, omuz, dirsek, el bileği, kalça ve ayak bileği eklemlerinden oluşmaktadır. Tez çalışması kapsamında, ilk olarak hareketleri içeren görüntü dizileri kullanılarak insan vücudunun her bir eklem noktası ölçülmüştür ve oturma, kalkma, ayakta durma gibi çeşitli insan hareketleri detaylı incelenmiştir. Hareketlerin tanınması için basit ve uygulanabilir bir biyomekaniksel model ile hareketlerin sınıflandırılması hedeflenmiştir. Önerilen yöntem, hareket simülasyonları ile doğrulanmış ve deneysel sonuçlar ile performansı değerlendirilmiştir. Yöntem, biyomekaniksel model ve hareket sınıflandırıcı kullanarak hareket tanıma problemlerini çözümlemeyi hedeflemiştir.

Hareket Analizi

Bir insan hareketi, sıralı hareket duruşlarının bir dizilişi olarak ifade edilebilmektedir. Hareket analizi de, bu hareket dizilerinin birbirleri ile olan ilişkilerini incelemektedir. İnsan hareketi analizleri bir model olup olmasına bağlı olarak iki tip uygulama alanına sahiptir: görünüş-tabanlı uygulamalar ve model-tabanlı uygulamalar. Model tabanlı uygulamalar yüksek seviyeli karmaşık hareketleri anlamak ve tanımak için daha uygun olduğundan bu tez çalışması model-tabanlı bir yaklaşım sunmaktadır. Önerilen biyomekaniksel model eklem noktaları arasında çizgiler kullanan bir insan vücudu olarak gösterilmiştir. Hareket tanıma çalışmalarının gerçekleştirilmesi için bu tez çalışmasında Bölüm 4' de açıklanan biyomekaniksel hareket analizleri gerçekleştirilmiştir ve özellik çıkarımı yapılmıştır.

Hareketlerin Toplanması

Bu çalışmada, oturma, kalkma ve el sallama hareketleri için Kinect kamera ile 3B konum bilgileri çıkarılmıştır. En doğru sonuçları elde etmek için Kinect' in kullanımı Şekil 5.6' da gösterilmiştir. Doğru verileri elde etmek ve hareket stillerini karşılaştırmak için 3 farklı aktör tarafından birçok kez gerçekleştirilen hareketler takip edilmiştir ve harekete ilişkin veriler toplanmıştır.



Şekil 5.6. Kinect sensörün nasıl çalıştığının bir gösterimi

Ön İşleme Algoritması

Hareket süresince sensörden takip edilen iskelet sıklıkla, hatalı ve yanlış veri içermektedir. Verinin kalitesi, kullanılan yöntemi etkilediği için sensörden alınan birincil (ham) veriye ön işleme algoritmaları uygulanır. Bu çalışmada önerilen ön işleme algoritması aşağıda verilmiştir.

ALGORİTMA *VeriÖnişleme (frame [1...n])*

```
// P, 15 eklem noktasının konum verisi
// Bütün hareketler için görüntü kare sayısı (frame) 82' ye indirgenmiştir
// x, y dizileri artan ve azalan sırada olmalıdır
for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
  for  $j \leftarrow 1$  to 15 do
    frame[i] = P(x[j], y[j], z[j])
  if  $x[j-1] > x[j]$  and  $x[j+1] > x[j]$ 
    if  $y[j-1] > y[j]$  and  $y[j+1] > y[j]$ 
      delete frame [i] end // veri temizleme
     $x[j] = 0.1 * x[j]$  // veri dönüştürme
```

Ön işleme çalışmasında, veri temizleme için kayıtlı ham veriler simülasyon çalışmaları ile gözlemlenmiştir ve yanlış hareket verileri içeren görüntü kareleri tespit edilerek silinmiştir (veri temizleme). Daha sonra bütün eklem noktalarına ait veriler, bir hareket

veritabanında birleştirilmiştir (veri birleştirme). Konum verileri 2.91002857' den 0.291002857' ye gibi küçük bir aralığa ölçeklendirilmiştir (veri dönüştürme). Geniş miktarda veriyi işlemek, oldukça zaman alıcı bir işlemdir ve çok sayıda hesapsal işlem gerektirmektedir. Bu nedenle veri indirgeme, ön işlemede önemli bir adımdır. Bu son adımda, kayıtlı görüntü kareleri 82 görüntü karesine indirgenmiştir (veri indirgeme). Önerilen algoritma incelendiğinde, biyomekaniksel model 15 eklem noktası ile oluşturulduğundan, sensörden alınan 20 eklem noktasına ait konum verisi 15 eklem noktasına indirgenmiştir. Böylelikle, gerekli olmayan eklem noktalarına ait veriler ihmal edilmiş ve yöntemin performansı arttırılmıştır.

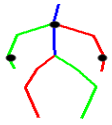
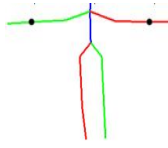
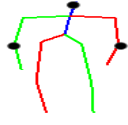
Sınıflandırma

Gerekli hareket verileri toplandıktan ve bu hareket verilerinin biyomekaniksel analizleri yapıldıktan sonra, özellik vektörleri oluşturulmuştur. 3B konum ve hız verileri aşağıdaki gibi bir özellik vektöründe gruplandırılmıştır,

$$D_i^{Joint} = \{P_i^X, P_i^Y, P_i^Z, V_i^X, V_i^Y, V_i^Z\} \quad (5.1)$$

, burada D_i^{Joint} frame i' deki eklem verisini göstermektedir, P_i koordinat sisteminde gösterilen eklem konumudur ve V_i seçilen eklem noktalarının hız bilgilerin tutmaktadır. Anahtar eklem seçimi için özellik vektörü ile (5.3), düşük ağırlıklı eklem noktaları kaldırılarak eklem noktalarının konum ve hız bilgileri arasındaki bağıntılar ve ilişkiler kullanılmıştır. İnsan modelinde kullanılan her bir harekete ait anahtar eklem noktaları Tablo 5.1' de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Biyomekaniksel Modeldeki (Şekil 5.4) Anahtar Eklemler

Hareketler	Oturma	El sallama	Kaldırma
	$P(2)^y, P(7)^y, P(8)^y$	$P(7)^y, P(8)^y, P(7)^x, P(8)^x$	$P(2)^x, P(2)^y, P(5)^y, P(6)^y$
Anahtar Eklemlerin Konumları			

Önerilen yöntem, bir hareket gerçekleştiği aşağıdaki sözde kodda görüldüğü gibi zaman eklem noktalarının maksimum hız bilgisine bağlı olarak optimum eşik değerini (threshold) hesaplamaktadır.

ALGORITMA *AnahtarEklemEşleşmesi* ($V[0...n-1]$, $K[0...m-1]$)

// Anahtar eklem özellikleri kullanarak oturma, kalkma ve el sallama hareketlerinin sınıflandırılması

Input: Hareketlerin yatay ve dikey eksenindeki hız verilerini gösteren n eklem konumunun bir dizisi $V_x [0...n-1]$ ve m eklem noktasının bir dizisi $K [0...m-1]$

Output: Hareket, var olan hareket sınıflarından birine aitse yöntem “true (doğru)” olarak geri dönüş yapar aksi durumda “false (yanlış)”

Result, test hareketin durumunu gösteren işaretçi

for $i \leftarrow 0$ **to** $n-1$ **do**

 maksimum hız değeri = $\max(V)$

 eşikdeğer = $7 * (\text{maksimum hız değeri})$;

if $V(i) \geq \text{eşikdeğer}$

$K(i) = V(i)$

else $K(i) = 0$

$k = \max(K)$

if $k \geq \text{el sallama hareketinin minimum hız değeri}$ ve $k \leq \text{el sallama hareketinin maksimum hız değeri}$

result = 0, **return true**

if $k \geq \text{oturma hareketinin minimum hız değeri}$ ve $k \leq \text{oturma hareketinin maksimum hız değeri}$

result = 1, **return true**

if $k \geq \text{kaldırma hareketinin minimum hız değeri}$ ve $k \leq \text{el sallama hareketinin maksimum hız değeri}$

result = 2, **return true**

else

return false

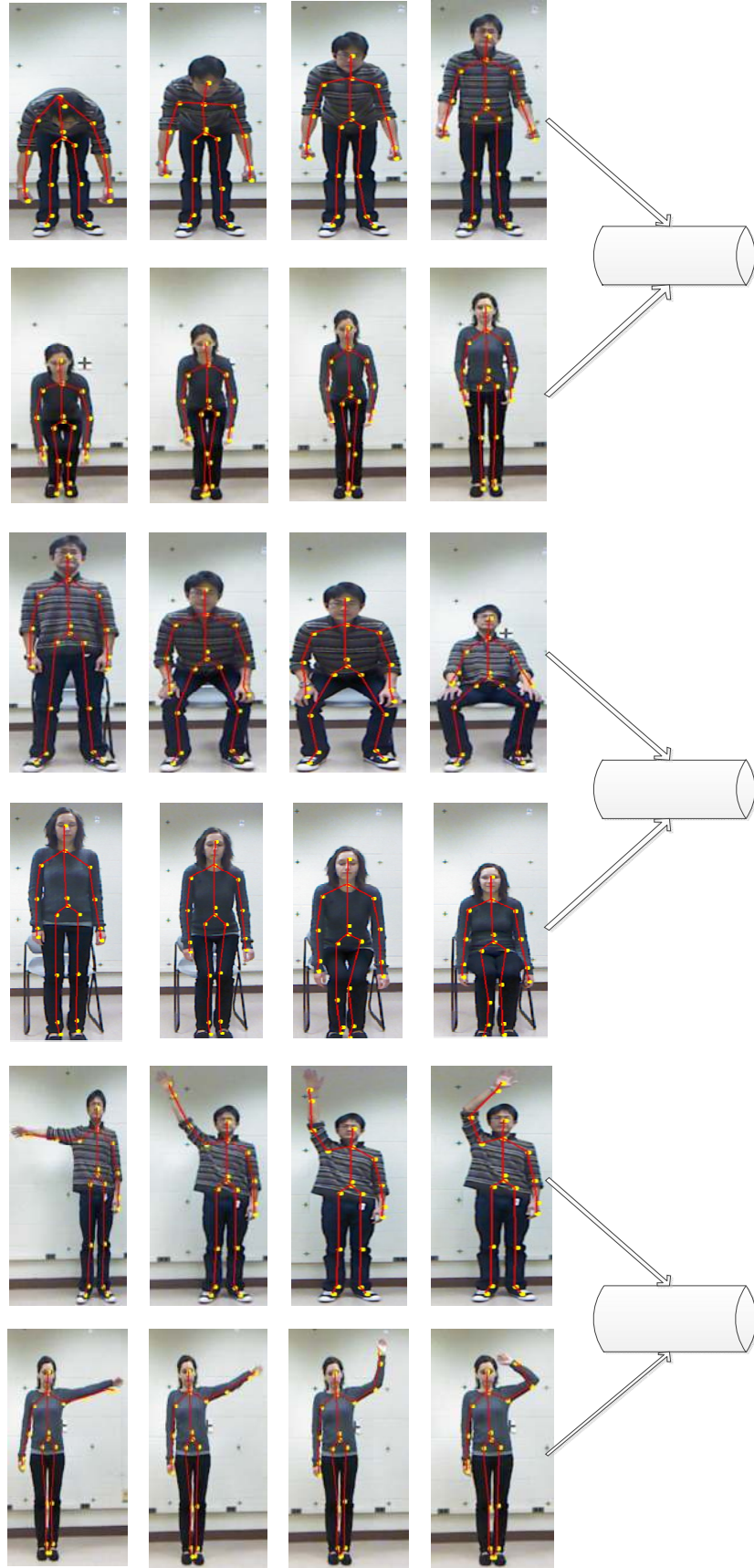
Her bir görüntü karesi için kullanılan hız verisi, Bölüm 4’ de detaylı bir şekilde anlatılan Merkezi Fark Yöntemi ile hesaplanmıştır ve hız dizisinden (V) her bir eklem noktasının maksimum hız değeri elde edilir. Eklem noktalarının hız değerleri eşik değerden büyük ise anahtar eklem olarak seçilir. Yöntem tarafından bulunan yeni anahtar eklemler veritabanındaki her bir hareket ait maksimum-minimum anahtar eklem değerleri ile karşılaştırılır. Anahtar eklem çiftleri ve maksimum-minimum değerleri eşleştirilerek belirli kurallara göre hareket sınıflandırılır.

5.3. Deneysel Sonuçlar

Bu tezde, bütün hareketler için de kullanılabilirliği önerilen yöntemin doğruluğu ve etkinliği ile gösterilen 3 farklı aktör tarafından gerçekleştirilen oturma, kalkma ve el sallama hareketlerinin tanınması ve sınıflandırılması üzerine çalışılmıştır. 15 farklı eklem noktasının x,y ve z koordinat değerini bulmak için anatomik veri kullanan sensör ile hareketler takip edilmiştir. Bilgisayarlı Görme Laboratuvarı’ ndan bir test sahnesi Şekil 5.7’ de gösterilmiştir. Hareket tanıma çalışmaları 8GB bellek, 750GB hard disk, 2.9GHz işlemci hızı ve intel core i7 işlemcili bir bilgisayar test edilmiştir. Kinect sensörden eklem verileri elde edebilmek için Microsoft tarafından desteklenen SDK ile c# yazılım dili kullanılarak bir uygulama geliştirilmiştir. Hareket analizleri ve önerilen tanıma yönteminin uygulanması için MATLAB ara yüzü kullanılmıştır.

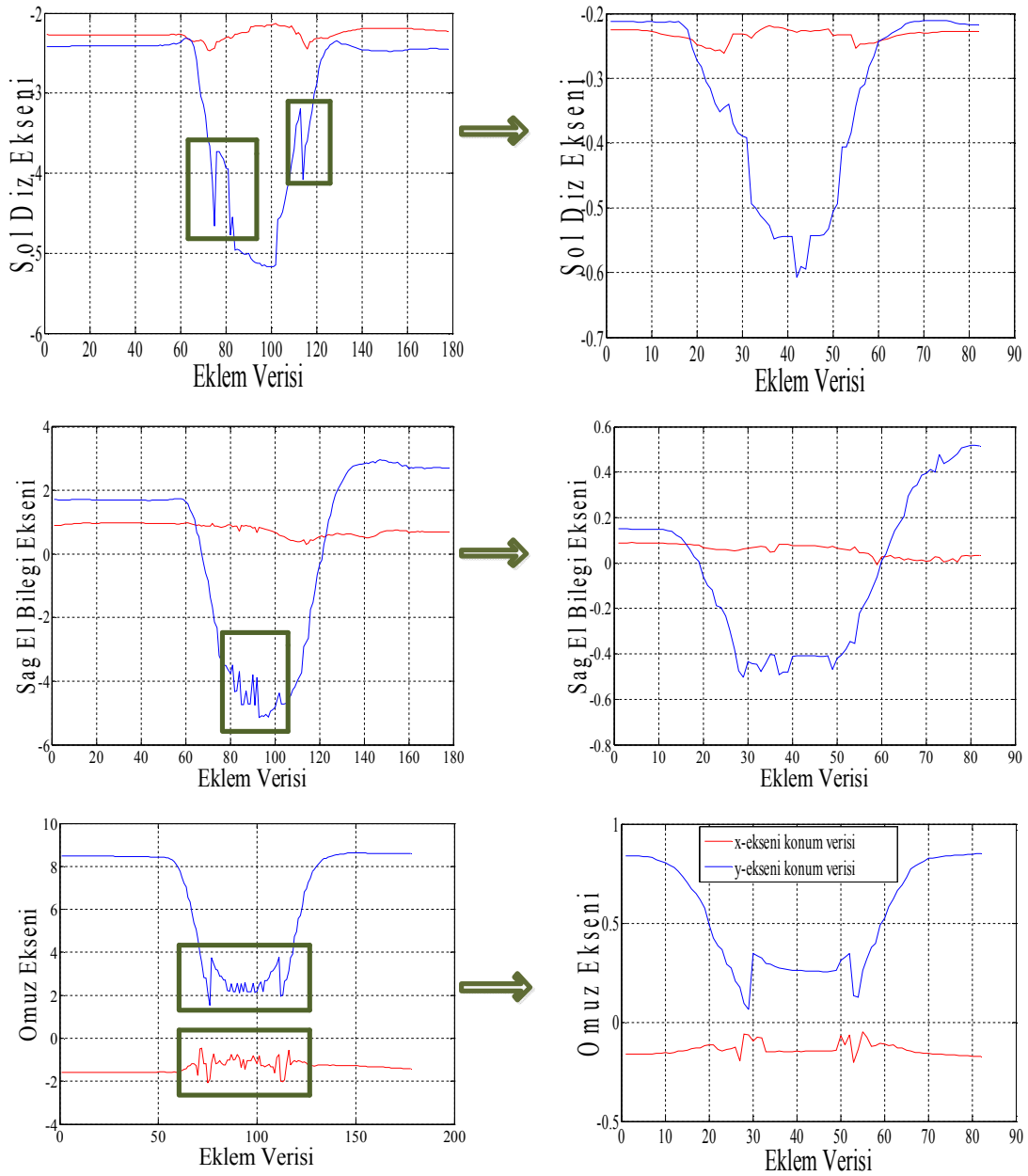


Şekil 5.7. Test Sahnesi



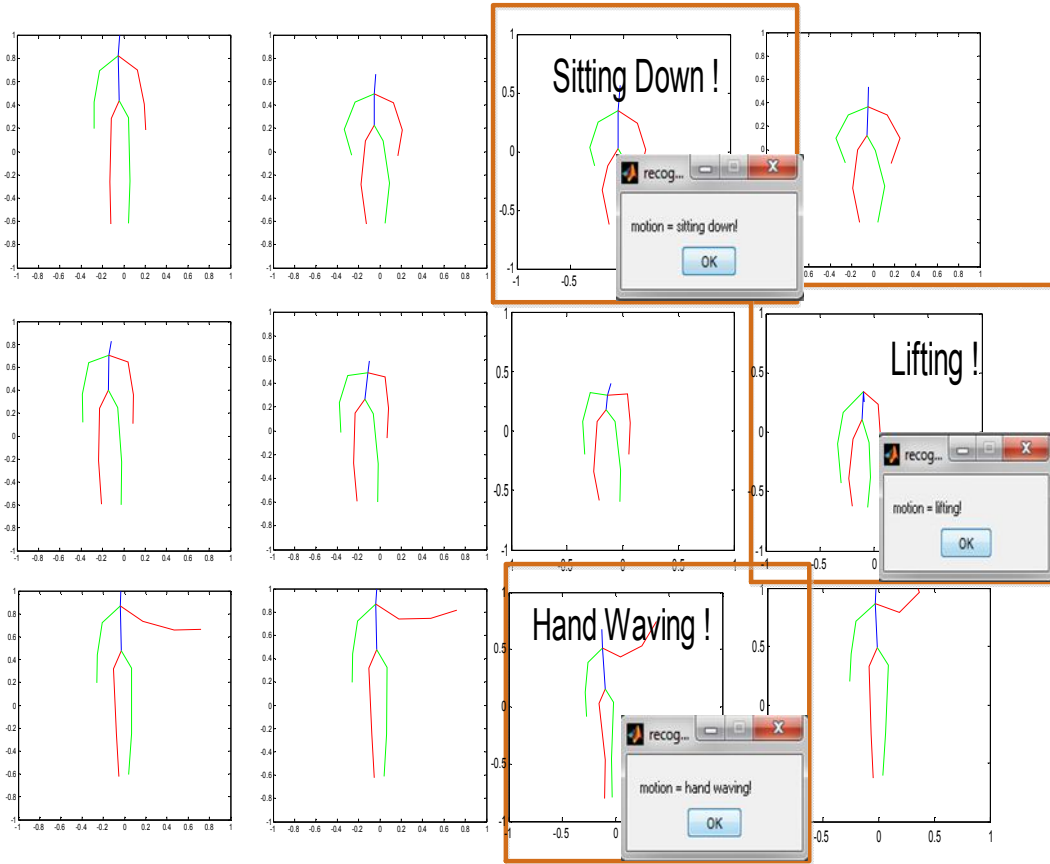
Şekil 5.8. Bir sanal iskelet ile takip edilen 3 kategorideki insan hareketleri

Önerilen yöntemin doğruluğunu kontrol etmek ve eklem konum verileri toplamak için iki erkek aktör ve bir kadın aktör tarafından gerçekleştirilen bazı hareket görüntüleri 5.8’ de gösterilmiştir. Toplanan ham veriye, önerilen ön işleme algoritması uygulanarak verinin kalitesi artırılmıştır. Bir kaldırma hareketi için bazı eklem noktalarına ait ön işleme sonuçları 5.9’ da sunulmuştur. Kabaca görülebilir ki, ön işleme algoritması ile eklem verileri indirgenmiş, yeşil kutular ile gösterilen hatalı eklem verileri tespit edilerek düzeltilmiş ve konum verileri $[-1,+1]$ aralığına ölçeklenmiştir.



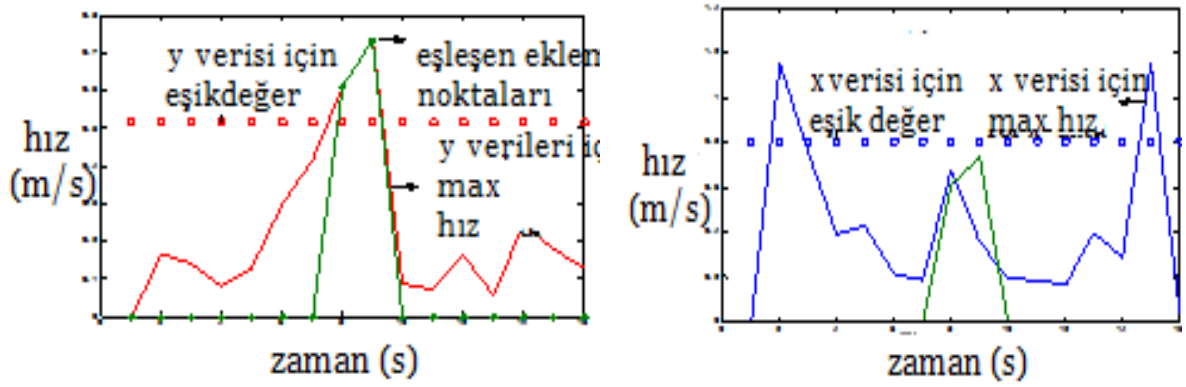
Şekil 5.9. Bir kaldırma hareketi için veri ön işleme sonuçları

Ön işlemeden sonra, önerilen yöntem ile test konum verileri insan modeline uygulanmıştır ve Şekil 5.10’ da doğruluğunun kontrol edilmesi için test sonuçları gösterilmiştir. Test sonuçlarından görüleceği üzere, geliştirilen yöntem ilgili hareketi sınıflandırarak başarı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir test verisi 2 saniye süresince alınmıştır. Simülasyon zamanı ile önerilen yöntem kullanılarak hareketin tanınması için geçen ortalama süre 3.003897 saniyedir.



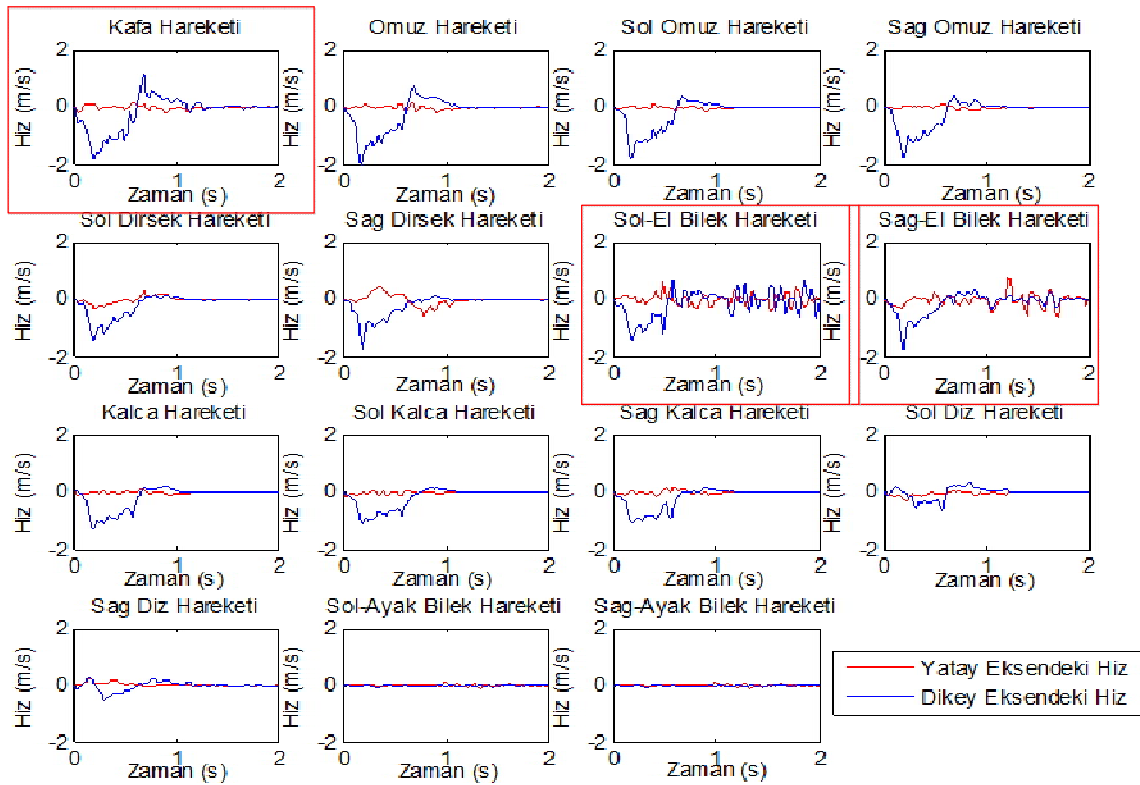
Şekil 5.10. Önerilen yöntem ile oturma(sitting down), kaldırma (lifting), el sallama(hand waving) hareketlerinin tanınması

Yöntemin nasıl çalıştığını anlamak için önerilen yöntem ile bir oturma hareketinin tanıma sonuç grafiği Şekil 5.11’ de verilmiştir. Önerilen yöntem maksimum hız bilgisine bağlı olarak optimum eşik değerini hesaplamaktadır. Gerekli konum verileri test edildikten sonra, hareket tanıma yönteminde kullanmak için biyomekaniksel hareket analizleri ile hız verileri elde edilmiştir. Bir aktör tarafından gerçekleştirilen oturma hareketi için her bir ekleme noktasındaki hız-zaman değişim grafiği gösterilmiştir. Bu grafikler yöntemi anlamak için faydalı olacaktır.



Şekil 5.11. Önerilen yöntem ile bir oturma hareketi için tanıma sonuç grafiği

Bir oturma hareketi için anahtar eklemler Şekil 5.12’ de gösterilen hız-zaman grafiğinde kırmızı kutular ile gösterilmiştir. Önerilen yöntem ile bulunan anahtar eklem noktaları grafiklere bakılınca da gözlemlenebilmektedir. Bir oturma hareketinde, kafa ve el bileklerinde diğer eklemlere göre daha fazla hız değişimi görülmüştür. Bu değişim hız-zaman grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Bir oturma hareketi için anahtar eklem noktalarının gösterimi

Bu çalışmanın ana amacı daha az veri ve yüksek performans ile insan hareketlerinin tanımadır. Bu sebeple basit ve kullanılabilir yöntemler sunulmuştur. Her bir hareket sınıfından rastgele örnek hareket seçilerek, ortalama tanıma oranı %93.3 olarak ölçülmüştür. 3 aktör tarafından toplam 90 eğitim ve test verisi alınmıştır. Her bir aktör belirlenen 6 hareketi birçok kez gerçekleştirmiştir. 3 hareketin karışıklık matrisi ve var olan yöntemler ile karşılaştırma tablosu aşağıda sunulmuştur.

Tablo 5.2. Karışıklık Matrisi

Hareketler	Oturma	Kaldırma	El Sallama	A ₁	E ₂	R ³ (%)
Oturma	23	2	0	23	2	92
Kaldırma	3	22	0	22	3	88
El Sallama	0	0	25	25	0	100

Tablo 5.3. Karşılaştırma Tablosu

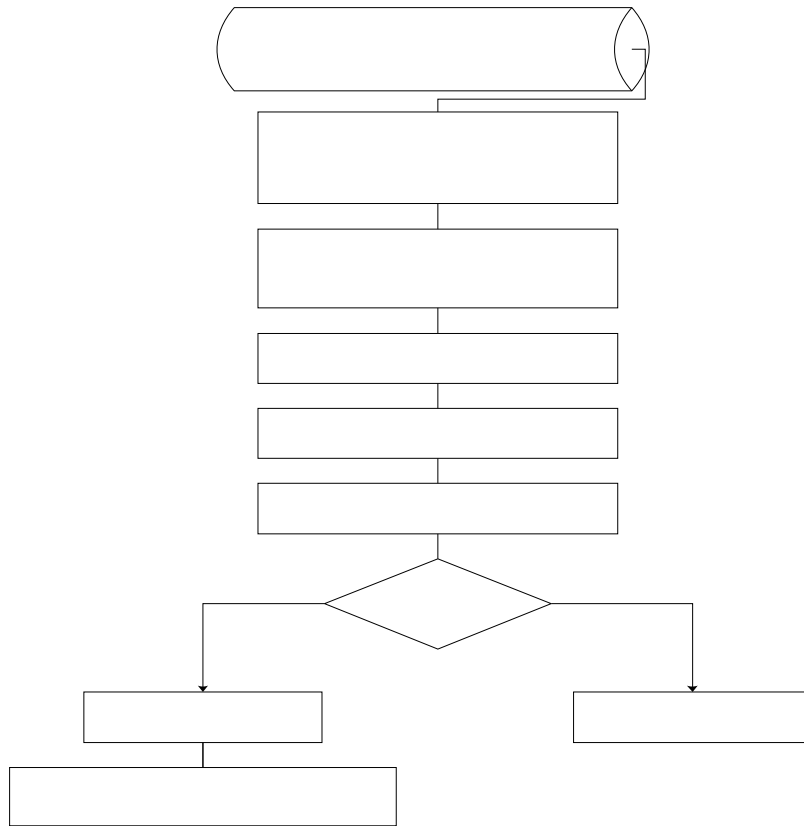
Yöntem	Tanıma Oranı (%)		
	El Sallama	Kaldırma	Oturma
[84]	97	94	-
[87]	95	-	100
Önerilen Yöntem	100	88	92

Tablo 5.2’ de görüleceği üzere, oturma hareketi, kaldırma hareketi ve el sallama hareketi sırasıyla %92, %88 ve %100 tanıma oranına sahiptir. Tablo 5.3’ de Kinect sensör kullanarak yapılan hareket tanıma çalışmaları ile bir karşılaştırma tablosu sunulmuştur. Weng [84], 6 hareketi içeren 2B bir tanıma yöntemi sunmuştur. Onlar test aşamasında, başlangıç ve bitiş görüntü karelerini manuel olarak işaretlerken, bu tezde sunulan yöntemde başlangıç ve bitiş noktaları için işaretlemeye ihtiyaç duyulmamıştır. Tek ve çift yönde el sallama hareketi için ortalama tanıma oranı düşükken, kaldırma hareketinin tanıma oranı önerilen yöntem ile kıyaslandığında daha yüksektir. Huyhn [87], 19 farklı hareket için yüksek bir tanıma oranı elde etmiştir. Ancak iskelet ile takip edilen hatalı eklem noktaları, yanlış ölçümlere yol açmıştır. Bu hatalı veriler kötü performansa sebep olmuştur. Bu tezde çalışılan yöntem, önerilen önerilen işleme algoritması ile avantaj

sağlamıştır. Gelecek çalışmada, önerilen yöntemin daha fazla harekete uygulanması ve daha karmaşık hareketlere ait eğitim verilerinin toplanması hedeflenmektedir.

5.4. Temel Bileşenler Analizi ile Özellik Çıkarımı

Yüz tanıma sistemlerinde sıklıkla tercih edilen Temel Bileşenler Analizi (TBA) bu tez çalışmasında, hareketlere ait ilgili bilgileri çıkarmak, bu bilgiler ile özellik çıkarımı yapmak ve veritabanındaki diğer hareketlerle karşılaştırmak için kullanılmıştır. Hareketlere ait bilgiler, sensör ile elde edilen 3B konum bilgilerini içermektedir. Öncelikle, Bölüm 4’ de bahsedildiği gibi belirlenen 9 farklı insan hareketi 3 aktör ile gerçekleştirilerek, hareketli eklem noktalarına ait konum bilgileri toplanmıştır. Bu bilgiler bir diğer deyişle veriler, öncelikle gerçekleştirilen yazılım üzerinde tanıma işlemleri ve simülasyon çalışmaları yapılarak doğrulanmıştır. Şekil 5.13’ de görüleceği gibi “Eigenaction (öz hareket)” adı verilen tanıma algoritması ile bu verilerden bir özellik vektörü çıkarılarak, TBA analizi ile hareket tanıma yaklaşımı sunulmuştur.



Şekil 5.13. Eigenaction kullanarak hareket tanıma algoritması

Hareket tanıma yöntemleri genel olarak şu adımları gerektirmektedir:

1. Kamera görüntülerinden hareketin ve hareket parametrelerinin tespiti
2. Özellik çıkarımı
3. İlgili hareketin sınıflandırılması

Eigenaction hesaplamaları için öncelikle, hareketlere ait üç boyutlu konum bilgileri bir RGB-D sensör kullanılarak elde edilmektedir. Özellik uzayında toplanan bu hareket verileri, hareketler arasındaki özellikleri kapsamaktadır ve bu özellikler “eigenaction” olarak nitelendirilmektedir. Eigenaction, Temel Bileşenler Analizi yöntemi ile hareket verilerinden elde edilir. Eigenaction hareket tanımada kullanılan özvektörlerin bir kümesidir. Bu özvektörler mümkün olan insan hareketlerinin bulunduğu çok boyutlu uzayın kovaryans matrisi ile elde edilmektedir.

Eigenaction hesaplaması

Eigenaction hesaplamaları için genel adımlar şu şekildedir:

1. Hareket verilerinin alınması
2. Ortalama verilerden her bir hareket konum verisinin (x, y, z) çıkarılması
3. Kovaryans matrisinin hesaplanması
4. Kovaryans matrisin özdeğer ve özvektörlerinin hesaplanması
5. Principle components seçimi
6. Yeni veri kümesinin elde edilmesi

Principle Component Analysis (Temel Bileşenler Analizi), daha az bir veri kümesinin elde edilmesi amacıyla çok boyutlu veri kümelerini indirmek için kullanılan vektör uzay dönüşümüdür.

Eigenaction kullanılarak hareket sınıflandırılması

Sınıflandırılacak hareketin özvektör ağırlıkları, eigenaction ağırlıkları ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma, bilinen hareket verileri ile yeni harekete ait veriler arasındaki öklid

uzaklık tabanlı bir karşılaştırmadır. Hareket verisi, minimum öklid uzaklığı ile sınıflandırılır.

Hareket veri matrisi A, 6 farklı harekete ait konum verilerinin bulunduğu bir matristir ve şu şekilde gösterilmektedir:

Hareket 1	baş	x1	xn
		y1	yn
	omuz	z1	zn
	.	x1	xn
	.	y1	yn
	.	z1	zn
Hareket 2	baş	x1	xn
		y1	yn
	omuz	z1	zn
	.	x1	xn
	.	y1	yn
	.	z1	zn
Hareket 3	baş	x1	xn
		y1	yn
	omuz	z1	zn
	.	x1	xn
	.	y1	yn
	.	z1	zn

$$A = \text{hareket} * (3 * 20) * \text{time} = (6 * 60) * n$$

(5.2)

Her bir hareketin eklem noktalarına ait n tane verileri satır ve 20 farklı bu eklem noktalarının x, y, z değerleri sütun vektör olarak $360 \times n$ olarak ifade edilir. Hareket veri matrisi oluşturulduktan sonra, her bir hareket verisinden ortalama hareket verisi çıkarılarak, hareketler aynı merkez üzerinde toplanır. Hareket veri matrislerinden bazıları, aşağıda verilmiştir. Örnek kaldırma, bir nesneyi alma ve ayakta durma hareketlerine ait veriler incelendiğinde, 60×82 ' lik bir matris görülür. Sensör ile alınan 20 farklı eklem noktasına ait konum bilgileri ile her bir eklem noktasının x, y ve z eksenindeki değeri ($20 \times 3 = 60$) satırları oluşturmaktadır. Alınan hareketler 82 frame' e bölüldüğü için her bir frame matriste bir sütunu temsil etmektedir. Kaldırma ve bir nesneyi alma hareketlerine ait veri matrisleri de aynı şekilde düzenlenmiştir. "Load (hareket ismi)" komutuyla, text dosyalarına kaydedilen konum verileri matris şeklinde düzenlenerek uygulamaya yüklenmektedir.

Bu şekilde her bir harekete ait ortak bir veri matrisi düzeni elde edilerek, veri matrisleri Şekil 5.16’ daki matris gibi birleştirilir. Görülen 180x82’ lik matris 3 farklı hareketin (3x60) satır ve 82 frame sütun bilgisini içermektedir.

load lift_action.mat

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-0.1453	-0.1454	-0.1450	-0.1447	-0.1448	-0.1439	-0.1435	-0.1422	-0.1378	-0.1320	-0.1359	-0.1313	-0.1288	-0.1227
2	1.0420	1.0412	1.0401	1.0417	1.0389	1.0358	1.0319	1.0095	0.9944	0.9787	0.9611	0.9494	0.9084	0.8740
3	2.7981	2.7972	2.7963	2.7948	2.7848	2.7785	2.7651	2.7252	2.6994	2.6711	2.6445	2.6178	2.5775	2.5566
4	-0.1600	-0.1598	-0.1598	-0.1597	-0.1594	-0.1600	-0.1601	-0.1562	-0.1565	-0.1550	-0.1571	-0.1544	-0.1471	-0.1440
5	0.8384	0.8380	0.8374	0.8372	0.8365	0.8347	0.8309	0.8214	0.8128	0.8044	0.7939	0.7827	0.7631	0.7340
6	2.8224	2.8221	2.8210	2.8199	2.8162	2.8126	2.8077	2.7931	2.7803	2.7665	2.7484	2.7335	2.7184	2.7034
7	-0.3366	-0.3367	-0.3365	-0.3364	-0.3363	-0.3363	-0.3363	-0.3368	-0.3359	-0.3344	-0.3346	-0.3350	-0.3326	-0.3335
8	0.6981	0.6980	0.6983	0.6985	0.6990	0.6992	0.6998	0.6975	0.6946	0.6905	0.6893	0.6825	0.6722	0.6532

Şekil 5.14. Kaldırma hareketine ait veri matrisi

load pickup_action.mat

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-0.0967	-0.0900	-0.0887	-0.0878	-0.0820	-0.0795	-0.0729	-0.0709	-0.0621	-0.0565	-0.0501	-0.0416	-0.0470	-0.0260
2	1.0294	1.0219	1.0076	0.9889	0.9727	0.9424	0.9076	0.8855	0.8386	0.8020	0.7496	0.6981	0.6553	0.5937
3	2.7642	2.7390	2.7151	2.6926	2.6499	2.6223	2.5851	2.5543	2.5240	2.4922	2.4707	2.4525	2.4376	2.4361
4	-0.1093	-0.1068	-0.1038	-0.1024	-0.1021	-0.1029	-0.1002	-0.0987	-0.0846	-0.0751	-0.0566	-0.0236	-0.0281	-0.0126
5	0.8407	0.8357	0.8291	0.8246	0.8064	0.7938	0.7743	0.7457	0.7145	0.6882	0.6522	0.6021	0.5738	0.5154
6	2.8068	2.7980	2.7857	2.7755	2.7466	2.7356	2.7199	2.7008	2.6821	2.6570	2.6448	2.6269	2.6182	2.6188
7	-0.2879	-0.2873	-0.2875	-0.2873	-0.2854	-0.2835	-0.2814	-0.2774	-0.2746	-0.2710	-0.2628	-0.2521	-0.2446	-0.2392
8	0.7137	0.7147	0.7146	0.7132	0.7110	0.7042	0.6992	0.6886	0.6752	0.6578	0.6353	0.6169	0.5778	0.5634

Şekil 5.15. Bir nesneyi alma hareketine ait veri matrisi

load standup_action.mat

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-0.0809	-0.0809	-0.0808	-0.0809	-0.0809	-0.0808	-0.0807	-0.0810	-0.0810	-0.0813	-0.0815	-0.0814	-0.0815	-0.0812
2	0.5524	0.5515	0.5525	0.5529	0.5524	0.5526	0.5525	0.5515	0.5512	0.5521	0.5506	0.5505	0.5505	0.5520
3	2.9543	2.9543	2.9531	2.9532	2.9531	2.9533	2.9534	2.9532	2.9537	2.9540	2.9537	2.9541	2.9541	2.9536
4	-0.0892	-0.0892	-0.0890	-0.0890	-0.0889	-0.0887	-0.0888	-0.0888	-0.0887	-0.0886	-0.0887	-0.0887	-0.0887	-0.0887
5	0.3438	0.3438	0.3439	0.3439	0.3441	0.3440	0.3439	0.3439	0.3440	0.3440	0.3439	0.3438	0.3438	0.3439
6	2.9794	2.9794	2.9792	2.9792	2.9792	2.9802	2.9801	2.9801	2.9802	2.9803	2.9805	2.9805	2.9805	2.9805
7	-0.2752	-0.2752	-0.2752	-0.2752	-0.2751	-0.2750	-0.2750	-0.2751	-0.2752	-0.2753	-0.2754	-0.2754	-0.2756	-0.2757
8	0.2162	0.2162	0.2164	0.2164	0.2164	0.2164	0.2164	0.2163	0.2164	0.2167	0.2166	0.2166	0.2166	0.2166

Şekil 5.16. Ayakta durma hareketine ait veri matrisi

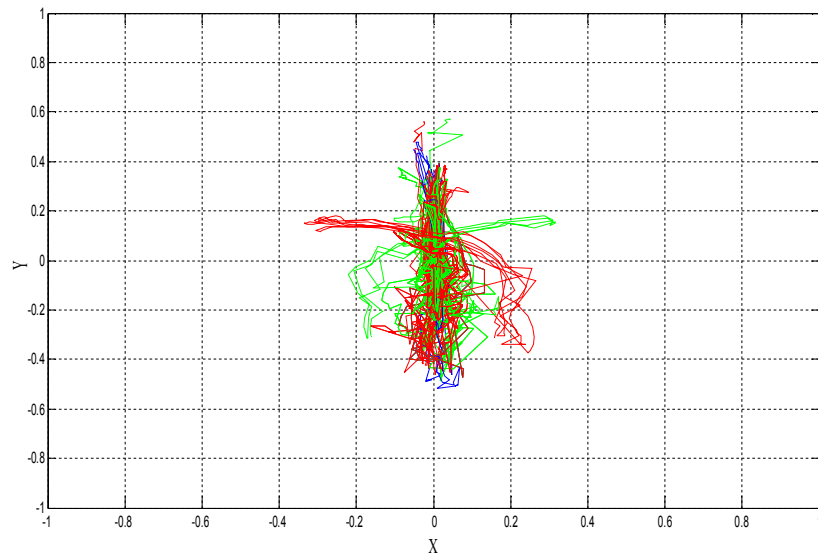
Kaydedilen bu hareketlerden oluşan veri matrisleri birleştirilerek Şekil 5.16’ da gösterildiği gibi bir subspace (alt uzay) oluşturulmuştur.

subspace=[lift_action;pickup_action; standup_action]

Variables - subspace														
subspace														
subspace <180x82 double>														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-0.1453	-0.1454	-0.1450	-0.1447	-0.1448	-0.1439	-0.1435	-0.1422	-0.1378	-0.1320	-0.1359	-0.1313	-0.1288	-0.1227
2	1.0420	1.0412	1.0401	1.0417	1.0389	1.0358	1.0319	1.0095	0.9944	0.9787	0.9611	0.9494	0.9084	0.8740
3	2.7981	2.7972	2.7963	2.7948	2.7848	2.7785	2.7651	2.7252	2.6994	2.6711	2.6445	2.6178	2.5775	2.5566
4	-0.1600	-0.1598	-0.1598	-0.1597	-0.1594	-0.1600	-0.1601	-0.1562	-0.1565	-0.1550	-0.1571	-0.1544	-0.1471	-0.1440
5	0.8384	0.8380	0.8374	0.8372	0.8365	0.8347	0.8309	0.8214	0.8128	0.8044	0.7939	0.7827	0.7631	0.7340
6	2.8224	2.8221	2.8210	2.8199	2.8162	2.8126	2.8077	2.7931	2.7803	2.7665	2.7484	2.7335	2.7184	2.7034
7	-0.3366	-0.3367	-0.3365	-0.3364	-0.3363	-0.3363	-0.3363	-0.3368	-0.3359	-0.3344	-0.3346	-0.3350	-0.3326	-0.3335
8	0.6981	0.6980	0.6983	0.6985	0.6990	0.6992	0.6998	0.6975	0.6946	0.6905	0.6893	0.6825	0.6722	0.6532
9	2.7967	2.7964	2.7960	2.7955	2.7945	2.7928	2.7904	2.7774	2.7674	2.7557	2.7479	2.7339	2.7194	2.6993
10	0.0250	0.0249	0.0248	0.0244	0.0243	0.0247	0.0241	0.0250	0.0260	0.0276	0.0300	0.0325	0.0332	0.0374
11	0.7017	0.7016	0.7018	0.7022	0.7021	0.7019	0.7022	0.7016	0.7008	0.6998	0.6931	0.6835	0.6759	0.6591
12	2.8169	2.8167	2.8164	2.8159	2.8145	2.8134	2.8114	2.8031	2.7985	2.7907	2.7737	2.7527	2.7392	2.7216
13	-0.3799	-0.3797	-0.3800	-0.3803	-0.3812	-0.3824	-0.3831	-0.3844	-0.3850	-0.3865	-0.3871	-0.3877	-0.3885	-0.3885
14	0.4043	0.4041	0.4039	0.4041	0.4042	0.4043	0.4043	0.4036	0.4028	0.4016	0.4007	0.3994	0.3909	0.3770
15	2.7642	2.7641	2.7640	2.7641	2.7644	2.7647	2.7648	2.7646	2.7636	2.7615	2.7578	2.7521	2.7424	2.7319
16	0.0779	0.0778	0.0777	0.0777	0.0776	0.0779	0.0779	0.0790	0.0797	0.0808	0.0821	0.0848	0.0865	0.0889
17	0.3935	0.3931	0.3929	0.3928	0.3926	0.3925	0.3926	0.3928	0.3931	0.3923	0.3907	0.3876	0.3838	0.3696
18	2.7703	2.7706	2.7709	2.7711	2.7715	2.7719	2.7720	2.7717	2.7711	2.7688	2.7652	2.7565	2.7435	2.7195
19	-0.3800	-0.3805	-0.3808	-0.3810	-0.3816	-0.3822	-0.3833	-0.3858	-0.3867	-0.3872	-0.3872	-0.3883	-0.3916	-0.3921

Şekil 5.17. Veri matrislerinin birleştirilmesi

Bu tez çalışmasında, kaldırma, bir nesneyi alma, oturma, kalkma, tek yönde ve çift yönde el sallama olmak üzere belirlenen 6 farklı harekete ait bu şekilde özellik vektörleri oluşturulmuştur. Bu 6 farklı hareketin, 2B uzayda ortalama hareket olarak gösterimi Şekil 5.18’ de verilmiştir.



Şekil 5.18. Ortalama Hareket

5.5. Bölüm Değerlendirmesi

Bu tez çalışmasında, insan-bilgisayar etkileşiminde sıklıkla kullanılan insan hareketleri analizleri yapılarak farklı hareketleri tanımak için biyomekaniksel model ile anahtar eklem özelliklerini birleştiren bir hareket tanıma yöntemi sunulmuştur. Oturma, el sallama ve kaldırma hareketlerine ait sayısal bilgiler bir sensör tarafından alınmıştır ve bu biyomekaniksel hareket analizleri ile bu hareketlerin eklem noktalarına ait hız bilgilerine ulaşılmıştır. Seçilen anahtar eklemlerin maksimum hız bilgisi hesaplanıp eşik değerleri tespit edilmiştir. Test bir hareket, önerilen yöntemle uygulandığında eklem noktalarına ait sayısal veriler hareketlere ait eşik değerler ile kıyaslanarak hangi hareket sınıfına ait olduğu tespit edilmektedir. Anahtar eklem özelliğinin avantajı, her hareket için uygulanabilir olmasıdır. Literatürde, hareket tanıma için genellikle bütün hareket bilgisi kullanılmaktadır. Bu durum, hareket sayısı arttıkça tanıma performansını düşürmektedir. Diğer yandan bu tez çalışmasında önerilen yöntem, geleneksel yöntemler ile karşılaştırıldığında hareketlerin tanınması için daha az veri gerektirmektedir.

Deneysel sonuçlar göstermiştir ki, farklı test hareket örnekleri üzerinde uygulanan yöntem etkili ve güçlü bir hareket tanıma yaklaşımı sunmaktadır. Anahtar eklem özellikleri ile biyomekaniksel analiz, insan hareketlerinin daha iyi anlaşılmasını ve hareketler arasındaki ilişkilerin detaylı incelenmesini sağlamıştır. İnsan hareketlerinin tanınmasında biyomekaniksel hareket analizlerinin kullanılması, daha iyi bir performansla sonuçlanmıştır. Ön işleme yöntemi, sensörden alınan ham verinin kalitesini arttırarak doğru tanıma sonuçları alınmasında önem arz etmiştir. Eğer doğru hareket verileri toplanırsa, önerilen yöntem günlük hayattaki diğer bütün hareketler için de kullanılabilir olacaktır. Etkin bir insan hareketi tanıma yöntemi için önerilen yöntemin performansı, gelecek çalışmalarda daha karmaşık hareketler arasındaki ilişkiler incelenerek değerlendirilecektir.

6. SONUÇLAR

Kamera görüntülerinden yakalanan insan hareketlerinin tanınması pek çok zorluk içermektedir. Eğitim verilerindeki belirsizlik, hareket verilerinin alınması, sınıflandırmadaki zorluk, hareketlerin doğru tespiti, farklı insan hareket stilleri, gölge ve aydınlatma nedeniyle oluşan görüntü gürültüleri ve giyilen kıyafetler hareket tanıma sistemlerinin karşılaştıkları problemlerdir. Bu tez çalışmasında, karşılaşılan bu problemleri çözmek amacıyla belirli bir hareket grubu üzerinde tanıma yöntemleri geliştirilmiştir. İnsan hareketlerinin modellenmesi, simülasyonu, analizi ve tanınmasına yönelik pek çok çalışma yapıp deneysel sonuçlar kısımlarında tartışılmıştır. Literatürde var olan diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında sunulan yöntemlerin daha az veri ile daha fazla performans sağladığı gösterilmiştir. Gürültülerden kaynaklı problemler, ön işleme algoritmaları ile en aza indirgenmiş ve tanıma sonuçlarından daha doğru sonuçlar alınması sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, güvenilir, basit ve performansı güçlü bir hareket tanıma yöntemleri geliştirilerek aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmiştir.

- Hareketler biyomekaniksel olarak analiz edilmiştir ve tanıma tekniği için kullanılacak hareketler belirlenmiştir,
- İstenilen harekete ait veriler hassas bir şekilde alınmıştır ve hareketlerin takip edilmesi için RGB-D sensör kullanılarak gerekli yazılım gerçekleştirilmiştir,
- Uygun laboratuvar koşulları sağlanarak gerçekleştirilen yazılım uygulaması ile eklem noktalarına ait veriler toplanmıştır,
- Toplanan verilerin doğruluğunun ölçülmesi için simülasyon çalışmaları yapılmıştır ve bu yazılımın performansının değerlendirilmiştir,
- Toplanan konum verilerinden biyomekaniksel hareket analizleri ile eklem noktalarına ait hız verileri elde edilmiştir,
- Grafiksel sonuçlar ile doğrulanan hareket verilerinden bir veritabanı oluşturularak gerçekleştirilecek tanıma yöntemleri için TBA ile bir özellik çıkarım tekniği geliştirilmiştir.
- Anahtar eklem özellikleri kullanan bir tanıma yöntemi sunulmuştur ve deneysel sonuçlar ile bu tanıma yönteminin performansı ve etkinliği tartışılmıştır. Yapılan çalışmalar, bilimsel değeri olan akademik yayınlara dönüştürülerek literatürde var olan hareket tanıma çalışmalarına katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Aggarwal, J.K. and Park, S.**, 2004. Human Motion: Modeling and Recognition of Actions and Interactions. *International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission*, Thessaloniki, Greece,
- [2] **Ahad A.R.**, 2011. Computer Vision and Action Recognition. *Atlantis Ambient and Pervasive Intelligence*, Paris.
- [3] **Kambhamettu, C., Goldgof, D., Terzopoulos, D. and Huang, T.**, 1994. Nonrigid motion analysis, *Handbook of PRIP: Computer Vision*, **2**, 405-430.
- [4] **Kang, J., Badi, B., Zhao, Y. and Wright, D. K.**, 2006. Human motion modeling and simulation by anatomical approach, *WSEAS Transactions on Computers*, **5(6)**, 1325-1332.
- [5] **Huang, C. -L., Chung, C. -Y.**, 2003. A Real-Time Model-Based Human Motion Analysis System, *Proceedings of International Conference on Multimedia and Expo., ICME'03*, Baltimore, USA, 6-9 July, **vol.2**, 477-480.
- [6] **Aggarwal, J.K. and Cai, Q.**, 1999. Human Motion Analysis: A Review, *Computer Vision and Image Understanding*, **vol.73, issue 3**, 428-440.
- [7] **Kaustav, N. and Chellappa, R.**, 2007. Simulation and Analysis of Human Walking Motion, *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Hawaii, USA, April 15-20, 797-800.
- [8] **Guo, Y., Xu, G., Tsuji, S.**, 1994. Understanding human motion patterns, *Proc. Int. Conf. on Image Analysis and Pattern Recognition*, Jerusalem, 9-13 October, 325-329.
- [9] **Leung, M.K.H., Yang, Y.H.**, 1995. First sight: a human body outline labeling system, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, **vol. 17, issue 4**, 359-377.
- [10] **Wren, C. R., Azarbayejani, A., Darrell, T., Pentland, A. P.**, 1997. Pfunder : realtime tracking of the human body, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, **vol. 19, issue 7**, 780-785.
- [11] **Schuldt, C., Laptev, I. and Caputo, B.**, 2004. Recognizing Human Actions : A Local SVM Approach, *Proceedings of ICPR'04*, Cambridge, UK, 32-36.
- [12] **Manal, K. T. and Buchanan, T. S.**, 1994. Biomechanics of Human Movement, Standard Handbook of Biomedical Engineering and Design. Ed: M Kutz. McGraw-Hill: New York, 5.1-5.26.
- [13] **Ishida, A., Hirokawa, S., Miyazaki, S., Ae, M. and Hayashi, T.**, 2002. it Biomechanics of Human Movement, *Corona Publishing*.
- [14] **Mughal, A., Iqbal, K.**, 2006. A Fuzzy Biomechanical Model for Optimal Control of Sit-to-Stand Movement, *Engineering of Intelligent Systems*, Istanbul, 1-6.

- [15] **Li, X., Lu, C., Zhang, E.,** 2006. Research of driving safety based on human body biological response, *Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design*, Hangzhou, 17-19 Nov., 1-5.
- [16] **Moosbrugger, J. C., Bhatkar, V. V., Schilling, R. J., Storey, C. M., Robinson, C.J.,** 2007. A Biomechanical Model of Human Ankle Angle Changes Arising From Short Peri-Threshold Anterior Translations of Platform on Which a Subject Stands, *29th Annual International Conference of the IEEE EMBS Cité Internationale*, Lyon, France, August, 23–26.
- [17] **Parasuraman, S., Yee, K. C.,** 2009. Bio-Mechanical Analysis of Human Hand, *International Conference on Computer and Automation Engineering*, Bangkok, 8-10 March, 93-97.
- [18] **Rasool, G., Mughal, A. M., Iqbal, K.,** 2010. Fuzzy Biomechanical Sit-To-Stand Movement with Physiological Feedback Latencies, *Systems Man and Cybernetics (SMC)*, Istanbul, 10-13 Oct., 316-321.
- [19] **Chapman, A.,** 2008. Biomechanical Analysis of Fundamental Human Movements, *Human Kinetics*, USA.
- [20] **Resnick, H.,** 1991. Fiziğin Temelleri, Çev: Yalçın, *Arkadaş Yayınları*, Ankara.
- [21] **Hay, J.,** 1985. The Biomechanics Of Sports Techniques, *Prentice-Hall, Englewood Cliffs*, New Jersey.
- [22] **Turbeville, J.,** 2003. New Tabular Evidence of a manumnt in Harmony with the Universe, *National Library of Canada Cataloguing*, 71-73.
- [23] **Winter,** 2009. Biomechanics and Motor Control of Human Movement, *Publisher : Wiley-Interscience*, USA.
- [24] **Hwang, S.J., Choi, H.S. and Kim Y.H.,** 2004. Motion Analysis Based on a Multi-Segment Foot Model in Normal Walking, *Proceedings of 26th Annual International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society*, San Francisco, CA, 1-5 September, 5104-5106.
- [25] **Qu, Xingda and Nussbaum, Maury A.,** 2009. Human Lifting Motions Using Fuzzy-Logic Control, *IEEE Transactions Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans*, **vol. 39, issue 1**, 109–118.
- [26] **Gavrila, D. M.,** 1999. The visual analysis of human movement: A survey, *Computer Vision and Image Understanding*, **vol.73, no.1**, 82-98.
- [27] **Abboud, R., Weijie W., Dong M., Wan B., Yi L, Qiyong G.,** 2011. A motion simulation and biomechanical analysis of the shoulder joint using a whole human model, *Biomedical Engineering and Informatics (BMEI)*, Shanghai, 15-17 Oct., 2322-2326.

- [28] **Tongen, A. and Wunderlich, R. E.,** 2010. Biomechanics of Running and Walking, , *Mathematics and Sports*, The Mathematical Association of America, Chapter 25, 315- 329, USA.
- [29] **Payton, C. J. and Bartlett, R. M.,** 2007. Biomechanical Evaluation Of Movement In Sport and Exercises, *the Taylor and Francis e-Library*, The British Association of Sport and Exercise Sciences Guidelines.
- [30] **Amca, A. M., Harbili, E., Arıtan, S.,** 2010. Koparma Kaldırışının Biyomekanik Analizi için Mekanik Model Geliştirilmesi, *Hacettepe J. of Sport Sciences*, **21(1)**, 21-29.
- [31] **Younggun, C., Yoon, Y.-S.,** 2001. Biomechanical model of human on seat with backrest for evaluating ride quality, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Elsevier, **vol. 27, no.5**, 331–345.
- [32] **Lund, M.,** 2005. Biomechanical study of cross-country skiing, *Master's Thesis*, Umea University Department of Physics.
- [33] **Tong, X., Xu P., Yan, X.,** 2012. Research on skeleton animation motion data based on Kinect, *Computational Intelligence and Design-ISCID*, pp. 347 – 350.
- [34] **Oprirescu, S., Burlacu, C., Buzuloiu, V.,** 2010. Action recognition using time of flight cameras”, in *Communications*, pp. 153–156,
- [35] **Yamane, R., Shakunaga, T.,** 2010. Dance Motion Analysis by Correlation Matrix Between Pose Sequences, *Image and Vision Computing New Zealand - IVCNZ* , pp. 1–6.
- [36] **Yujiang, X., Jasbir, S. A., Salam, R., Timothy, M., Rajankumar, B., Karim, A. M.,** 2010. Human lifting simulation using a multi-objective optimization approach, *Multibody Syst Dyn*, **vol.23, no.4**, 431-451.
- [37] **Fan, J., El-Kwae, E., Hacid, M. and Liang, F.,** 2002. Novel trackingbased moving object extraction algorithm, *J. Electronic Imaging*, **11**, 393-403.
- [38] **Nobutomo, M., Yutaka, O. and Shigeyasu, K.,** 2004. Kinematic analysis of human lifting movement for biped robot control, *The 8th IEEE International Workshop*, Kawasaki, Japan, 25-28 March, 421-426.
- [39] **Ahmad, R., Yaacob, M.S., Che Omar, M.B,** 2008. Kinematics modeling of human motion using system identification technique, *IEEE on Modelling and Simulation, AICMS'08*, 13-15 May, 338-343.
- [40] **Yujiang, X., Jasbir, S. A., Salam, R., Timothy, M., Rajankumar, B., Karim, A.-M.,** 2010. Human lifting simulation using a multi-objective optimization approach, *Multibody Syst Dyn*, **23**, 431-451.
- [41] **Schuldt, Laptev and Caputo,** *Proc. ICPR'04*, Cambridge, UK.

- [42] **Dondera, R., Doermann, D., and Davis, L.,** 2009. Action recognition based on human movement characteristics. In *Motion and Video Computing, WMVC'09*, pp. 1-8.
- [43] **Tian, Y., Cao, L., Liu, Z., and Zhang, Z.,** 2012. Hierarchical filtered motion for action recognition in crowded videos. *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, **42(3)**, 313–323.
- [44] **Wang, H., Yuan, C., Hu, W., and Sun, C.,** 2012. Supervised class-specific dictionary learning for sparse modeling in action recognition. *Pattern Recognition*, **45(11)**, 3902–3911.
- [45] **Laptev, I., Marszalek, M., Schmid, C., and Rozenfeld, B.,** 2008. Learning realistic human actions from movies. In *Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR'8, IEEE Conference*, pp. 1–8.
- [46] **Bregonzio, M., Gong, S., and Xiang, T.,** 2009. Recognising action as clouds of space-time interest points. In *Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR'9, IEEE Conference*, pp. 1948–1955.
- [47] **Weinland, D., Ronfard, R., and Boyer, E.,** 2006. Free viewpoint action recognition using motion history volumes. *Computer Vision and Image Understanding*, **104(2)**, 249-257.
- [48] **Ashraf, N., and Foroosh, H.,** 2012. Human action recognition in video data using invariant characteristic vectors. In *Image Processing (ICIP), 2012 19th IEEE International Conference*, pp. 1385–1388.
- [49] **Ni, B., Wang, G., and Moulin, P.,** 2013. Rgb-d-hudaact: A color-depth video database for human daily activity recognition. In *Consumer Depth Cameras for Computer Vision*, pp. 193–208, Springer London.
- [50] **Zhao, Y., Liu, Z., Yang, L., and Cheng, H.,** 2012. Combing rgb and depth map features for human activity recognition. In *Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC), Asia-Pacific* , pp. 1–4.
- [51] **Zhang, L., Hsieh, J. C., and Wang, J.,** 2012. A Kinect-based golf swing classification system using HMM and Neuro-Fuzzy. In *Computer Science and Information Processing (CSIP), 2012 International Conference*, pp. 1163–1166.
- [52] **Aydin, I., Karakose, M., and Akin, E.,** 2009. The prediction algorithm based on fuzzy logic using time series data mining method. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **51(27)**, 91–98.
- [53] **Patsadu, O., Nukoolkit, C., and Watanapa, B.,** 2012. Human gesture recognition using Kinect camera. In *Computer Science and Software Engineering (JCSSE), 2012 International Joint Conference*, pp. 28–32.
- [54] **Rimkus, K., Bukis, A., Lipnickas, A., and Sinkevicius, S.,** 2013. 3D human hand motion recognition system. In *Human System Interaction (HSI), 2013 The 6th International Conference*, pp. 180–183.

- [55] **Ma, L., and Liu, Z.**, 2008. Human Motion Recognition in Video. In *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2008. FSKD'08. Fifth International Conference*, **Vol. 4**, pp. 49–53.
- [56] **Popoola, O. P., and Wang, K.**, 2012. Video-Based Abnormal Human Behavior Recognition---A Review.
- [57] **Ikizler-Cinbis, N., and Sclaroff, S.**, 2012. Web-Based Classifiers for Human Action Recognition. *Multimedia, IEEE Transactions on*, **14(4)**, 1031–1045.
- [58] **Ji, S., Xu, W., Yang, M., and Yu, K.**, 2010. 3D convolutional neural networks for human action recognition.
- [59] **Liu Chang**, 2010. Human Motion Detection and Action Recognition ,*Doctoral Thesis*, Hong Kong Baptist University.
- [60] **Huang, B., Chen, M., Ye, W., Xu, Y.**, 2006. Intelligent Shoes for Human Identification, *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, December 17 - 20, Kunming, China, 601-606.
- [61] **Den Otter, A.R., Geurts, A.C.H., Mulder, T., Duysens, J.**, 2004. Speed related changes in muscle activity from normal to very slow walking speeds, *Gait Posture*, **vol.19, issue 13**, 270-278.
- [62] **Orendurff M. S., Segal A.D., Klute G. K., Berge J. S., Rohr E. S., Kadel N. J.**, 2004. The effect of walking speed on center of mass displacement, *of Rehabilitation Research and Development Journal*, **vol: 41**, 829-834.
- [63] **Neptune, R. R., Sasaki, K., Kautz, S. A.**, 2008. The effect of walking speed on muscle function and mechanical energetics, *Gait Posture*, **28(1)**, 135-143.
- [64] **Umberger, B. R.**, 2006. The cost of swinging the leg in human walking, *American society of biomechanics annual conference proceedings CD*, Virginia Tech, Blacksburg, VA, 1-2.
- [65] **Haarnoja, T., Peralta-Cabezas, J. L., Halme, A.**, 2011. Model-Based Velocity Control for Limit Cycle Walking, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, San Francisco, CA, 25-30 Sept., 2255-2260.
- [66] **Kang, H.G., Dingwell, J. B.**, 2007. Separating the effects of age and walking speed on gait variability, *Gait Posture*, **27(4)**, 572-579.
- [67] **Choi, J. S., Kang, D. W., Mun, K. R., Bang, Y. H., Kang, M.S., Kim, H.S., Oh, H.S., Tack, G.R.**, 2010. Comparison of changed gait pattern between healthy young adults and the elderly during level and uneven inclined walking, *IFMBE*, **vol. 31**, 67-70.
- [68] **Khan, Z. A., and Sohn, W. ,** 2011. Abnormal human activity recognition system based on R-transform and kernel discriminant technique for elderly home care.*Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, **57(4)**, 1843-1850.

- [69] **Dubois, A., and Charpillet, F.** 2013. Human activities recognition with RGB-Depth camera using HMM. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE* , pp. 4666-4669.
- [70] **Huynh, L., Ho, T., Tran, Q., Dinh, T. B., and Dinh, T.** 2012. Robust classification of human actions from 3D data. In *Signal Processing and Information Technology (ISSPIT), 2012 IEEE International Symposium on* pp. 000263-000268. IEEE.
- [71] **Wang, L., and Zhao, D.** (2011, October). Recognizing actions using salient features. In *Multimedia Signal Processing (MMSP), 2011 IEEE 13th International Workshop on* pp. 1-6.
- [72] **Monir, S., Rubya, S., and Ferdous, H. S.** (2012, November). Rotation and scale invariant posture recognition using Microsoft Kinect skeletal tracking feature. In *Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2012 12th International Conference on*, pp. 404-409.
- [73] **Xiao, Z., Mengyin, F., Yi, Y., and Ningyi, L.** (2012, August). 3D Human Postures Recognition Using Kinect. In *Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2012 4th International Conference on*, **Vol. 1**, pp. 344-347.
- [74] **Zou, C., and Liu, Z.** (2008, August). Behavior Classification Method Based on Skeleton Model from Video Images. In *Computer Science and Information Technology, 2008. ICCSIT'08. International Conference on*, pp. 309-312.
- [75] **Thi, T. H., Lu, S., Zhang, J., Cheng, L., and Wang, L.** (2009, September). Human body articulation for action recognition in video sequences. In *Advanced Video and Signal Based Surveillance, Sixth IEEE International Conference on*, pp. 92-97.
- [76] **Bengalur, M. D.** (2013, August). Human activity recognition using body pose features and support vector machine. In *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2013 International Conference on*, pp. 1970-1975.
- [77] **Sempena, S., Maulidevi, N. U., and Aryan, P. R.** (2011, July). Human action recognition using dynamic time warping. In *Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 2011 International Conference on*, pp. 1-5.
- [78] **Kellokumpu V.P.,** 2011. Vision-Based Human Motion Description and Recognition. *University of Oulu for public defence in Auditorium TS101, Linnanmaa.*
- [79] **Han J., Kamber M., Pei J.,** 2011 . Data Mining: Concepts and Techniques. *The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems.*
- [80] **Turk, M., and Pentland, A.** 1991. Eigenfaces for recognition. *Journal of cognitive neuroscience*, **3(1)**, 71-86.

- [81] **Georghiades, A.S. and Belhumeur, P.N. and Kriegman, D.J.** 2001. From Few to Many: Illumination Cone Models for Face Recognition under Variable Lighting and Pose. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence*, **23(6)**, 643-660.
- [82] **Zhao, Q., and Sun, Z.** 2002. Robot motion simulation with eigenspace method. In *Intelligent Control and Automation, 2002. IEEE Proceedings of the 4th World Congress on*, Vol. 2, 1179-1183
- [83] **Ji, X., Liu, H., and Li, Y.** 2010. Human actions recognition using Fuzzy PCA and discriminative hidden model. In *Fuzzy Systems (FUZZ), IEEE International Conference on* , pp. 1-6.
- [84] **Weng E.J. and Fu L.C.,** 2012. On-line human action recognition by combining joint tracking and key pose recognition. *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012 IEEE/RSJ International Conference on*.
- [85] **Hamil J, and Knutzen K.M.,** 2008. Biomechanical Basis Human Movement, *Lippincott Williams and Wilkins*.
- [86] **Jhjh Ay, B. ve Karaköse, M.** 2013. Motion Classification Approach Based on Biomechanical Analysis of Human Activities. *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)*, Tamilnadu, India.
- [87] **Huynh, L. , Ho, T., Tran, Q., Dinh, T. B. , Dinh, T.** 2012. Robust classification of human actions from 3D data. *IEEE Signal Processing and Information Technology (ISSPIT)*.
- [88] **Ay, B., Karakose, M.** 2012. Fuzzy logic method for experimental analysis of running and walking motions. *TOK 2012*, 682–687.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Elazığ’ da doğdu. İl ve Orta öğrenimini (Evren Paşa İ.Ö), Lise Öğrenimini (Balakgazi Y.D.A) Elazığ’ da tamamladı. 2007–2011 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği’ nde okudu ve lisans öğrenimini tamamladı. 2011 yılında araştırma görevlisi olarak Fırat Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği’nde çalışmaya ve aynı bölümün Yazılım Anabilim Dalı’ nda yüksek lisans eğitimi almaya başladı. 2012-2013 yılları arasında Ohio State Üniversitesi’ nde araştırmacı olarak görev yaptı. Şu anda Fırat Üniversitesi’ nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.