



T.C.

**YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MİKROKONTROLÖR TABANLI ÇOKLU SENSÖR ÖLÇÜM
SİSTEMİ İLE GİYİLEBİLİR VÜCUT DURUŞ ANALİZ
SİSTEMİ TASARIMI**

MEHMET ULUÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KARABULUT

HAZİRAN – 2024

YOZGAT

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MİKROKONTROLÖR TABANLI ÇOKLU SENSÖR ÖLÇÜM
SİSTEMİ İLE GİYİLEBİLİR VÜCUT DURUŞ ANALİZ
SİSTEMİ TASARIMI

MEHMET ULUÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KARABULUT

Haziran– 2024

YOZGAT



YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ONAY FORMU

T.C.

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Enstitümüzün Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı öğrencisi Mehmet ULUÇ'un hazırladığı “**Mikrokontrolör Tabanlı Çoklu Sensör Ölçüm Sistemi İle Giyilebilir Vücut Duruş Analiz Sistemi Tasarımı**” başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince/...../..... günü saat’da yapılmış, tezin onayına oy birliği/oy çokluğu ile karar verilmiştir.

Başkan :

Jüri Üyesi :

(Danışman)

Jüri Üyesi :

Jüri Üyesi :

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

...../...../.....

Prof. Dr.

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan eder, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet ULUÇ

24/06/2024

ÖN SÖZ

Bu çalışmada, üzerinde sensörlerin bulunduğu mikrodenetleyici kontrollü duruş bozuklarını tespit edip anlamlı veriler sunan yelek tasarlanmıştır. Çalışma mobil ve bilgisayar arayüzü ile desteklenmiştir. Çalışma süresi boyunca, yardım ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmanın ilerleme safhalarında bilgi ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KARABULUT'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışmalarım süresince gösterdiği sabır ve daimi destekleri için sevgili eşim Emsal ULUÇ ve kızım Beren ULUÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet ULUÇ

24/06/2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİKROKONTROLÖR TABANLI ÇOKLU SENSÖR ÖLÇÜM SİSTEMİ İLE GİYİLEBİLİR VÜCUT DURUŞ ANALİZ SİSTEMİ TASARIMI

MEHMET ULUÇ

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET KARABULUT

Bu tezde, mikrodenetleyici kontrollü Mikro Elektromekanik Sistem (MEMS) tabanlı sensörler bulunan mobil kullanımlı bir yelek tasarımı sunulmuştur. Tezde tüm çalışmalar ve ölçümler model üzerinden yapılmıştır. Sensörler, yelek üzerine kişiselleştirilebilir şekilde sırt ve omuz bölgesine konumlandırılabilir. Yelek, kullanıcısının bozuk duruşunu sensörler aracılığıyla tespit edebilmekte ve eğitim değişimlerini kaydedebilmektedir. Kaydedilen veriler, mikrodenetleyici tarafından alınarak bilgisayar ortamında ve mobil uygulama üzerinde analiz edilebilmektedir.

Doğru ve kararlı çalışmayı sağlamak adına çeşitli senaryolar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu senaryolar kapsamında, yatay ve dikey düzlemde sensör veri değişimleri incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda, bedenin doğru ve sağlıklı duruşu sensörlerden elde edilen veriler ve kaynak bilgiler ışığında belirlenmiştir. Yeleğin, omurga sağlığının takibi ve duruş bozukluklarının tespitinde kullanılması hedeflenmiştir.

Mobil kullanımla kişiye sağlıklı duruş farkındalığı kazandırılmakta ve kişi olası kalıcı duruş bozukluklarına karşı önlem alabilmektedir. Duruş kontrollerini ve takibini kolaylaştırmak amacıyla giyilebilir ve mobil kullanım destekli bir yeleğin, insan omurga sağlığına fayda sağlayacağı sonucuna varılmıştır. Sırt iskelet yapısındaki fiziksel rahatsızlıklara çözüm bulmak için erken teşhis ile bireyin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

2024, xvii + 88 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Postür Analizi, Gömülü Sistemler, Giyilebilir Teknolojiler, MEMS, Mobil Uygulama,

ABSTRACT

MASTER THESIS

MICROCONTROLLER-BASED MULTI SENSOR MEASURING SYSTEM FOR WEARABLE BODY POSTURE ANALYSIS

MEHMET ULUÇ

YOZGAT BOZOK UNIVERSITY

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF ELECTRIC-ELECTRONICS ENGINEERING

SUPERVISOR: ASST. PROF. DR. MEHMET KARABULUT

This thesis presents the design of a mobile wearable vest equipped with microcontroller-controlled Micro-Electromechanical Systems (MEMS) based sensors. All the studies and measurements in the thesis were conducted through the model. The sensors can be personalized and positioned on the back and shoulder areas of the vest. The vest is capable of detecting the user's poor posture and recording inclination changes through the sensors. The recorded data can be received by the microcontroller and used in computer software and mobile applications for interpretation.

To ensure accurate and stable operation, various scenarios were studied. These scenarios involved examining sensor data changes in both horizontal and vertical planes. As a result of these studies, correct and healthy posture was determined based on sensor data and reference information. The vest is intended for use in monitoring spinal health and detecting posture disorders.

By utilizing mobile usage, the vest raises awareness of healthy posture in the user, helping them take preventive measures against potential permanent posture disorders. The conclusion is that a wearable and mobile-compatible vest will benefit human spinal health by making posture control and monitoring easier. The aim is to facilitate early diagnosis and improvement of physical ailments in the spinal structure.

2024, xvii + 88 Pages

Keywords: Posture Analysis, Embedded System, Wearable Technology, MEMS, Mobile Application

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAY SAYFASI.....	ii
TEZ BEYANI.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
RESİMLER LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Probleme Dair Genel Durum	1
1.2.Araştırmanın amacı.....	1
1.3.Araştırmanın önemi	2
2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
2.1.Omurga Yapısı.....	3
2.2.Vücut Duruşu (Postür) Analizi	4
2.2.1.Postür	5
2.2.2.Vücut Duruşu Analizinin Önemi	5
2.2.3.Vücut Duruşu Analiz Yöntemleri	5
2.2.4.Vücut Duruşu Analizi Yapılan Bireyler.....	6
2.3.Duruş Bozuklukları.....	7
2.3.1.Skolyoz.....	7

2.3.2.Lordoz	9
2.3.3.Kifoz.....	11
2.3.4.İleri Kafa Duruşu.....	13
2.3.5.Boyun Düzleşmesi	14
2.4.Duruş Bozukluklarının Açısız Olarak Ölçümü.....	15
2.4.1.Kifoz Açısı Ölçümü	15
2.4.2.Lomber Lordoz Açısı Ölçümü	16
2.4.3.Skolyoz Açısı Ölçümü	16
2.5.Çoklu Sensörlerin Entegrasyonu	17
2.6.Mikrodenetleyici Seçimi ve Konfigürasyonu	18
2.7.Vücut Postür Analizinde Genel Çözüm Yöntemleri.....	20
2.7.1.Giyilebilir Sensörler	20
2.7.2.Kamera ve Görüntü İşleme Teknolojisi	21
2.7.3.Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi	22
2.7.4.Sanal Gerçeklik (VR) ve Artırılmış Gerçeklik (AR)	23
2.8.Literatür Çalışması.....	24
2.8.1.Duruş Bozukluklarına Genel Bakış.....	24
2.8.2.Giyilebilir Vücut Duruşu Analizine Genel Bakış	26
2.8.3.Duruş Analizine Yönelik Mevcut Sensör Teknolojileri.....	27
2.8.4.Mikrodenetleyici Tabanlı Ölçüm Sistemleri.....	28
2.8.5.Çoklu Sensör Entegrasyonu Konusunda Önceki Çalışmalar	31
3. TASARIM VE UYGULAMA	33
3.1.Sistem Mimarisi.....	33
3.1.1.İvmeölçer ve Jiroskop Özelliğine Sahip Sensörler	33
3.1.1.1.İvmeölçer (Accelerometer).....	34

3.1.1.2.Jiroskop (Gyroscope):	34
3.1.2.Ergonomik Yelek Tasarımı	34
3.1.3.Mikrodenetleyiciler	35
3.1.4.Bluetooth Haberleşmesi	36
3.1.5.Seri Port Haberleşmesi	37
3.1.6.Mobil Arayüz Uygulamaları	38
3.1.7.Bilgisayar Arayüz Uygulamaları	39
3.1.8.Gömülü Sistemler	39
3.1.9.Gömülü Yazılım	40
3.2.Proje Sistem Temel Bileşenleri	41
3.2.1.Sensör Seçimi ve Entegrasyonu	41
3.2.2.PIC 16F886 Mikrodenetleyici	43
3.2.3.HC 05 Bluetooth Modül	45
3.2.4.FT232RL USB Modül	46
3.3.Tasarım ve Yazılım Uygulama	47
3.3.1.Yelek Tasarımı	47
3.3.2.Devre Tasarımı	48
3.3.3.Kalibrasyon, Açılı Hesaplamaları	50
3.3.4.Mikrodenetleyici Programlama	57
3.3.5.Mobil Uygulama Geliştirme	60
3.4.Projede Kullanılan Haberleşme Protokolleri	63
3.4.1.I2C Seri Haberleşme Protokolü	63
3.4.2.UART	65
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	72
6. KAYNAKLAR	74

EKLER	84
Ek-1 TKA Ölçüm ve Varyans Tablosu.....	85
Ek-2 LLA Ölçüm ve Varyans Tablosu	86
Ek-3 Skolyoz Tespitine İlişkin Ölçüm ve Varyans Tablosu.....	87
Ek-4 Skolyoz Tespitine İlişkin Ölçüm Çıktıları	88



TABLÖLAR LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 Bölge Açı Eşitlik Tablosu	57
Tablo 3.2 Skolyoz Ölçümleri Doğruluk Tablosu.....	57
Tablo EK-1.1 TKA Ölçüm ve Varyans Tablosu	85
Tablo Ek-2.1 LLA Ölçüm ve Varyans Tablosu	86
Tablo Ek-3.1 Skolyoz Tespitine İlişkin Ölçüm ve Varyans Tablosu.....	87
Tablo Ek-4.1 Skolyoz Tespitine İlişkin Ölçüm Çıktıları	88

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Omurga Bölümleri	3
Şekil 2.2 C tipi Skolyoz.....	8
Şekil 2.3 S Tipi Skolyoz.....	8
Şekil 2.4 Lomber Lordoz	10
Şekil 2.5 Torasik Kifoz	12
Şekil 2.6 Torakal Kifoz Açısı.....	15
Şekil 2.7 Lomber Lordoz Açısı	16
Şekil 2.8 Cobb Açısı.....	17
Şekil 3.1 Sistem Akış Şeması.....	33
Şekil 3.2 TKA Geometrik Gösterim.....	54
Şekil 3.3 LLA Geometrik Gösterim	55
Şekil 3.4 Skolyoz Tespiti Sensör Gruplaması	56
Şekil 3.5 Yazılım Akış Şeması.....	60
Şekil 3.6 I2C Haberleşme Şeması	64

DENKLEMLER LİSTESİ

<u>Denklem</u>	<u>Sayfa</u>
Denklem 3.1 Radyan Açı Değeri (RAD).....	53
Denklem 3.2 Derece Açı Değeri (DAD) Dönüşümü	53
Denklem 3.3 TKA Eşitliği	53
Denklem 3.4 LLA Eşitliği	54



RESİMLER LİSTESİ

<u>Resim</u>	<u>Sayfa</u>
Resim 3.1 MPU650 Sensörü	42
Resim 3.2 MPU650 Sensörüne İzolasyon ve Kumaş Bant Uygulaması.....	43
Resim 3.3 HC 05 Bluetooth Modül	45
Resim 3.4 FT232RL USB Modül	47
Resim 3.5 Yelek Ön ve Arka Görünümü	48
Resim 3.6 Devre Tasarımı	49
Resim 3.7 Tasarım PCB Aktarımı	49
Resim 3.8 Devre Kartı Görünümü	50
Resim 3.9 Sensör Test Kod Parçası	51
Resim 3.10 Sensörlerden Ham Veri Okuma Bilgisayar Ekran Görüntüsü	52
Resim 3.11 Ham Sensör Verilerinin Uygulamada Okunması	61
Resim 3.12 Sensör Açılarının Uygulamada Okunması.....	61
Resim 3.13 Mobil Uygulama Kimlik Doğrulama Ekranı	63
Resim 4.1 Model Üzerinde Ölçüm	66
Resim 4.2 Torakal Kifoz Açısı Ölçümü Mobil Uygulama Ekranı	67
Resim 4.3 Lomber Lordoz Açısı Ölçümü Mobil Uygulama Ekranı	67
Resim 4.4 Skolyoz Tespit Ölçümü Mobil Uygulama Ekranı	68

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
----------	-------------

cm	: Santimetre
----	--------------

mSV	: Milisievert
-----	---------------

°	: Derece
---	----------

Kısaltmalar	Açıklamalar
-------------	-------------

ADC	: Analog-to-Digital Converter
-----	-------------------------------

AIS	: Adölesan İdiopatik Skolyoz
-----	------------------------------

API	: Application Programming Interface
-----	-------------------------------------

AR	: Augmented Reality
----	---------------------

AT	: Attention (AT commands)
----	---------------------------

BT	: Bilgisayarlı Tomografi
----	--------------------------

CA	: Cranial Angle
----	-----------------

CDN	: Content Delivery Network
-----	----------------------------

CMOS	: Complementary Metal Oxide Semiconductor
------	---

CVA	: Craniovertebral Angle
-----	-------------------------

COM	: Communication
-----	-----------------

DAD	: Derece Açı Değeri
-----	---------------------

EEPROM	: Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory
--------	---

EMG	: Electromyography
-----	--------------------

FIFO	: First In, First Out
------	-----------------------

FDTI	: Future Technology Devices International
FHP	: Forward Head Posture
FSR	: Force Sensitive Resistor
GPS	: Global Positioning System
GUI	: Graphical User Interface
HMM	: Hidden Markov Model
IC	: Integrated Circuit
IDE	: Integrated Development Environment
IoT	: Internet of Things
I2C	: Inter-Integrated Circuit
I/O	: Input / Output
IMU	: Inertial Measurement Unit
JSON	: JavaScript Object Notation
LIDAR	: Laser Imaging Detection and Ranging
LLA	: Lomber Lordoz Açısı
MR	: Magnetic Resonance
MS-DLD	: Multi-Sensors Based Daily Locomotion Detection
NSAIDs	: Non-steroidal anti-inflammatory drugs
OAuth	: Open Authorization
PCB	: Printed Circuit Board
PIC	: Peripheral Interface Controller
PIN	: Personal Identification Number
PWM	: Pulse Width Modulation
RAD	: Radyan Açısı Değeri
RAM	: Random Access Memory

RISC	: Reduced Instruction Set Computer
ROM	: Read Only Memory
RULA	: Rapid Upper Limb Assessment
SCL	: Serial Clock
SDA	: Serial Data
SDK	: Software Developement Kit
SPI	: Serial Peripheral Interface
SSL	: Secure Sockets Layer
SSP	: Synchronous Serial Port
TKA	: Torakal Kifoz Açısı
UART	: Universal Asynchronous Receiver Transmitter
USB	: Universal Serial Bus
VR	: Virtual Reality

1. GİRİŞ

1.1. Probleme Dair Genel Durum

Günümüzde sağlık ve fiziksel iyilik, yaşam kalitesinin temel taşları olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte; modern yaşam tarzının getirdiği hareketsizlik, yanlış oturma ve durma alışkanlıkları gibi faktörler, vücut postüründe olumsuz değişikliklere yol açabilmektedir. Vücut postürü, insan bedeninin duruşunu, hareketini ve dengesini belirleyen temel unsurlardan biridir ve fiziksel sağlık ve fonksiyonel yeteneklerle yakından ilgilidir (Harvey vd., 2020; Calcaterra vd., 2022).

Vücut postürü analizi, bireyin duruşunu ve hareketlerini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz; postür bozukluklarını belirlemek, kas ve iskelet sistemlerindeki dengesizlikleri tespit etmek ve olası sakatlık risklerini önlemek için önemli bir araç olarak kabul edilir. Ayrıca; spor performansını artırmak, rehabilitasyon süreçlerini yönlendirmek ve ergonomik çözümler geliştirmek için de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Vücut postürü analizinde, çeşitli yöntemler ve teknolojiler kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemler arasında gözlem, elle muayene ve ölçüm yer alırken, son yıllarda geliştirilen dijital postür analiz sistemleri de yaygın olarak kullanılmaktadır (Roggio vd., 2021). Bu sistemler; üç boyutlu modelleme, hareket sensörleri ve görüntü işleme teknolojilerini kullanarak daha detaylı ve objektif veriler sağlamaktadır.

Ayrıca, bu tezde duruş bozuklukları ve buna bağlı hastalıklarda araştırma konusu olmuştur. En önemli noktalardan biri de bozukluğa bağlı hastalıkların tanısı, taraması ve uygulamada tedavi ilerlemesinin izlenmesi adına radyografik görüntüleme yöntemleri kullanıldığı gerçeğidir. (Bess vd., 2016). Bu durumla beraber radyasyona maruz kalma konusu ayrı bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.2. Araştırmanın amacı

Bu çalışmanın amacı; vücut postürü analizinin önemini vurgulamak, kullanılan yöntemleri ve teknolojileri tanıtmak, bireylerin vücut duruşunu tespit etmek ve doğru duruşa teşvik etmektir. Çalışmada; kifoz, lordoz ve skolyoz gibi duruş bozukluklarının giyilebilir mikrodenetleyici tabanlı çoklu sensör ölçüm sistemiyle tespitine yönelik çözümler sunulmaktadır. Ayrıca, duruş bozukluklarını tespit ederken radyolojik girişimleri en aza

indirmek ve tanı için kullanılabilecek nihai bir ürün geliştirmek de amaçlanmaktadır. Bu çalışma, vücut postürü analizi uygulamalarının daha geniş bir kitleye ulaşmasına ve sağlık bilincinin artmasına katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

1.3. Araştırmanın önemi

Doğru postür; fiziksel sağlık, günlük performans ve genel yaşam kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yanlış vücut postürü sadece ağrı ve rahatsızlık hissiyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda kronik sağlık sorunlarına da yol açabilir.

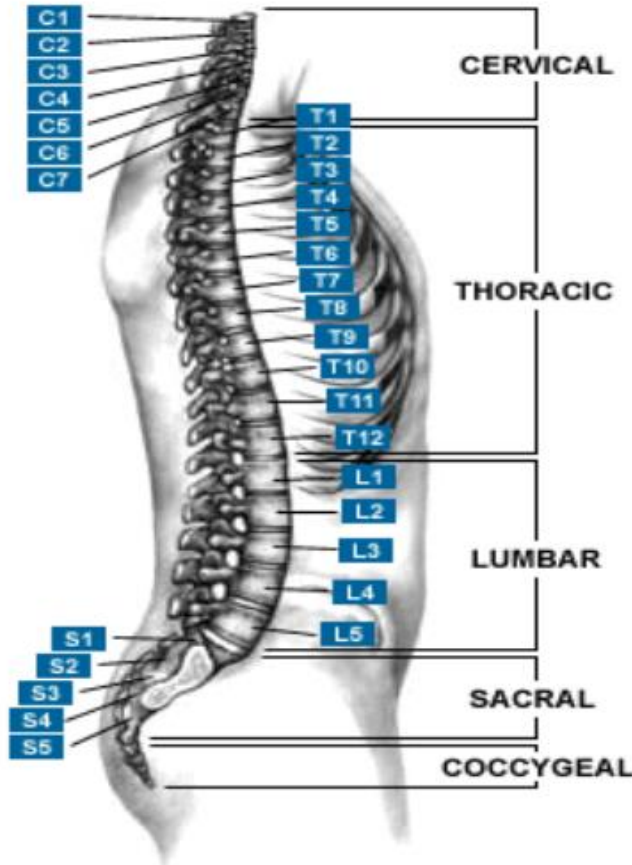
Vücut postürü analizi için geliştirilen teknolojik çözümler; bireylerin postürlerini anlamalarına, izlemelerine ve geliştirmelerine yardımcı olmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu çözümler genellikle giyilebilir cihazlar, kameralar veya sensörler gibi donanımları kullanarak vücut pozisyonunu izler ve analiz eder.

Araştırmanın önemini artıran bir diğer husus, çalışmada yer alan tasarımın duruş bozukluğunun tespiti ve tanısında kullanılan radyografi görüntüleme tekniklerine alternatif olarak kullanılması ya da bu tekniklerin daha az kullanılmasını sağlayarak olası zararlarını azaltmayı amaçlamasıdır.

2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Omurga Yapısı

Omurga yapısı, vertebra adı verilen parçaların birleşmesiyle oluşan kavisli bir yapıdır. Yetişkinlere ait bir omurga 33 adet omur ve bunların arasında yer alan intervertebral disklerden oluşmaktadır. İntervertebral diskler, omurganın presakral bölgesinde bulunmakta ve birinci ve ikinci servikal omurda bulunmamaktadır. Omurga yapısal olarak 7 servikal (cervical), 12 torakal (thoracic) ve 5 lomber (lumbar) omurdan oluşmaktadır. Yetişkin bireylerde, 5 sakral (sacral) omur birleşerek sakrum yapısını, 4 koksigeal (coccygeal) omur birleşerek koksiks denilen bölgeyi oluşturmaktadır. Omurganın toplam uzunluğu yetişkin erkek kişilerde yaklaşık 71 cm iken kadınlarda ise ortalama 61 cm olmaktadır (Kurtoglu, 2015). Omurganın detayları ve kısımları aşağıda (Şekil 2.1) yer almaktadır (Ecerkale, 2006; 8).



Şekil 2.1 Omurga Bölümleri

2.2.Vücut Duruşu (Postür) Analizi

Vücut duruşu analizi, kişinin duruşunu ve vücut mekaniğini değerlendiren bir süreçtir. Bu analiz genellikle fizyoterapistler, egzersiz fizyologları, kişisel antrenörler ve biyomekanik uzmanları tarafından gerçekleştirilir.

Vücut duruşu analizinin temel amacı, kişinin duruşunu ve vücut mekaniğini inceleyerek olası anormallikleri veya postür bozukluklarını belirlemektir. Bu analiz; kişinin hareket etme şekli, duruşu ve kas dengesi gibi faktörleri değerlendirerek sağlıklı bir vücut mekaniği için gereken düzeltmeleri sağlamak amacıyla kullanılır.

Vücut duruşu analizi genellikle görsel değerlendirme, manuel değerlendirme ve teknolojik araçlar kullanılarak yapılır. Görsel değerlendirme, kişinin duruşunu ve hareketlerini çıplak gözle gözlemleyerek gerçekleştirilir. Manuel değerlendirme, belirli kas gruplarının esnekliğini, kuvvetini ve kas dengesini ölçerek yapılır. Teknolojik araçlar ise, özellikle bilgisayar destekli sistemler kullanılarak, kişinin duruşunu ve hareketlerini daha detaylı bir şekilde değerlendirmek için kullanılır. Yapılan bir çalışmada giyilebilir teknolojilerin spinal postür analizinde kullanımını incelemiştir. Giyilebilir cihazlar, kişinin duruşunu sürekli izleyerek postür bozukluklarını erken aşamada tespit etmeye yardımcı olur (Simpson vd., 2019). Bu yöntemlerle kalıcı bozuklukların tespiti de mümkündür.

Vücut duruşu analizi, spor performansını artırmak, sakatlanma riskini azaltmak, ağrıları azaltmak ve postür bozukluklarını düzeltmek gibi çeşitli alanlarda kullanılır. Szabó vd. (2024) genç yüzücülerde postür tedavisinin etkisini inceleyen bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma, yüzücülerde uygulanan postür düzeltme programının, omuz ağrısı insidansını ve şiddetini azalttığını göstermektedir. Bu sonuçlar, doğru postürün korunmasının biyomekanik açıdan daha sağlıklı bir duruş sağladığını ve yaralanmaları önlemeye yardımcı olduğunu ortaya koymaktadır. Vücut duruşu analizinin sonuçları, kişinin duruşunda ve vücut mekaniğinde tespit edilen anormalliklere dayanarak yapılır. Postür bozuklukları; kişiye özel egzersiz programları, fizyoterapi seansları, postür düzeltici cihazlar veya ergonomik ayarlamalar gibi yöntemlerle düzeltilebilmektedir.

2.2.1. Postür

Postür, bir kişinin vücut pozisyonu veya duruşunu ifade eden bir terimdir. Başka bir deyişle; postür, bir kişinin duruşunun doğruluğu, denge ve uygunluk gibi unsurlarıyla ilgilidir. Doğru bir postür, vücudun denge noktalarının uygun bir şekilde hizalanması şeklinde tanımlanabilir. Bu; baş, omuzlar, sırt, kalça ve ayaklar gibi ana bileşenlerin belirli bir düzen içinde yer alması ve uyumlu bir şekilde hareket etmesiyle sağlanır.

İyi bir postür; kas ve iskelet sisteminin dengeli bir şekilde çalışmasını sağlar, ağrı ve yaralanma riskini azaltır, fiziksel görünümü iyileştirir ve özgüveni artırır. Kötü postür ise, kas zorlanması, eklem ağrısı, sırt ve boyun problemleri gibi sağlık sorunlarına yol açabilir.

Postür; genellikle omurga eğriliği, omuzların düzgünlüğü, kalça hizası ve ayakların yerleşimi gibi faktörlerle değerlendirilir. Omurganın fizyolojik kıvrımlarını değiştirmekle ilişkili duruş bozukluklarının ortaya çıkması, sağlık durumunu kötüleştirir (Zavalishina vd., 2021).

Doğru bir postür elde etmek ve sürdürmek için vücut bilinci, düzenli egzersiz ve uygun hareket alışkanlıkları önemlidir.

2.2.2. Vücut Duruşu Analizinin Önemi

Vücut duruşu analizi, doğru bir vücut duruşu sağlamak, birçok açıdan fayda sağlar. Bunların başında birey sağlığı gelir. İyi bir vücut duruşu; kas ve iskelet sisteminin doğru şekilde çalışmasını sağlar, böylece ağırları azaltarak fiziksel ve ruhsal sağlığını sağlar ve olası düşme ve buna bağlı yaralanma riskini azaltır.

Ayrıca doğru duruş, sporcular adına spor performansını artırabilir ve bireylerin günlük aktiviteleri daha etkili bir şekilde yerine getirmeyi sağlar.

2.2.3. Vücut Duruşu Analiz Yöntemleri

Vücut duruşu analizi birçok yöntemi olmasıyla beraber genellikle aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır.

Görsel Değerlendirme: Kişinin duruşu, omurga eğriliği, omuzların pozisyonu, kalça hizası ve ayakların yerleşimi gözlemlenir. Görsel değerlendirme yöntemi klinisyenlerin en çok tercih ettiği yöntemdir (Shamim vd., 2023).

Fonksiyonel Testler: Kişiyi belirli hareketleri yapması istenir ve bu hareketler sırasında herhangi bir kısıtlama veya dengesizlik belirtisi aranır.

Postür Analizi Araçları: Bazı durumlarda, ölçüm cihazları veya bilgisayar destekli analiz programları kullanılabilir. Bu araçlar, vücudun pozisyonunu nesnel bir şekilde değerlendirmeye yardımcı olur

2.2.4. Vücut Duruşu Analizi Yapılan Bireyler

Vücut duruşu analizi, her yaş grubundan ve her aktivite seviyesinden insanlar için faydalıdır. Ancak, belirli meslek grupları ve hastalar için özellikle önemlidir.

Örnek vermek gerekirse sporcular performanslarını artırmak ve yaralanma riskini azaltmak amacıyla düzenli olarak vücut duruşu analizi yaptırmalıdır. Duruş analizi, duruşun spor performansı üzerindeki etkilerini ve sporcunun sahte patolojik eğrileri telafi etmek için duruşu değiştirme ve düzeltme yeteneğini anlamaya yardımcı olur (Napolitano & Ascione, 2017).

Ofis çalışanlarında kötü ergonomik duruş, sık sık kas-iskelet sistemi ağrılarına ve rutin ofis ve ev işlerinin yürütülmesinde zorluklara neden olur (Riaz vd., 2022). Uzun süre masa başında çalışan ofis çalışanları ise, kötü duruş alışkanlıklarına bağlı ağrıları önlemek ve olası rahatsızlıkların önüne geçmek için bu analizi yaptırmalıdır.

Ayrıca, sakatlanmış veya cerrahi operasyon geçirmiş rehabilitasyon hastalarının iyileşme sürecini hızlandırmak için vücut duruşu analizi uygulanması faydalıdır.

Vücut duruşu analizi; sağlık, performans ve genel refah için önemli bir araçtır. Doğru bir duruş, kişinin fiziksel ve zihinsel sağlığını geliştirirken, aynı zamanda kendine güvenini artırır. Herkesin düzenli olarak vücut duruşunu kontrol ettirmesi ve gerekirse düzeltici önlemler alması önemlidir. Bu, uzun vadeli sağlık ve refah için kritik bir adımdır.

2.3.Duruş Bozuklukları

Duruş bozuklukları, genellikle fiziksel ya da psikolojik nedenlerden kaynaklanabilir. Lordotik, kifotik, düz sırt ve sallanma duruşları gibi sagittal düzlemdeki yapısal olmayan vücut duruşu yanlış hizalamaları, fonksiyonel bozulmaya ve destekleyici yapılar üzerinde artan gerilime yol açabilmektedir (Czaprowski vd., 2018). Duruş bozuklukları, kişinin yaşam kalitesini olumsuz etkileyebilir ve uzun vadede ciddi sağlık sorunlarına yol açar.

Doğru duruş alışkanlıklarının kazanılması, düzenli egzersiz yapılması ve ergonomik çözümlerin benimsenmesi, duruş bozukluklarının önlenmesinde önemli rol oynar. Ayrıca, cerrahi müdahale gerektirmeyen bozukluklarda uzman bir fizyoterapist veya doktorun yönlendirmesiyle yapılan egzersiz ve tedavilerle duruş bozukluklarının düzeltilmesine yardımcı olur.

2.3.1. Skolyoz

Skolyoz, omurganın yanlış hizalanmasıyla karakterize edilen bir durumdur. Skolyoz, omur gövdelerinin yanal yer değiştirmesi ve dönmesinden kaynaklanır (Koumbourlis, 2006). Bu durumda omurga, normal hizasından saparak yana doğru eğilir.

Skolyoz, koronal düzlükte Cobb açısı 10°'den fazla olan, ağırlıklı olarak sırt ağrısı semptomlarına neden olan ve çeşitli nörolojik defisitlerle ortaya çıkan bir omurga deformitesidir (Aebi, 2005). Eğrilik, omurga üzerinde C veya S şeklinde olabilir ve genellikle ergenlik döneminde ortaya çıkar.

Skolyozun belirtileri, omurga eğriliğinin derecesine ve kişinin yaşına, cinsiyetine ve genel sağlık durumuna bağlı olarak değişebilir. Belirtiler arasında omurga üzerinde belirgin bir eğrilik, omuzların veya kalçaların asimetrik oluşu, bel ağrısı, yorgunluk ve solunum zorluğu bulunmaktadır. Kaburga hareketlerinin bozulması ve nefes alma çabasının artması, potansiyel olarak kronik solunum yetmezliğine yol açar (Koumbourlis, 2006).



Şekil 2.2 C tipi Skolyoz



Şekil 2.3 S Tipi Skolyoz

Skolyozun nedenleri çeşitlidir ve bunlar arasında doğuştan gelen anomaliler, kas zayıflığı veya felci, omurga yaralanmaları, nöromusküler durumlar ve nadiren de olsa tümörler bulunur. Ergenlik döneminde ortaya çıkan skolyozun nedeni genellikle bilinmemekle birlikte, genetik faktörlerin etkisi olduğu düşünülmektedir. Erken başlangıçlı skolyoz için tedaviler arasında destek, alçılama, halo-yerçekimi traksiyonu ve fizyoterapi yer alır (Zhang & Zhang, 2020). Erken teşhis, skolyozun ilerlemesini durdurmak veya en azından

kontrol altında tutmak için önemlidir. Bu nedenle, ergenlik döneminde düzenli doktor kontrolü önemlidir.

Skolyozun tedavisi; omurga eğriliğinin derecesine, yaşa, sağlık durumuna ve semptomlara bağlı olarak değişir. Hafif vakalarda, düzenli doktor kontrolü ve omurga eğriliğinin izlenmesi yeterli olabilir. Orta ve şiddetli vakalarda, korse tedavisi veya cerrahi müdahale gerekebilir. Korse, omurga eğriliğini kontrol etmeye ve ilerlemesini durdurmaya yardımcı olabilir. Cerrahi müdahale ise omurganın düzeltilmesi ve sabitlenmesini amaçlamaktadır. Her iki tedavi seçeneği de belirli riskleri içermektedir ve cerrahi müdahale genellikle son çare olarak tercih edilir.

Skolyoz olan bireylerin yaşam tarzında bazı değişiklikler yapması da önerilir. Düzenli egzersiz, omurga kaslarını güçlendirebilir ve omurga eğriliğinin kontrol altında tutulmasına yardımcı olabilir. Yoga, yüzme ve pilates gibi aktiviteler skolyoz belirtilerini hafifletebilir. Ayrıca, ergonomik oturma düzenlemeleri, düzgün postür alışkanlıkları ve ağırlık kontrolü gibi önlemler de skolyozun olumsuz etkilerini azaltabilir.

Erken teşhis ve uygun tedavi ile skolyozun ilerlemesi kontrol altında tutulabilir. Skolyozun belirtilerini hafifletmek ve yaşam kalitesini artırmak için yaşam tarzı değişiklikleri ve tedavi seçenekleri önemlidir.

2.3.2. Lordoz

Lordoz, omurganın normalden fazla içe doğru eğriliği olarak tanımlanan bir durumdur. Bu eğrilik genellikle boyun (servikal lordoz) veya bel (lomber lordoz) bölgelerinde oluşur. Omurga, doğal olarak belirli bir eğriliğe sahiptir, ancak lordozda bu eğrilik normalden daha fazla olduğu durumlar için ortaya çıkar. Vücudun dengesini sağlaması açısından omurga sağlığı için önemlidir. Ancak, lordoz bozukluğunun aşırı derecede olması durumunda ağrı ve diğer sorunlara neden olabilir.

Belirtiler arasında bel ağrısı, sırt ağrısı, kas zorlanması, duruş bozuklukları ve hareket kısıtlılığı yer almaktadır. Bununla birlikte belirli durumlarda sinir sıkışması ve sinirle ilgili rahatsızlıklara da yol açabilir. Örneğin; lumber lordozda sinir sıkışması, kişinin bacaklarında uyuşma, karıncalanma ve his kaybı gibi sorunlara yol açabilir.

Lordozun birden fazla nedeni vardır. Bunlar arasında kas dengesizlikleri, omurga yaralanmaları, aşırı kilo, hamilelik, osteoporoz gibi kemik hastalıkları ve belirli durumlarda genetik faktörler bulunur. Lomber lordozun azalması ve torasik kifozun artması; omurga sağlığını ve vücut dengesini etkileyen, yaşlanan insan omurgasının ayırt edici özellikleridir (Sparrey vd., 2014). Ayrıca, uzun süreli yanlış duruş alışkanlıkları da lordoz gelişimine sebep olabilir. Örneğin, uzun süreli masa başında oturmak veya ağır yükler kaldırmak lordoz riskini artırabilir.



Şekil 2.4 Lomber Lordoz

Lordozun tedavisi, durumun nedenine ve semptomların şiddetine bağlı olarak değişebilmektedir. Hafif vakalarda, düzenli egzersiz ve duruş düzeltme egzersizleri lordoz şikayetini yönetmeye yardımcı olabilmektedir. Omurga esnekliğini artıran ve dengesini sağlayan egzersizler özellikle bu durumda faydalı olabilmektedir. Pilates egzersizleri

lomber lordozu düzeltebilmekte ve bel eğriliğinde azalmaya sağlamaktadır (Okhli vd., 2019). Ayrıca fizik tedavi, lordozu hafifletmeye ve omurga kaslarını güçlendirmeye yardımcı olabilmektedir.

Daha ciddi vakalarda, korseler ve destekleyici ekipmanlar kullanılabilmektedir. Özellikle gençlerde, korseler omurgayı olması gerektiği doğrulukta hizalamaya yardımcı olmakta ve ilerlemeyi durdurabilmektedir. Nadiren de olsa bu seviyede cerrahi müdahale gerekebilmektedir. Cerrahi müdahale, omurga eğriliğini düzeltmeyi ve sabitlemeye yöneliktir.

Tüm hastalıklarda olduğu gibi erken teşhis ve uygun tedavi ile lordozun olumsuz etkilerini yönetilebilir hale getirmekte ve yaşam kalitesi artırılabilir.

2.3.3. Kifoz

Kifoz, omurganın normalden fazla dışa doğru eğriliği olarak tanımlanan bir durumdur. Omurga genellikle boyun (servikal kifoz) veya üst sırt (torasik kifoz) bölgesinde doğal bir eğriliğe sahiptir, ancak kifoz oluştuğunda bu eğrilik aşırı derecede artar. Kifoz, omurga sağlığı için önemlidir çünkü vücudun denge ve destek sağlamasına yardımcı olur. Ancak aşırı derecede olması durumunda estetik kaygılar ve işlev bozukluklarına neden olabilir.

Belirtiler arasında sırtta yuvarlanma, kamburluk, omuzların öne doğru düşmesi, bel ve boyun ağrısı, nefes darlığı ve sindirim sorunları yer alır. Ayrıca, kifozun belirli durumları sinir sıkışması ve sinirle ilgili şikayetleri de beraberinde getirebilir. Örneğin; torasik kifozda sinir sıkışması, kollarda uyuşmaya, karıncalanmaya ve his kaybına neden olabilir.

Kifozun birden fazla nedeni olabilir: Travma, gelişimsel anomaliler, dejeneratif disk hastalığı, inflamatuvar hastalıklar, enfeksiyon hastalıkları ve iyatrojenik nedenlere bağlı olarak kifoz gelişebilir (Yaman & Dalbayrak, 2014). Ayrıca osteoporoz gibi kemik hastalıkları, yaşlılık, omurga yaralanmaları, kas zayıflığı, duruş bozuklukları, kemik enfeksiyonları ve bazı nöromüsküler durumlar da nedenleri arasında bulunur. Genetik faktörler de kifoz oluşumunda rol oynayabilmektedir.

Kifozun tedavisi, durumun nedenine, semptomların şiddetine ve kişinin yaşına bağlı olarak değişir. Hafif vakalarda, düzenli egzersiz ve duruş düzeltme egzersizleri kifozu yönetmeye ve düzeltmeye yardımcı olabilir. Yapılan bir çalışmada, 3 aylık kifoz egzersizi ve duruş

eğitimi ile hiperkifoza lu yaşlı erişkinlerde, kifoza ilerlemesini durdurduğu ve lordoza iyileştirdiği görülmüştür (Katzman vd., 2021). Benzer şekilde başka bir çalışmada, 6 ay boyunca yapılan omurga güçlendirici egzersiz ve duruş eğitimi yaşlı yetişkinlerde kifoza azalttığı görülmüştür (Katzman vd., 2017).



şekil 2.5 Torasik Kifoza

Daha ciddi vakalarda, korseler ve destekleyici ekipmanlar kullanılabilir. Korseler, omurga eğriliğini kontrol etmeye ve ilerlemesini durdurmaya yardımcı olmaktadır. Nadiren, cerrahi müdahale gerekebilmektedir. Cerrahi, omurga eğriliğini düzeltmeyi ve sabitlemeyi amaçlamaktadır fakat cerrahi tedavi genellikle belirli riskleri içerdiği için son  are olarak tercih edilmektedir.

Erken teşhis ve uygun tedavi yöntemiyle kifoza nın şikayetleri kontrol altına alınabilmektedir ve kişinin yaşam kalitesini artırabilecek uygulamalar yapılabilmektedir.

2.3.4. İleri Kafa Duruşu

İleri kafa duruşu, baş ve boyunun normalden öne doğru eğilmiş bir şekilde konumlanmasıyla karakterize edilen bir durumdur. Özellikle uzun süre bilgisayar, telefon veya tablet gibi cihazları kullanan kişilerde sıkça görülen bir sorundur. İleri kafa belirtisi, teknoloji kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte daha sık karşılaşılan bir problemdir ve uzun süreli yanlış pozisyonlarda duruş alışkanlığı olan kişilerde ortaya çıkabilir.

İleri kafa belirtisinin başlıca nedenleri arasında teknoloji kullanımı gelmektedir. Uzun süre bu cihazları kullanmak, başın öne doğru eğilmesine ve ileri kafa belirtisinin oluşmasına neden olabilir. Ergonomik faktörler de önemli bir rol oynar. Kötü masa ve sandalye düzenlemeleri, yüksek monitör seviyeleri veya yastıksız uyuma gibi faktörler ileri kafa rahatsızlığının gelişimine katkıda bulunabilir. Ayrıca, zayıf boyun kasları da başın doğru pozisyonda tutulmasını zorlaştırabilir ve ileri kafa şikayetlerinin ortaya çıkmasına neden olabilir.

Psikolojik faktörler de ileri kafa belirtisinin gelişiminde etkili olabilir. İleri kafa, üst sırtta gerginlik ve kas spazmlarına neden olur ve boyun ağrısına yol açar (Arooj vd., 2022). Stres ve anksiyete gibi duygusal ve ruhsal faktörler, kas gerginliğine ve yanlış duruş alışkanlıklarına neden olabilir, bu da ileri kafa rahatsızlığının ortaya çıkmasına yol açabilir.

İleri kafa belirtisinin tedavisi genellikle multidisipliner bir yaklaşım gerektirir. Fizyoterapistler veya uzman doktorlar tarafından verilen duruş eğitimi, doğru oturma ve yürüme teknikleri ileri kafa şikayetlerinin düzeltilmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, boyun ve omuz kaslarını güçlendirmeye yönelik egzersizler, ileri kafa şikayetlerinin tedavisinde önemli bir rol oynar. Masaj ve manuel terapi seansları, kas gerginliğini azaltabilir ve duruşun düzeltilmesine yardımcı olabilir.

Kişinin tedavilerin yanı sıra çalışma ortamında ergonomik değişiklikler yaparak doğru oturma ve çalışma pozisyonlarını benimsemesi önemlidir. Ayrıca günlük hayatta cihaz kullanımında düzenli molalar vermek, başın sürekli olarak öne doğru eğilmesini önleyebilir ve ileri kafa rahatsızlığının oluşumunu engelleyebilir.

2.3.5. Boyun Düzleşmesi

Boyun düzleşmesi, boyun omurgasının normalden daha düz veya düzleşmiş bir şekilde görünmesine ve fonksiyonlarında kısıtlamalara neden olan bir durumdur. Bu durum, omurga eğriliğinin düzleşmesi veya kaybolmasıyla meydana gelir. Belirtileri arasında boyun ağrısı, sertlik, boyun hareketlerinde kısıtlılık, baş ağrısı, omuz ve üst sırt bölgesinde ağrı, gerginlik, uyuşma veya karıncalanma hissi, ellerde ve kollarda kuvvet kaybı ve baş dönmesi yer alır.

Boyun düzleşmesinin birçok nedeni vardır. Boyun düzleşmesi ağrı ve sakatlık ile ilişkilidir ve nedenleri arasında fibromiyalji sendromu, gerilim tipi baş ağrısı, servikal spondiloz, servikal disk herniasyonu, miyofasyal ağrı sendromu, anksiyete ve depresyon yer alır (Demirel & Adak, 2022). Ayrıca yaşlanma, omurga disklerinin yıpranması ve azalan esneklik gibi faktörler bu duruma yol açabilir. Ayrıca, kalıtsal faktörler, osteoporoz gibi kemik hastalıkları, yanlış duruş alışkanlıkları ve travmatik olaylar da boyun düzleşmesine katkıda bulunabilir.

Tedavi genellikle multidisipliner bir yaklaşım gerektirir. Fizik tedavi ve egzersizler, boyun ve sırt kaslarını güçlendirmek ve ağrıyı yönetmek için önemlidir. Fizyoterapistler, özel egzersiz programları ve manuel terapi teknikleri uygulayarak bu sürece katkıda bulunabilirler. Ağrı yönetimi için non-steroid anti-inflamatuar ilaçlar (NSAIDs), kas gevşetici ilaçlar veya ağrı kesiciler kullanılabilir.

Masaj terapisi, kasları rahatlatmaya ve dolaşımı artırmaya yardımcı olarak boyun düzleşmesi şikayetlerini hafifletebilir. Doğru duruş alışkanlıklarının benimsenmesi, tedavi sürecini destekleyebilir.

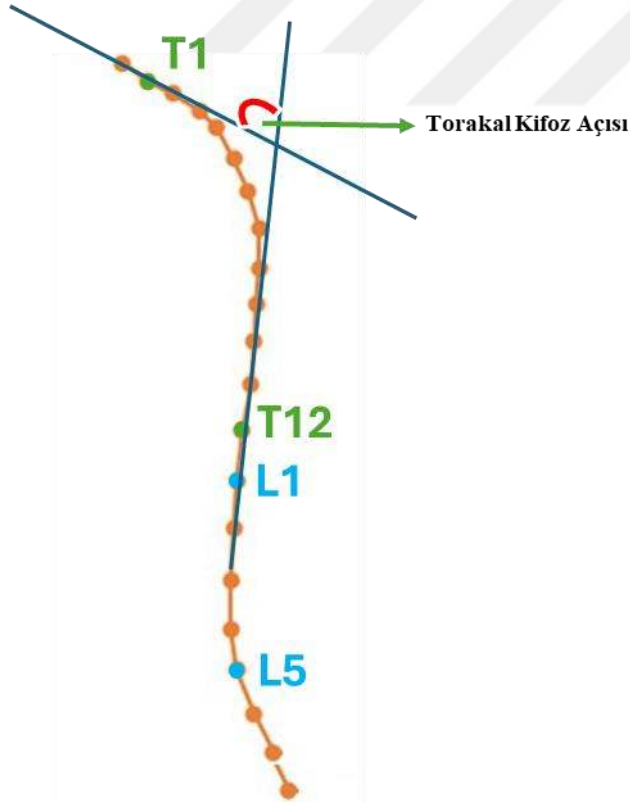
Cerrahi müdahale nadiren gereklidir ve belirgin semptomlara veya omurga sinirlerine baskıya neden olan ciddi durumlarda düşünülmelidir. Cerrahi seçenekler arasında boyun füzyon cerrahisi veya diskektomi gibi uygulamalar bulunmaktadır. Bu tedavi seçenekleri genellikle belirli semptomları hafifletmek ve omurgayı stabilize etmek için kullanılır.

2.4.Duruş Bozukluklarının Açısal Olarak Ölçümü

Kifoz, lordoz ve skolyozun açısal olarak ölçülmesi için genellikle radyografi tekniğiyle görüntülenmesi kullanılmaktadır. Her bir durum için farklı ölçüm yöntemleri kullanılabilmektedir.

2.4.1. Kifoz Açı Ölçümü

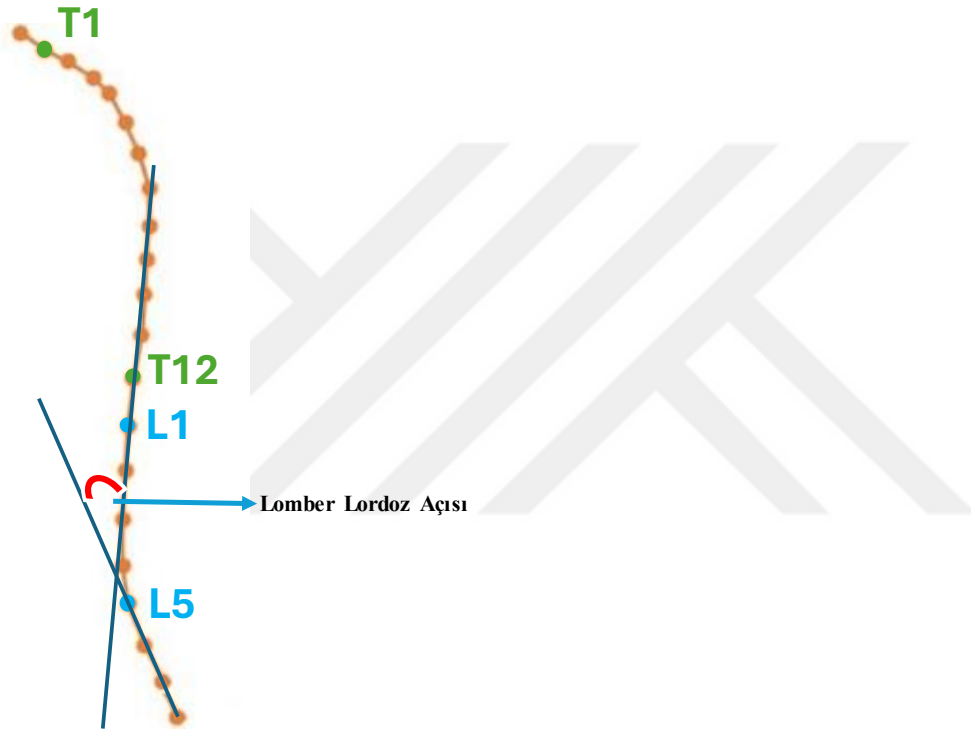
Kifozun açısını ölçmek için en yaygın kullanılan yöntem Cobb açısıdır (Sadiqi vd., 2017). Bu açı, omurganın belirli bir bölgesindeki eğri iki omur arasındaki en büyük açıyı ölçer. Ölçüm, bir omurun üst yüzeyinin en yüksek noktasından ki bu nokta genellikle eğrinin başlangıcı olarak kabul edilir ve bir sonraki omurun alt yüzeyinin en düşük noktasından yani eğrinin sonu olarak kabul edilen noktaya çizilen iki çizgi arasındaki açıyla belirlenmektedir.



Şekil 2.6 Torakal Kifoz Açısı

2.4.2. Lomber Lordoz Açı Ölçümü

Lordozun açısını ölçmek için de genellikle Cobb açısı kullanılmaktadır (Russell vd., 2020). Lordozda ölçüm omurganın boyun (servikal lordoz) bölgesinde ve bu çalışmanın konusu olan omurganın bel (lomber lordoz) bölgesinde yapılır. Yine, omurganın en eğri iki omuru arasındaki en büyük açı ölçülür.

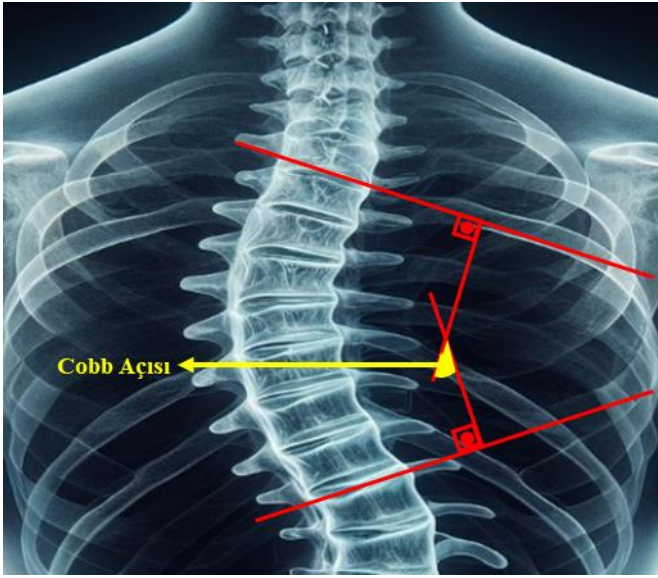


Şekil 2.7 Lomber Lordoz Açısı

2.4.3. Skolyoz Açı Ölçümü

Skolyoz eğriliğini kantitatif olarak değerlendirmek için standart eğrilik tahmin yöntemi, ilgili vertebrae'nin üst ve alt uç plakalarına dik olarak çizilen iki çizgi arasındaki açı olan Cobb açısının ölçülmesidir (Horng vd., 2019). Skolyozun ölçümü, kifoz ve lordoz gibi diğer omurga eğriliği durumlarından farklı bir yöntemle dayanır. Bu ölçüm, omurganın eğriliğinin derecesini belirlemek için kullanılır, omurlar arasındaki açıları kapsamamaktadır. Skolyoz eğrisinin derecesi, omurganın düzleşmesine göre ölçülür. Bu ölçüm genellikle skolyozun en belirgin olduğu noktalarda gerçekleştirilir ve özel yazılım veya cetveller kullanılarak belirlenir.

Bu ölçümler, omurganın durumunu değerlendirmek ve tedavi planını oluşturmak için hayati öneme sahiptir. Her durum için doğru ölçüm yönteminin kullanılması, hastanın durumunu tam olarak anlamak ve etkili tedavi stratejileri geliştirmek için kritiktir. Bu nedenle, ölçümler genellikle bir ortopedik cerrah veya radyolog tarafından doğru bir şekilde yapılır ve yorumlanır. Bu yaklaşım, hastaların skolyoz tedavisinde en iyi sonuçları elde etmelerini sağlamak için gereklidir.



Şekil 2.8 Cobb Açısı

2.5.Çoklu Sensörlerin Entegrasyonu

Çoklu sensör entegrasyonu, farklı sensörlerden veya kaynaklardan gelen bilgileri birleştirerek bir sistemin genel anlayışını veya performansını artırmayı amaçlayan bir süreçtir. Özellikle robotik, otonom araçlar, navigasyon sistemleri ve çevresel izleme gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır. Bu süreç, çevredeki ortam veya sistemin kendisi hakkında farklı türde veriler toplamak için birden fazla sensörün kullanılmasını içerir.

Çoklu sensör entegrasyonunun amacı, farklı sensörlerin güçlü yönlerinden yararlanırken zayıflıklarını veya sınırlamalarını telafi etmektir. Birden fazla sensörden gelen verilerin birleştirilmesiyle elde edilen bilgiler, tek bir sensörün elde edebileceğinden daha kapsamlı, doğru ve güvenilir hale gelir.

LIDAR ve diğer sensör verileri gibi sensör füzyon teknikleri, robot konumlandırma ve navigasyonun doğruluğunu artırabilmektedir (Li vd, 2020). Çoklu sensör simülasyon ortamı; kamera, kızılötesi, LiDAR ve radarı birleştirerek otonom araçlar için çevresel algıyı ve engel algılama doğruluğunu artırır (Song vd., 2019). Yapılan çalışmalardan da anlaşılabacağı üzere otonom sürüş sistemlerinde engelleri tespit etmek, araç konumunu belirlemek ve yol koşullarını analiz etmek için kameralar, LIDAR, radar ve GPS gibi çeşitli sensörler kullanılır. Araç, bu farklı sensörlerden gelen verileri bütünleştirerek daha bilinçli kararlar alabilir ve karmaşık ortamlarda güvenle gezinebilir.

Çoklu sensör entegrasyonu, genellikle veri füzyonu ile başlar. Bu adımda, farklı sensörlerden alınan ham veriler veya ölçümler, bütünleşik bir gösterimde birleştirilir. Ardından, sensör kalibrasyonu yapılır. Farklı sensörlerden gelen verilerin uygun şekilde hizalanması ve senkronize edilmesi sağlanır. Sonrasında hata işleme adımı gelir, burada sensör gürültüsü veya sapmaları gibi hatalar belirlenir ve azaltılır.

Entegrasyon mimarisi tasarımı, verileri verimli bir şekilde yönetmek ve işlemek için bir sistem mimarisi veya çerçevesi tasarlamayı içerir. Son olarak, geri bildirim ve adaptasyon adımıyla süreç sürekli iyileştirilir ve geliştirilir.

Tüm bu adımların ardından çoklu sensör entegrasyonu, çeşitli sistemlerin yeteneklerini ve performansını artırarak çevreye ilişkin daha kapsamlı bir anlayış sağlar ve daha sağlam karar alma süreçlerini mümkün kılar.

2.6.Mikrodenetleyici Seçimi ve Konfigürasyonu

Mikrodenetleyici seçimi ve konfigürasyonu, gömülü sistemlerin tasarımında temel bir adımdır. Bir mikrodenetleyici, birçok uygulama için ideal bir seçenek olabilir ancak projenin gereksinimlerine en uygun olanı seçmek önemlidir. İyi bir mikrodenetleyici seçimi, projenin başarısı için kritik öneme sahiptir ve bu süreçte bazı önemli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

İlk olarak, projenin gereksinimlerini belirlemek önemlidir. Hangi tür sensörlerin veya cihazların kullanılacağı, işlem gücü gereksinimleri, bağlantı seçenekleri ve enerji tüketimi gibi faktörler göz önüne alınmalıdır (Bhavsar, 2020). Bu gereksinimler belirlendikten sonra, uygun bir mikrodenetleyici seçmek daha kolay olacaktır.

Mikrodenetleyici seçerken dikkate alınması gereken diğer bir faktör, geliştirme ortamı ve desteklenen programlama dilleridir. Gömülü sistem tasarımında belirli bir mikro denetleyiciyi seçerken yazılım araçlarının kullanılabilirliği genellikle en önemli konudur (Maguire vd.,1999). Projeye uygun bir geliştirme ortamı seçmek, yazılımın hızlı ve verimli bir şekilde geliştirilmesini sağlayabilir. Ayrıca, mikrodenetleyicinin sunduğu bileşenlerin ve donanım özelliklerinin projeye uygunluğu da göz önünde bulundurulmalıdır.

Konfigürasyon aşamasında, seçilen mikrodenetleyicinin belirlenen gereksinimleri karşılayacak şekilde yapılandırılması önemlidir. Bu; doğru bileşenlerinin etkinleştirilmesi, giriş/çıkış pinlerinin atanması ve enerji tüketiminin optimize edilmesi gibi adımları içermektedir. Bir mikrodenetleyici, çeşitli bileşenlerle donatılmıştır; bu bileşenler arasında analog-dijital dönüştürücüler (ADC), seri iletişim arabirimleri (UART, SPI, I2C), zamanlayıcılar (timer), kesme denetleyicileri (interrupt controller), darbe genişlik modülasyonu (PWM) birimi ve diğer çeşitli giriş/çıkış (I/O) pinleri gibi bileşenler bulunabilmektedir.

Bileşenler, genellikle yazılım tarafından etkinleştirilmesi ve yapılandırılması gereken donanım birimleridir. Örneğin, bir ADC'yi etkinleştirmek ve yapılandırmak, analog sinyallerin mikrodenetleyici tarafından okunabilmesini sağlar. UART bileşeninin etkinleştirmek ise seri iletişim bağlantısı kurulmasına olanak tanır.

Projenin gereksinimlerine uygun olan bileşenin seçilmesi ve bunların mikrodenetleyici üzerinde yazılım tarafından doğru şekilde yapılandırılması anlamına gelir ki aynı zamanda bu aşama, gereksiz bileşenlerin etkinleştirilmemesi ve projenin gereksinimlerini karşılayacak şekilde yalnızca gerekli olanların etkinleştirilmesi anlamına gelir. Bu, sistem kaynaklarının verimli kullanımını sağlar ve genellikle güç tüketimi, hız ve bellek kullanımı gibi performans metriklerini iyileştirir.

Özetlemek gerekirse mikrodenetleyici seçimi ve konfigürasyonu, gömülü sistem tasarımının önemli bir parçasını oluşturur. Doğru mikrodenetleyiciyi seçmek ve en uygun şekilde yapılandırmak, projenin başarılı bir şekilde tamamlanmasını sağlar ve sistem performansını artırabilmektedir. Bu nedenle, bu adımların dikkatlice ve özenle yapılması önem arz etmektedir.

2.7.Vücut Postür Analizinde Genel Çözüm Yöntemleri

Vücut postür analizi için geliştirilen teknolojik çözümler genellikle kişinin duruşunu, hareketlerini ve vücut pozisyonunu değerlendirmek için kullanılır.

Bu çözümlerden biri giyilebilir sensörlerdir. Küçük sensörler veya cihazlar, giyilen kıyafetlere veya vücudun belirli noktalarına takılır. Bu sensörler, kişinin hareketlerini izlemektedir ve postürü hakkında veri toplamaktadır (Yin vd.2019).

Başka bir çözüm yöntemi kamera ve görüntü işleme teknolojisidir. Bu yöntemde kamera sistemleri ve görüntü işleme algoritmaları, kişinin hareketlerini gerçek zamanlı olarak izleyebilmekte ve postür analizi için veri sağlamaktadır (Ancans vd., 2021; Maudsley-Barton vd., 2020).

Konuya ilişkin bir başka çözüm yöntemi ise yapay zekâ ve makine öğrenimidir. Yapay zekâ ve makine öğrenimi algoritmaları, toplanan verileri analiz ederek kişinin postürünü değerlendirebilir ve olası problemleri veya düzeltilebilecek alanları belirlenir (Ramanujam vd., 2021; Byeon vd., 2020).

Genel çözüm yöntemlerinden bir diğeri hareket takip sistemleridir. Kinect gibi hareket takip sistemleri, kişinin vücut hareketlerini algılar ve analiz eder. Bu sistemler genellikle oyunlar için geliştirilmiş olsa da postür analizi gibi sağlık uygulamalarında da kullanılmaktadır (Bawa vd., 2021; Liu vd., 2020).

Diğer bir çözüm yöntemi sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) teknolojisidir. VR ve AR teknolojileri, kişinin sanal bir ortamda veya gerçek dünyada postürünü izlemek ve analiz etmek için kullanılmaktadır (Morimoto vd.,2022). Bu teknolojiler; ergonomi, spor performansı izleme, fizyoterapi ve sağlık uygulamaları gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Soltani & Morice, 2020; Akıncı vd., 2023). Özellikle ofis ortamlarında veya spor salonlarında postürün düzeltilmesi ve sakatlıkların önlenmesi için bu tür teknolojik çözümler oldukça fayda sağlamaktadır.

2.7.1. Giyilebilir Sensörler

Giyilebilir sensörler, vücut üzerine takılan küçük cihazlardır ve genellikle hareketi, aktiviteyi veya belirli fizyolojik parametreleri izlemek için kullanılırlar. Bu sensörler,

birçok farklı form faktörüne sahip olabilmektedir ve genellikle giyilen kıyafetlere veya doğrudan vücut üzerine takılmaktadır (Gao vd., 2020; Lawal & Bano 2020).

İşlevselliklerine bağlı olarak, giyilebilir sensörler şu şekilde sınıflandırılabilir;

Hareket Sensörleri: Hareket sensörleri, vücut hareketlerini algılamak ve izlemek için kullanılır. IMU (Inertial Measurement Unit) gibi sensörler; ivme, açısal hız ve bazen manyetik alan verilerini ölçerek kişinin hareketlerini izleyebilmektedir.

Kalp Atışı ve Nabız Sensörleri: Bu sensörler, kişinin kalp atış hızını ve nabzını ölçmek için kullanılmaktadır. Optik sensörler genellikle bu amaçla kullanılmakta ve cilt temasıyla çalışmaktadır.

Deri ve Vücut Sıcaklığı Sensörleri: Deri veya vücut sıcaklığını ölçmek için kullanılmaktadır. Özellikle egzersiz sırasında terleme ve termal rahatsızlıkları izlemek için kullanışlıdır.

Elektromiyografi (EMG) Sensörleri: EMG sensörleri, kas aktivitesini ölçmek için kullanılmaktadır. Kas aktivitesini izleyerek spor performansını veya fizyoterapi sürecini değerlendirebilmektedirler.

Glikoz Sensörleri: Diyabet yönetimi için kullanılan sensörlerdir. Kan şekeri seviyelerini izlemek ve sürekli glikoz takibi sağlamak için kullanılmaktadırlar.

Giyilebilir sensörlerin kullanım alanları arasında sağlık izleme, spor performansı izleme, egzersiz takibi, uyku izleme, stres yönetimi ve rehabilitasyon gibi çeşitli alanlar bulunmaktadır. Bu sensörler; kişisel sağlık ve performans hedeflerini belirlemek, sağlık durumunu takip etmek ve sağlık uzmanlarına değerli veriler sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.7.2. Kamera ve Görüntü İşleme Teknolojisi

Kamera ve görüntü işleme teknolojisi, vücut postür analizi için oldukça etkili bir yöntemdir. Bu teknoloji, genellikle bir veya birden fazla kamera kullanarak kişinin vücut pozisyonunu ve hareketlerini izler.

Bu teknolojinin temel işleyişi ve kullanımı hakkında biraz daha detay vermek gerekirse ilk aşama kamera kurulumudur. Vücut postür analizi için kamera ve görüntü işleme sistemi

genellikle bir veya birden fazla kamera içermektedir. Bu kameralar, genellikle odanın farklı noktalarına yerleştirilir ve geniş bir görüş alanı sağlar. En uygun sonuçlar için kameraların yüksek çözünürlüklü ve yüksek kare hızına sahip olması tercih edilir.

Kurulum sonrası kameralar tarafından yakalanan görüntüler, önceden belirlenmiş algoritmalar tarafından işlenir. Bu algoritmalar; kişinin vücut hatlarını, eklem pozisyonlarını ve hareketlerini tanımak için kullanılır. Yapay zekâ ve derin öğrenme teknikleri, bu algoritmaların geliştirilmesinde sıklıkla kullanılır ve sistem zamanla daha kararlı hale gelmektedir.

Görüntü işleme algoritmaları, kameraların yakaladığı görüntülerdeki insan hareketlerini izler ve takip eder. Kişinin vücut pozisyonları, eklemlerin açıları, duruşu ve hareketleri analiz edilir. Bu analiz, sağlık uzmanları tarafından belirlenen özel kriterlere ya da önceden tanımlanmış postür kriterlerine göre yapılabilmektedir (Yang vd., 2021).

Analiz sonrası sonuçlar genellikle bir yazılım aracılığıyla işlenir ve kullanıcıya sunulur. Bu; kişinin postüründe fark edilen problemleri, önerilen düzeltmeleri veya hareket biçimlerini görsel olarak gösterir. Sağlık uzmanları veya antrenörler, bu sonuçları inceleyerek kişinin postürünü değerlendirebilmekte ve gerekli müdahaleleri yapabilmektedir.

Kamera ve görüntü işleme teknolojisi; spor performansı izleme, ergonomi analizi, fizyoterapi, rehabilitasyon ve biyomekanik araştırmalar gibi birçok alanda kullanılabilir. Ayrıca bu konuda yapılan çalışmalarda olası düşme tehlikelerine karşın huzurevlerinde, rehabilitasyon merkezlerinde güvenliği sağlamak adına çalışmalar yapılmıştır (Shu F. & Shu J., 2021). Bu başlık altındaki teknoloji, gerçek zamanlı ve doğru postür analizi sağlayarak sağlık ve performansı optimize etmeye yardımcı olabilmektedir.

2.7.3. Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi

Vücut postür analizi için yapay zekâ ve makine öğrenimi kullanımı oldukça yaygındır ve etkili bir yöntemdir. Son yıllarda yapılan duruş tespitine ilişkin makine öğrenmesi tabanlı çalışmaların sonucunda %90'ın üzerinde başarı sağlanmıştır (Liaqat vd., 2021; Kulikajevs vd., 2021).

Yapay zekâ ve makine öğrenimi algoritmaları, büyük miktarda veri toplayabilmekte ve analiz edebilmektedir. Bu veriler, kişinin vücut postürünü ve hareketlerini tanımlamak için kullanılabilir. Yapay zekâ, vücut postür analizi için önemli özellikleri belirlemek için kullanılabilir. Örneğin; belirli vücut eklemlerinin açıları, omurga eğriliği veya başın pozisyonu gibi öznitelikler, postür analizi için önem arz etmektedir.

Yapay zekâ modelleri, önceden etiketlenmiş veriler kullanılarak eğitilebilmektedir. Bu veriler, doğru postürlerin veya belirli postür problemlerinin etiketlendiği veri setlerini içerirler. Ardından; eğitilen modeller, gerçek zamanlı olarak kişinin postürünü değerlendirebilmekte ve sınıflandırabilmektedir. Son yıllarda yapılan bir çalışmada kinect aktivite tanıma veri seti ve Microsoft Research Pairs veri seti kullanılarak aktivite türlerini sınıflandırmada %100 başarı elde edebilmiştir (Çalışkan, 2023).

Yapay zekâ, anormal vücut postürlerini tanımlamak ve potansiyel riskleri belirlemek için kullanılabilir. Örneğin, belirli bir postürün bel fıtığı riskini artırabileceği veya omurga sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabileceği gibi durumlar tespit edilebilmektedir.

Yapay zekâ ve makine öğrenimi modelleri, kişinin postüründe iyileştirme yapılması gereken alanları belirleyebilmekte ve geribildirim sağlayabilmektedir. Bu geribildirim, kişinin postürünü düzeltmek için öneriler içerebilmekte veya egzersizlerle ilgili talimatlar sunabilmektedir.

Yapay zekâ ve makine öğrenimi, vücut postür analizi için oldukça güçlü araçlar sağlar ve bu teknolojilerin kullanımı; postürle ilgili problemleri tanımlamak, önlemek ve düzeltmek için önemli bir rol oynamaktadır.

2.7.4. Sanal Gerçeklik (VR) ve Artırılmış Gerçeklik (AR)

Sanal Gerçeklik (VR) ve Artırılmış Gerçeklik (AR), vücut postür analizi için son derece etkili araçlar olarak kabul edilir. VR, kullanıcıları tamamen farklı bir dijital ortama taşıyan bir teknolojidir. Bir VR başlığı ve bazen el takımı gibi donanımlar kullanarak, kişi kendini bilgisayar üretimi bir dünyada bulur. Vücut postür analizi için, VR simülasyonları kullanılarak kullanıcıya belirli postürler ve hareketler için tavsiyeler verilebilir. Bu hareketler, kişinin gerçek dünyadaki tepkilerini izlemek için sensörler ve kameralarla

birleştirilir ve özellikle rehabilitasyon amaçlı kullanılabilir. Örneğin; fizyoterapistler veya kişisel eğitmenler, hastaların veya müşterilerin belirli egzersizleri doğru şekilde gerçekleştirmelerini sağlamak için VR simülasyonlarını kullanabilirler.

AR, gerçek dünyayı dijital bilgilerle zenginleştiren bir teknolojidir. Kullanıcı, gerçek dünyadaki ortamı görebilir, ancak bu ortama ek olarak sanal nesneler veya bilgiler eklenmiş olabilir. Vücut postür analizi için, AR uygulamaları gerçek zamanlı olarak kişinin postürünü izleyebilir ve kullanıcıya geribildirim sağlayabilir. Örneğin, bir AR gözlüğü veya akıllı telefon uygulaması aracılığıyla, kullanıcıya doğru oturuş pozisyonunu belirlemek için rehberlik edilebilir. Böylece kullanıcı, gerçek dünyadaki etkileşimlerini daha iyi anlayabilir ve doğru postür alışkanlıkları geliştirebilir.

Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik, vücut postür analizi için geleneksel yöntemlere kıyasla daha etkili ve etkileşimli bir deneyim sunabilmektedir. Bu teknolojiler; postürün düzeltilmesi, sakatlıkların önlenmesi ve hasta bireylerin vücut sağlığının geliştirilmesi için kullanılabilir. Hatta yapılan bir çalışmada VR tabanlı önerilen sistemin, rehabilitasyon yapılan hastanın fizyoterapi egzersizlerinin kalitesini değerlendirmek ve rehabilitasyonun ilerlemesini izlemek adına kullanılabileceği doğrulanmıştır (Maskeliūnas vd. 2023).

Lee vd. (2014) yaptığı araştırmada, sanal gerçeklik teknolojisinin inme rehabilitasyonunda kritik bileşenleri kolaylaştırdığını belirtmiştir.

Park vd. (2021) tarafından yürütülen çalışmada; artırılmış gerçeklik tabanlı görev eğitiminin inme hastalarında bilişsel fonksiyonlar, denge ve yürüme yeteneği üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2.8.Literatür Çalışması

2.8.1. Duruş Bozukluklarına Genel Bakış

Dünya Sağlık Örgütü; bel ağrısını, meslekle ilgili genel hastalıklarda en sık görülen sorun olarak tanımladığı bilgisiyle duruş bozukluklarına ait çalışmalara bakıldığında Ekim 2015'te National Instruments Corporation'ın Macaristan'daki bağlı kuruluşu Debrecen'de, omurga duruşu ve fonksiyonel hareketleri değerlendirmek üzere beyaz yakalı çalışanlarının gönüllü olarak muayenesinden elde edilen verilerle, analiz sonuçlarına bakıldığında, ayakta durma pozisyonuyla karşılaştırıldığında, oturma sırasında omurga bölgelerinin postürü ve

hareketliliğinde önemli farklılıklar göstermiş olduğu ve beyaz yakalı çalışanlarda oturma pozisyonu omurganın postürü ve hareketliliği üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Csuhai vd., 2020).

Yapılan başka bir çalışmada (Joshi & Deshpande, 2021) hızlı üst ekstremiteler değerlendirilmesinin (RULA) duyarlılığının yanı sıra duyarsız ve hassas duruş bölgelerinin tanımlanması incelenmiştir. RULA'nın duyarlılık analizi, sıralı regresyon analizi, duruşun değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlere dair daha derin bilgiler vermektedir. Çalışmada sonuç puanı üzerindeki etkisini anlamak için bir değişken değiştirilirken diğer değişkenler sabit tutuldu. Hiçbir değişikliğin gözlemlenmediği duruş kombinasyonları ve ani sıçramaları içeren duruş puanları kayıt altına alınmıştır. RULA skorunu tahmin etmedeki ağırlığını ve en çok etkileyen vücut değişkenini belirlemek için sıralı regresyon analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma ile ergonomi çalışmacılarının duruş değerlendirmesinde duyarsız ve hassas bölgeler konusunda bilinçlendirilmesi ve araştırmacılar arasında RULA yönteminin anlaşılmasını amaçlamıştır.

Başka bir çalışmada (Salsali vd., 2023) da ise fiziksel aktivite ile postür uyumları arasında önemli ancak zayıf ilişkiler olduğunu göstermekle beraber belirgin ilişkiler bulunamamıştır. Çalışma sonucu bulguların olası açıklaması, postürün insan vücut duruşunu etkileyen birden fazla biyopsikososyal faktörden etkilenebildiğidir ve postürün, fiziksel aktivite dışında birçok faktörden etkilendiği belirtilmiştir. Bu faktörler arasında biyolojik faktörler, psikolojik faktörler, sosyal faktörler yer almaktadır ve fiziksel aktivitenin bilinen faydaları olmasına rağmen, postür üzerindeki etkileri tek başına güçlü değildir. Çalışma sonucunda gelecekteki çalışmalar; fiziksel aktivite ile postür arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamak için biyolojik, psikolojik ve sosyal faktörleri içeren daha kapsamlı bir yaklaşımı göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir. Çalışma meta-analitik sonuçları yorumlarken dikkatli olmanın önemini vurgulamakla beraber özellikle de dahil edilen çalışmalarda belirgin heterojenlik ve yayın çerçevesine bağlı bir eğilim olduğunda fiziksel aktivite ile postür arasındaki ilişkinin ince detaylarının ve daha geniş değişken yelpazesinin daha fazla araştırılmasının gerekli olduğunu ön plana çıkarmaktadır.

Bir başka çalışmada (Sheikhhoseini vd., 2018) ileri baş postürü (FHP) olan bireylerde düzeltici egzersizlerin postürel değişkenler üzerindeki etkilerine ilişkin sonuçlar özetlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada Şubat 2017'ye kadar PubMed, MEDLINE, Web of Science, ScienceDirect, Cochrane Central Register of Controlled Clinical Trials, Google

Scholar ve Scopus gibi elektronik veri tabanları arasında literatürü incelemesi, 2 ayrı araştırmacı tarafından bağımsız olarak gerçekleştirilmiş olup metodolojik kalite Fizyoterapi Kanıt Veri Tabanı ölçeği kullanılarak kraniovertebral açı (CVA), kranyal açı (CA) ve ağrı şiddeti için meta-analizler yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda 627 katılımcıyı içeren yedi rastgele klinik çalışma, çalışma kriterlerini karşılamıştır. Seviye 1a kanıtı (güçlü), egzersiz eğitiminin CVA'yı etkili bir şekilde değiştirebileceğini göstermiştir ve seviye 1b kanıtı (orta), egzersizin ağrıyı iyileştirebileceğini ancak CA'yı iyileştiremeyeceğini göstermiştir. Özet olarak terapötik egzersizlerin ileri baş postürü olan katılımcılarda kraniovertebral açılarında büyük değişikliklere ve boyun ağrısında orta derecede iyileşmeye neden olabileceğini düşündürmüştür ve ileri baş postürü ile kas-iskelet sistemi ağrısı arasındaki ilişkinin her ikisinde de terapötik egzersiz sonrası iyileşmeler henüz belirlenememiştir.

2.8.2. Giyilebilir Vücut Duruşu Analizine Genel Bakış

Giyilebilir vücut duruşu analizi konusunda yapılan bir çalışmada, senkronize olarak duruş algılamayı ve yüksek hassasiyetli insan faaliyeti tanımaya yönelik giyilebilir sensör ağı sistemi yapılmış olup, yapılan giyilebilir sensör ağı sistemiyle toplanan ham verileri kullanarak gerçek zamanlı insan hareketini tanıyan bir sistem oluşturulmuştur (Mascret vd., 2021).

Başka bir çalışmada; diyabetli hastaların yürüyüşü, hastalığın seyriyle birlikte kötüleştiği bilgisiyle yola çıkarak, giyilebilir sensör sistemleri; yürüyüş hızı, tempo, adım süresi ve uzunluğu gibi ana uzay-zamansal yürüyüş parametrelerindeki değişikliklerle karakterize edilerek, hastalığın ilerleyişini araştırmak için yararlı vücut sallanma perspektifinden değerlendirilmiş ve yürüyüş analizinde kullanılmıştır (Brognara vd., 2021).

Giyilebilir vücut duruşu analizi konusunda yapılan bir başka çalışmada, çeşitli uygulamalardaki insan aktivitelerini tanımak amacıyla uçuş sırasında duruş tanıma için giyilebilir ve vücuda tam oturan prototip hazırlanmış olup, katılımcılardan uçuş sırasında sıklıkla gözlemlenen yedi oturma duruşunu gerçekleştirmeleri ve sonrasında, genel konfor rahatsızlıklarını bildirmeleri istenmiştir (Yao vd., 2023).

Benzer şekilde yapılan başka bir çalışmada cerrahların, cerrahi müdahalelerde uzun süre korunması gereken zararlı statik duruşlar göz önüne alınarak cerrahi operasyonlar sırasında

duruşun izlenmesini amaçlayan sensör tabanlı bir giyilebilir platform tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem hem eğitim amaçlı hem de gerçek cerrahi operasyonlar sırasında cerrahları uyarabilecek, omurga ve boyun hareketlerine bağlı olarak cerrahın duruşundaki değişimi değerlendirmek üzere cerrahın vücuduyla doğrudan temas halinde olan kas ve iskelet sistemi patolojilerinin başlamasından kaçınmalarına yardımcı olmak için olası tehlikeli hareketleri veya duruşları gösterebilen bir araç geliştirme üzerine yapılmıştır (Carbonaro vd., 2021).

Başka bir çalışmada, yaşlı insanların hareket verilerini toplamak üzere sensörlere dayalı giyilebilir bir sensör grubu kullanılarak hareketleri sınıflandırmak ve geçerliliğini teyit etmek için topluluk algoritmasına dayalı bir istatistiksel modelleme yaklaşımı yapılmış olup çalışmayla yaşlıların tedavisi, rehabilitasyonu ile düşmelerin önlenmesi de dahil olmak üzere sağlık hizmetleri açısından önemli sonuçlar alınması amaçlanmıştır (Wu vd., 2019).

2.8.3. Duruş Analizine Yönelik Mevcut Sensör Teknolojileri

Duruş analizine yönelik mevcut sensör teknolojilerini içeren çalışmalara ele aldığımızda yapılan bir çalışmada, yoga egzersizi yaparken sensör tabanlı bir duruş algılama ve yönlendirme sisteminde kullanılmak üzere tasarlanan elbise üzerine esnek bantlara sabitlenmiş ve uzuvların yönünü ölçmek için çeşitli tipte ivmeölçer sensörleri kullanılarak, eğim momentinin yönünü ölçerek, mikrokontrolör ve mobil uygulama desteğiyle verilen bilgilere göre kullanıcının duruşu doğru yapıp yapmadığını tespit edilmeye çalışılmıştır (Devi vd., 2022).

Başka bir çalışmada oturma duruşlarının ekonomik ve kolay bir şekilde izlenmesi adına oturma duruşunu doğru ve zararsız bir şekilde analiz eden elyaf bazlı bir iple kaplanmış direnç değişkenliği esasıyla çalışan piezoelektrik basınç sensörü sistemiyle Akıllı Yastık tasarımı yapılmıştır (Xu vd., 2013).

Oturmaya bağlı kas ve iskelet sistemi bozukluklarının önlenmesi için anlık olarak duruş geri bildirimi sağlayan bir sisteminin oluşturulması adına yapılan başka bir çalışmada, oturma duruşlarını anlık olarak izlemek ve sınıflandırmak için tasarlanan akıllı sandalye sisteminde, sandalyenin oturma minderi üzerinde yer alan basınç sensörleri ve sandalyenin

sırt minderi üzerinde kızılötesi mesafe sensörünün bir arada yer aldığı karma bir sensör sistemi kullanılmıştır (Jeong & Park, 2020).

Benzer şekilde başka bir çalışmada, belde ve uyluk kemikleri üzerinde yer alan kablosuz ve giyilebilir çift eksenli ivmeölçer sensöründen elde edilen verilerle vücut duruşlarını ve yürüme hızını tespit edebilen bir sistem tasarlanmıştır (Yeoh vd., 2008).

Yapılan başka bir çalışmada oturma pozisyonunu düzeltme, zaman içindeki oturma süresini izleme ve hatta kişiye uygun bir çözüm sunmak adına sandalyenin iç kısmına ve oturma bölgesine yerleştirilen basınç sensörleri sayesinde vücut ağırlığı algılanmaktadır, kullanıcının oturduğu alanlar belirlenmektedir. Benzer şekilde, sırt dayamasına yerleştirilen basınç sensörleri sayesinde kullanıcının sırt bölgesindeki basınç algılanmaktadır ve böylece doğru oturma pozisyonu belirlenerek kullanıcı pozisyonu anlık olarak takip edilebilmektedir. Böylelikle kullanıcıların uzun süreli oturma eylemi sırasında konforlarını, sağlıklarını korumalarına yardımcı olunabilmektedir (Martins vd., 2014).

2.8.4. Mikrodenetleyici Tabanlı Ölçüm Sistemleri

Mikrodenetleyici tabanlı ölçüm sistemleriyle yapılan araştırmalara ilişkin yapılan bir çalışmada (Ramalingam vd., 2021) dijital ekipmanların, özellikle bilgisayarlar ve diğer akıllı cihazların iş yerlerinde yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte, insanların büyük bir kısmını uzun süre aynı yerde oturarak geçirmek zorunda birçok hastalığın ortaya çıkmasına neden olduğuna yer verilmektedir. Bu sebeple, çalışmada IoT (Internet of Things) teknolojileri mikrodenetleyiciler, sensörler kullanılarak bir kişinin otururken boyun ve vücut duruşunu izlemeyi amaçlayan bir sistem tasarlanmıştır. Bir IoT sistemi, sensörler ve her türlü bağlantı cihazları ile birbirine bağlı olduğu bir yapıdan oluşmaktadır. Kodları Arduino IDE aracılığıyla yazılmış ana mikrodenetleyici kartı, bu kart üzerine yüklenmektedir ve Arduino sistemin ana denetleyicisi olarak görev yapmaktadır. Çalışma, kullanıcıya doğru bir duruşta oturmaya yönlendirmek için bir duruş izleme sistemi önermektedir ve kullanıcı bu sistemle iyi bir duruş sergilemediğinde uyarılarla bilgilendirilecektir, bu da kullanıcının yanlış oturma duruşunu etkili bir şekilde önlemesine yardımcı olacaktır. Genel olarak; sistem, uzun süre sandalyede oturan kişilere uyarılar göndermek suretiyle kullanıcıların iyi bir duruşta oturmasına yardımcı olarak ve kötü

oturma duruşundan kaynaklanan sağlık sorunlarını etkin bir şekilde önlenmesi beklenmektedir.

Yapılan başka bir çalışmada (Chopra vd., 2016) kişinin aynı pozisyonda oturduğu stres alanını ve süresini tespit edecek kemer şeklinde giyilebilir bir cihaz tasarlanmıştır. Sistemde, sensör ve omurilik yönünde dikey olarak kemere sabitlenen butonlar yardımıyla insan duruşunda meydana gelen değışiklikleri tespit ederek doğru veya yanlış duruşu tespiti amaçlanmıştır. Vücudun eğimine göre açıların hesaplanmasıyla ve butonlar yardımıyla belirli bir sırt bölgesine uygulanan stresin süresi tespit edilerek yanlış duruş bilgisi kullanıcıya sesli uyarı ile sağlanır ve sonuçlar LCD ekranda görüntülenir. Sistem içinde ADC (analog dijital dönüştürücü) bulunan 16 bacaklı bir yapıya sahip ivmeölçer nitelikli sensör ADXL335 kullanılmış olup sensörlerden alınan veriler işlenmesi için PIC16F877A mikrodnetleyici kullanılmıştır. Mikrodnetleyici, butonlardan ve sensörden gelen sonuçları karşılaştırmakta ve çıktıyı buna göre sağlamaktadır.

Yapılan başka bir çalışmada (Sifuentes vd., 2018) sandalyede üzerindeki kişinin varlığını tespit etmek ve doğrulamak için mikrodnetleyici tabanlı bir ölçüm sistemi tasarlanmıştır. Sistem, sandalyenin oturma alanına veya sırt bölgesine yerleştirilebilen ve bir kişi ya da nesne sandalyeye oturduğunda ani bir direnç değışimine uğrayan Kuvvet Algılama Direnci (FSR) çalışma prensibine dayanmaktadır. Kişi ya da cansız bir nesneyi ayırt etmek için sistem aynı zamanda solunumun neden olduğu FSR direncindeki küçük sinyal değışimlerini de izlemektedir. Sistemde tespit edilen direnç değışimleri sonrasında; bir dizi analog işlem aşaması veya bir analog-dijital dönüştürücü kullanılmadan, doğrudan bir mikrodnetleyici tarafından ölçülmektedir, böylelikle ek bir dönüştürücü kullanılmadan düşük maliyetli, düşük güçlü, kompakt bir tasarım çözümü elde edilmeye çalışılmıştır.

Benzer şekilde yapılan başka bir çalışmada (Bliley vd., 2006), kişinin hareketlerini kısıtlamadan uzun bir süre boyunca kolaylıkla takılabilen hareket analiz sistemi ihtiyacından yola çıkarak KXM52-1050 ivmeölçer, MSP430F1232 ve bir mini dijital hafıza kartı içeren sistemle vücut duruşunu ve hareketini ölçebilen ve ardından bu verileri güvenli bir dijital hafıza kartında depolayabilen sağlam, kompakt bir sistem tasarlanmıştır. Ayrıca çalışmada bir uygulama programlama arabirimi (API) yazılmış olup böylece uygulamaya özgü veri toplama programı, ünite içine yerleştirilmiş bir dijital hafıza kartından mikrodnetleyiciye yüklenebilmektedir. Bu uygulama ile veriler için doğrudan bilgisayara gereksinim duyulmamaktadır. Arabirimin diğeri bir avantajı, dijital hafıza

kartından okunan ve yazılan dosyaların FAT32 dosya sistemine uyumlu olması ve bu da araştırmacının veya klinisyenin, birim tarafından toplanan verileri bir dizi yaygın bilgisayar tabanlı yazılım programını kullanarak analiz etmesini sağlamaktadır. Ek olarak kullanıcının geri planda çalışan yazılımla etkileşimde bulunması gerekmez. Çünkü uygulamaya özgü yazılım, bir hafıza kartı birimine takıldığında otomatik olarak yüklenmektedir.

Başka bir çalışmada (La Mura vd., 2023) nesnelerin interneti'nin (IoT) gelişmesi, akıllı evlerde ve iş yerlerinde sağlık sorunlarının önlenmesine ve koşulların izlenmesine yönelik ölçüm sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. IoT sistemleri, bilgisayar tabanlı iş yapan kişilerin izlenmesini desteklemek ve çalışma saatleri sırasında yanlış oturma duruşlarının devam etmesinden kaynaklanan yaygın kas-iskelet sistemi bozukluklarının ortaya çıkmasını önlemek adına oturma postürü simetrisini izlemek ve asimetric bir pozisyon tespit edildiğinde çalışanı uyarmak için görsel bir uyarı oluşturarak düşük maliyetli bir IoT ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Sistem, bir yastığa gömülü dört kuvvet algılama direnci (FSR) ve sandalye koltuğuna uygulanan basıncı izlemek için mikrodenetleyici ile tasarlanmış bir okuma devresi içermektedir. Ayrıca çalışma Java tabanlı yazılım desteğiyle sensör ölçümlerinin anlık olarak izlenmesini sağlar ve belirsizliğe dayalı bir asimetri algılama algoritması uygular. Tasarım ile simetrik duruştan asimetric duruşa ve asimetric duruştan simetrik duruşa geçişlerde sırasıyla bir uyarı mesajı oluşturulmakta ve bu uyarılar sayesinde asimetric bir duruş tespit edildiğinde kullanıcı anında bilgilendirilerek doğru oturma pozisyonunu ayarlamaya imkân sağlanmaktadır. Çalışmada ayrıca, tüm pozisyon değişimlerinin ve oturma davranışlarının daha ayrıntılı analizi için ölçülen veriler bir web veri tabanına kaydedilmektedir.

Başka bir çalışmada (Baadkar vd, 2022) ise kullanıcının sırt duruşunu anlık olarak ölçmek için sensör kullanan, kötü duruş tespit ettiğinde kullanıcıyı uyaran ve ardından bunu düzeltmesine olanak tanıyan bir cihaz tasarlanmıştır. Çalışmada, göğüs eğrisine yerleştirilen ivmeölçer, geriye doğru hareketi algılayarak ham verileri bir 8051 mikrodenetleyiciye aktarmaktadır. Aktarılan veriler eşliğinde mikrodenetleyici, titreşim motoruna gönderdiği veri ile kullanıcıya duruşunun düzeltilmesi gerektiğinin bildirimini yapabilmektedir.

2.8.5. Çoklu Sensör Entegrasyonu Konusunda Önceki Çalışmalar

Gelişen sensör teknolojileriyle birlikte, bazı uygulamalara birden fazla sensör entegre edilerek, çeşitli çözümler geliştirilebilmektedir. Örneğin; çoklu sensör entegrasyonları; 3-boyutlu nesne algılama, dönen makinalar, güvenlik, akıllı ulaşım sistemleri gibi çeşitli alanlarda uygulanmaktadır (Liang vd.,2018; Xia vd., 2017; Guerrero vd., 2018).

Çoklu sensör teknolojilerinin bir diğer kullanım alanı da insan vücudu ile etkileşimli olarak çalışan sensörlerdir. Çoklu sensör entegrasyonu konusunda yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde yapılan bir çalışmada (Bijalwan vd., 2021) normal yürüyüş sırasında Kinect sensörü ve atalet ölçüm birimi (IMU) sensörü kullanılarak pelvis, kalça, diz ve ayak bileği eklem hareketinin biyomekaniğini araştırmak üzere Microsoft Kinect v2 ve Ataletsel Ölçüm Birimi (IMU) cihazını temel alan oldukça uygun maliyetli bir yürüyüş analiz sistemi sunulmuştur. Kinect sensörü, 25 insan vücudu eklemiyle 3 boyutlu iskelet verilerinin (kamera (x, y, z), derinlik (x, y) yönelimi (x, y, z, w), renk (x, y)) elde edilmesi için kullanılmıştır. Microsoft Kinect sensörü ile V2 ve IMU sensörüne dayalı olarak insan yürüyüşünün alt ekstremitelerinin eklem açısı hesaplanarak eklem yörüngelerinin stabilitesi, limit çevrim eğrisi ile doğrulanarak ve farklı alt ekstremit eklemlerinin biyomekaniğinin anlık analiz edilmesi yöntemiyle çalışan bir sistem tasarlanmıştır.

Başka bir çalışmada oturma duruşlarını anlık olarak izlemek ve sınıflandırmak için bir akıllı sandalye sistemi tasarlanmış olup sandalyenin oturma minderi üzerinde yer alan basınç sensörleri ve sandalyenin sırt minderi üzerinde kızılötesi mesafe sensörünün bir arada yer aldığı karma bir sensör sistemi yapılarak çoklu sensör entegrasyonu sağlanmıştır (Jeong & Park, 2020).

Yapılan başka bir çalışmada (Ghadi vd., 2022) çeşitli hareket geçişlerini başarılı bir şekilde kategorize etmek için vücuda takılan çoklu sensörleri kullanan birkaç hareket algılama yöntemi önererek MS-DLD (Multi-Sensors Based Daily Locomotion Detection) için hem standart hem de en gelişmiş yöntemleri sunmaktadır. Geleneksel olarak, MS-DLD sürecini geliştirmek için önerilen metodoloji, atalet sinyalleri için dalgacıkla dönüştürülmüş Kuaterniyon tabanlı bir filtreden, kinematik-statik enerjiler biçiminde son teknoloji ürünü çoklu özellikler çıkarılmıştır. Çalışma aynı zamanda günlük hareket algılamayı modellemek ve vücuda özgü değiştirilmiş HMM'leri (Hidden Markov Model) türetmek için son teknoloji ürünü başka bir yöntemi de tanıtmaktadır. Model, sensör verilerini kafa

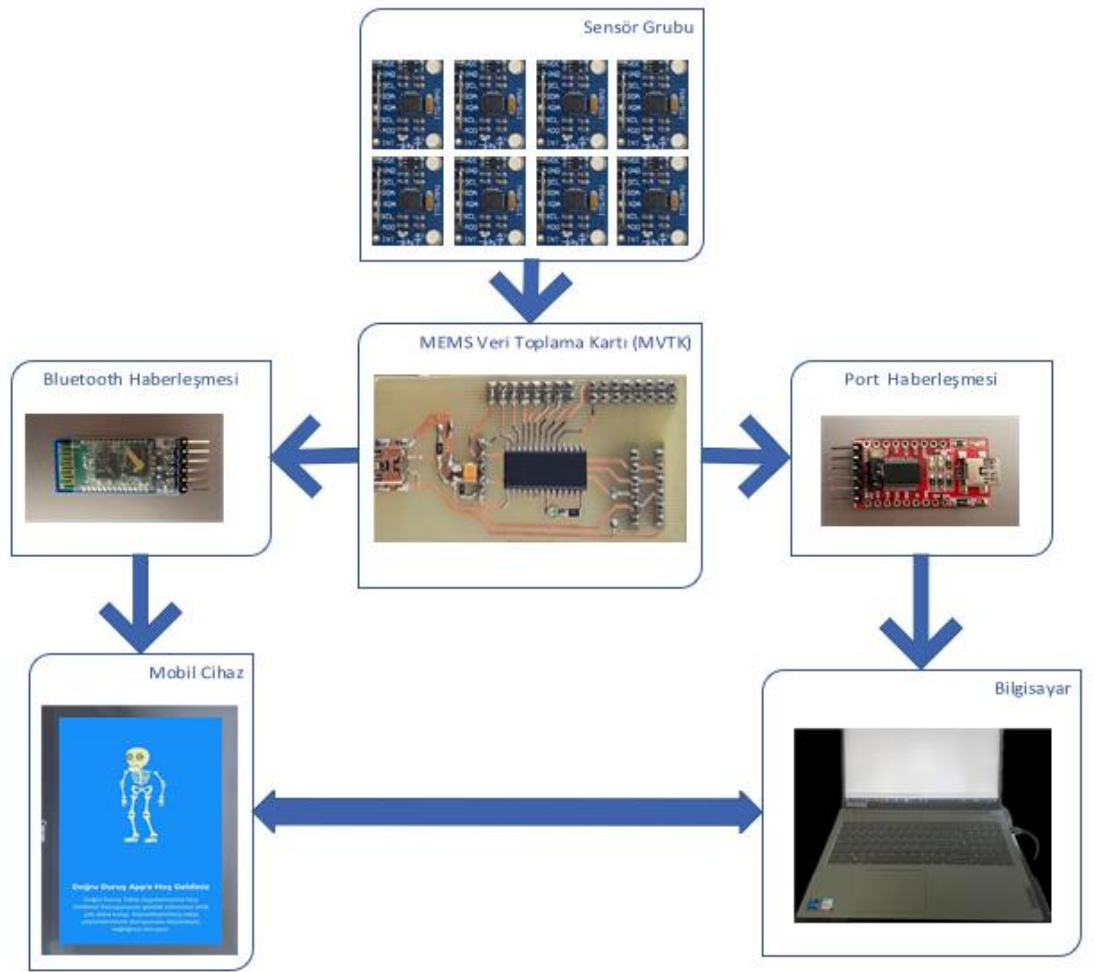
sensörleri, orta vücut sensörleri ve alt vücut sensörleri dahil olmak üzere (vücuda özgü) üç aktif parçaya böler ve vücuda özel modifiye edilmiş HMM'lere, ham veriler sağlanmış ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında daha az hesaplama karmaşıklığıyla daha iyi sonuçlar vermiştir.



3. TASARIM VE UYGULAMA

3.1.Sistem Mimarisi

Sistem mimarisi; temel olarak üzerinde ivmeölçer ve jiroskop olarak ölçüm yapabilen sensörlerin yer aldığı tasarlanmış bir yelek ile üzerinde mikrodenetleyicinin ve çıkışında bluetooth ve seri port haberleşme biriminin yer aldığı devre kartı, sistemi besleyen güç ünitesi, verilerin anlamlı hale getirildiği ve analizinin yapıldığı mobil uygulama arayüzü ve bilgisayar arayüzünden oluşmaktadır.



Şekil 3.1 Sistem Akış Şeması

3.1.1. İvmeölçer ve Jiroskop Özelliğine Sahip Sensörler

İvmeölçer ve jiroskop özelliklerini bir arada sunan sensörler, birçok uygulamada hareket algılama, izleme ve navigasyon için önemli bir rol oynarlar.

İvmeölçer ve jiroskop özelliklerini bir arada sunan sensörler, IMU olarak adlandırılır. Bu tür sensörler, birden fazla eksen boyunca ivmeölçer ve jiroskop verilerini birleştirerek daha hassas ve doğru hareket izleme sağlarlar.

IMU'lar, drone'lar, robotlar, giyilebilir teknolojiler, otonom araçlar, sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) gibi birçok modern teknolojik uygulamada kullanılır. Bu sensörler; hareketli sistemlerin konumunu, hızını, eğimini ve dönüş hızını doğru bir şekilde tespit etmeleri sayesinde bu uygulamalarda kritik bir role sahiptirler.

3.1.1.1.İvmeölçer (Accelerometer)

İvmeölçerler, bir cismin ivmesini ölçmek için kullanılır. Yerçekimi kuvvetinin etkisi altında kalan bir cihazın ivmesini tespit ederler. Hareket algılama, konum belirleme, adım sayma, titreşim ölçümü gibi birçok uygulamada kullanılır. Giyilebilir teknolojiler, akıllı telefonlar, otonom araçlar, sağlık izleme cihazları ve spor ekipmanları gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılırlar.

3.1.1.2.Jiroskop (Gyroscope):

Jiroskoplar, bir cismi sabit bir referans noktasına göre dönme hızını ölçmek için kullanılır. Bir cismin açısal hızını ölçerler. Yön belirleme, rotasyon tespiti, stabilizasyon, hareket kontrolü gibi uygulamalarda önemli rol oynarlar. Drone'lar, robotlar, oyun kumandaları, deniz araçları ve uçaklar gibi birçok hareketli sistemde kullanılırlar.

3.1.2. Ergonomik Yelek Tasarımı

Ergonomik yelek tasarımı; kullanıcının konforunu, hareket kabiliyetini ve genel performansını artırmak için dikkate alınan bir dizi faktörü içerir. Bu tasarım, yeleği giyen kişinin işlevselliğini en üst düzeye çıkarmak ve uzun süreli kullanımda bile rahatlık sağlamak için çeşitli unsurları bir araya getirir.

İlk olarak; ergonomik yelek tasarımında, kullanıcının bedenine uyum sağlamak için doğru ölçülerde ve esnek malzemeler kullanılır. Yeleğin bedene tam oturması, hareket özgürlüğünü kısıtlamazken, aynı zamanda kullanıcının hareketlerini destekler. Ayrıca,

nefes alabilir ve hafif malzemeler tercih edilir, bu da yeleğin uzun süreli kullanımı sırasında terlemeyi ve rahatsızlığı azaltır.

Bir diğer önemli unsur, yeleğin tasarımındaki cep ve bölmelerdir. Bu bölmeler, kullanıcının ölçüm ekipmanlarını düzenli bir şekilde taşımalarını, erişimini kolaylaştırır. Bunlar, gereksiz yük ve dengesizlik oluşturmayacak şekilde yerleştirilir.

Ergonomik yelek tasarımında, kullanıcının omuzlarına ve sırtına düşen yük dengeli bir şekilde dağıtılır. Bu, uzun süreli kullanımda omuz ve omurga yorgunluğunu azaltır ve kullanıcının konforunu artırır. Ayarlanabilir askılar ve kemerler, yeleğin farklı beden tiplerine uyum sağlamasını sağlar.

Ayrıca, ergonomik yelek tasarımında kullanıcının hareket kabiliyetini artıracak şekilde düşünülmüş ek özellikler bulunabilir. Örneğin; esnek panele sahip omuz ve yan bölgeler, kolları serbestçe hareket ettirebilmeyi sağlar. Ergonomik yelek; kullanıcının işlevselliğini, konforunu ve güvenliğini ön planda tutarak tasarlanmıştır.

3.1.3. Mikrodenetleyiciler

Mikrodenetleyiciler, bir bilgisayarın tüm işlevselliğini tek bir entegre devre içinde barındıran ve genellikle gömülü sistemlerde kullanılan bir tür entegre devre çipi veya IC'dir. Mikrodenetleyiciler; gömülü sistemlerde belirli görevler için kullanılırlar, küçüktürler ve gömülü sistemin beynini oluştururlar (Bhargav vd., 2018). Bu cihazlar, birçok endüstriyel, otomotiv, tüketici elektroniği ve diğer uygulamalarda bulunurlar ve genellikle düşük güç tüketimi, küçük boyut, yüksek işlem gücü ve düşük maliyet gibi avantajlar sunarlar.

Mikrodenetleyiciler, genellikle bir işlemci, bellek (RAM ve/veya ROM), giriş/çıkış arayüzleri ve zamanlayıcı/sayıcı gibi çeşitli periferiklerden oluşur. Bu, mikrodenetleyicinin birçok farklı görevi yerine getirebilmesini sağlar. Örneğin; veri işleme, sensör verilerinin okunması, dış cihazların kontrol edilmesi ve daha fazlasını yapmayı mümkün kılar.

Mikrodenetleyiciler, geniş bir yelpazede bulunabilir ve farklı uygulamalara yönelik farklı gereksinimleri karşılamak üzere tasarlanabilirler. Örneğin; düşük güç tüketimi ve enerji verimliliği, giyilebilir cihazlar ve pil destekli cihazlar için önemliyken yüksek işlem gücü ve bellek kapasitesi, daha karmaşık uygulamalar için gereklidir.

Mikrodenetleyicilerin programlanabilir olması, kullanıcıların belirli bir uygulama için özel yazılım yazmalarına ve bu yazılımı cihazın belleğine yüklemelerine olanak tanır. Bu da mikrodenetleyicilerin esnekliğini artırır ve farklı projelerde kullanılmasını sağlar.

Özetlemek gerekirse mikrodenetleyiciler, modern elektronik cihazların temel taşlarından biridir ve birçok endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, mikrodenetleyicilerin yetenekleri sürekli olarak genişlemekte ve yeni uygulama alanları keşfedilmektedir.

3.1.4. Bluetooth Haberleşmesi

Bluetooth, kablosuz iletişim teknolojisinin en yaygın kullanılan türlerinden biridir. Birçok cihaz arasında veri aktarımı için kısa mesafeli bir kablosuz iletişim protokolü sağlar. Bluetooth kablosuz teknolojisi; kişisel, taşınabilir ve elde taşınan elektronik cihazlar için kısa mesafeli bir bağlantı çözümüdür (Bisdikian, 2001). Bluetooth; düşük güç tüketimi, düşük maliyet, yaygın kullanılabilirlik ve kolay kullanımıyla tanınır.

Bluetooth, temel olarak iki cihaz arasında veri alışverişi yapmak için kullanılır. Bu cihazlar; akıllı telefonlar, tabletler, bilgisayarlar, kulaklıklar, hoparlörler, fareler, klavyeler, egzersiz takip cihazları ve diğer birçok tüketici elektroniği cihazlarını içerebilir.

Bluetooth, genellikle eşleştirme adı verilen bir süreçle başlar. Bu süreçte, iki cihaz birbirini tanır ve güvenli bir bağlantı kurar. Eşleştirme genellikle bir PIN kodu girilerek veya cihazlar arasında bir onay işlemi gerçekleştirilerek yapılır.

Bluetooth, genellikle kısa mesafeli iletişim için tasarlanmıştır ve tipik olarak 10 metreye kadar bir menzile sahiptir. Ancak, bluetooth teknolojisi geliştikçe, menzili artırılabilir ve daha uzun mesafelerde bile güvenilir bağlantılar sağlanabilir.

Bluetooth'un kullanım alanları oldukça geniştir. Örneğin; Bluetooth kulaklıklar ve hoparlörler, kablosuz ses akışı için yaygın olarak kullanılırken, Bluetooth klavye ve fareler masaüstü bilgisayarlarla kablosuz olarak bağlantı kurmak için tercih edilir. Ayrıca; akıllı telefonlar ve tabletler arasında dosya paylaşımı, yazıcılarla kablosuz bağlantı, araç içi eğlence sistemleri ve akıllı ev cihazları gibi birçok farklı uygulama alanı bulunmaktadır.

Bluetooth, kablosuz iletişimde güvenilir, yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir ve günümüzde birçok cihazda bulunmaktadır. Kolay kullanımı ve geniş kullanım alanlarıyla bluetooth, modern dijital yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

3.1.5. Seri Port Haberleşmesi

Seri iletişim, yakın mesafeli veri iletimi, seri bellek cihazları ve gerçek zamanlı kontrol sistemlerinin yanı sıra mevcut telefon ağları üzerinden uzun mesafeli iletim için de uygundur (Xiao-yan, 2010). Seri port haberleşmesi, bilgisayarlar veya diğer dijital cihazlar arasında veri iletişimi için kullanılan bir iletişim protokolüdür. Bu protokol; verilerin bir bit akışı şeklinde, bir bit dizisini diğerine bağlayarak iletilmesini sağlar. Seri port haberleşmesi, tarih boyunca birçok farklı cihaz ve uygulama için temel iletişim yöntemi olmuştur.

Seri port haberleşmesi genellikle bir gönderici (transmitter) ve bir alıcı (receiver) olmak üzere iki cihaz arasında gerçekleşir. Gönderici, veriyi seri bir bit akışı olarak gönderirken, alıcı, gelen veriyi okur ve işler. Veri, tek bir tel üzerinden gönderilir ve alınır. Bu nedenle seri adı verilir.

Seri port haberleşmesi, genellikle RS-232, RS-422 veya RS-485 gibi standartlarla belirlenmiş bağlantı noktaları aracılığıyla gerçekleştirilir. RS-232 ve RS-485, dijital seri veri iletişimleri için popüler arayüz standartlarıdır. RS-485, 1200 metreye kadar menzil ve 10 Mbps'ye kadar veri hızları için güvenilir iletişim sağlar (Park & MacKay, 2003). Bu standart, genellikle seri portların, (COM portları olarak da bilinir) üzerinde bulunur ve birçok farklı cihazla bağlantı kurmak için kullanılır.

Seri port haberleşmesi, çeşitli hızlarda iletişim sağlayabilir, bu da veri aktarım hızının ihtiyaca göre ayarlanabilmesini sağlar. Başka bir avantajı ise veri iletiminin tek yönlü olmasıdır. Bu, iletişim hatlarının daha az karmaşık olmasını sağlar ve daha uzun mesafelerde dahi güvenilir bir iletişim sağlar.

Seri port haberleşmesi, birçok farklı uygulama alanında kullanılır. Örneğin; seri portlar, bilgisayarlar arasında dosya transferi, yazıcılarla bağlantı, haberleşme ekipmanlarıyla (modemler, routerlar) iletişim, endüstriyel otomasyon sistemlerinde kontrol, izleme ve diğer birçok uygulama için kullanılabilir.

3.1.6. Mobil Arayüz Uygulamaları

Mobil uygulama arayüzleri, kullanıcıların akıllı telefonlar veya tabletler gibi mobil cihazlar üzerinde etkileşimde bulunabilecekleri grafiksel bir kullanıcı arayüzüdür. Akıllı telefonlar ve tabletler ise tanışal görüntüleme uygulayıcılarına yeni fırsatlar sunarak, bunları tanışal okuma, referans, öğrenme, konsültasyon ve hastalarla iletişim için kullanmalarına olanak sağlar (Székely vd., 2013). Bu arayüzler, uygulama kullanıcılarının uygulama içinde gezinmesini, işlevleri kullanmasını ve bilgileri görüntülemesini sağlar.

Mobil uygulama arayüzleri, genellikle dokunmatik ekranlar üzerinde çalışır ve kullanıcıların parmaklarını kullanarak etkileşimde bulunmalarını sağlar. Bunlar; basit düğmelerden ve metin giriş alanlarından, karmaşık menülere, kaydırma alanlarına ve dokunmatik hareketlere kadar birçok farklı bileşeni içerebilmektedir.

Bir mobil uygulama arayüzü; genellikle tasarım prensiplerine ve platform standartlarına uygun olarak oluşturulur.

Mobil uygulama arayüzleri, kullanıcıların uygulamanın işlevlerini kolayca keşfetmesini ve kullanmasını sağlamak için dikkatlice düşünülmüş ve tasarlanmış olmalıdır. Bunlar; kullanıcıların uygulama içindeki hedeflerine ulaşmalarını kolaylaştırmak için sezgisel tutarlılık, erişilebilirlik ve performans gibi önemli faktörlere odaklanır. Estetik, esneklik, verimlilik ve kullanım kolaylığı gibi kullanıcı arayüzü tasarım faktörleri, kullanıcı memnuniyetini olumlu yönde etkiler ve bunlardan en büyük etkiyi verimlilik sağlar (Wang, 2023).

Mobil uygulama arayüzlerinin tasarımı, genellikle grafik tasarımcıları, kullanıcı arayüzü tasarımcıları ve kullanılabilirlik uzmanları tarafından birlikte yapılır. Bu ekip; uygulamanın hedef kitlesi, amacı ve gereksinimleri hakkında derinlemesine anlayışa sahip olmalı ve kullanıcıların ihtiyaçlarını ve beklentilerini karşılayacak şekilde arayüz oluşturmalıdır.

Mobil uygulama arayüzleri, mobil uygulamaların başarılı olması için kritik bir unsurdur. İyi tasarlanmış bir arayüz, kullanıcıların uygulamayı kolayca kullanmalarını sağlar, kullanıcı memnuniyetini artırır ve uygulamanın popülerliğini ve başarısını etkiler.

3.1.7. Bilgisayar Arayüz Uygulamaları

Bilgisayar arayüz uygulamaları, kullanıcıların bilgisayarlarıyla etkileşimde bulunmalarını sağlayan yazılım programlarıdır. Bu uygulamalar; kullanıcıların bilgisayarlarında işlevleri gerçekleştirmelerini, dosyaları yönetmelerini, internete erişmelerini, multimedya içeriğini oynatmalarını ve daha fazlasını sağlar.

Masaüstü Arayüzü Uygulamaları, kullanıcıların işletim sistemi üzerindeki masaüstü ortamını kullanarak bilgisayarlarını yönetmelerini sağlar. Örneğin; işletim sistemlerinde yer alan masaüstü arayüzleri (Desktop Interface), görev çubukları, menüler gibi bileşenler kullanıcıların dosyalara, klasörlere, uygulamalara ve ayarlara erişmelerini sağlar.

Grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) tasarım araçları, geliştiricilere grafiksel kullanıcı arayüzleri oluşturmak için bir araç seti sağlar. Bu araçlar; düğmeler, metin kutuları, menüler, grafikler ve diğer kullanıcı arayüzü bileşenlerini sürükle-bırak yöntemiyle tasarlamayı ve düzenlemeyi sağlar.

Web tarayıcıları, kullanıcıların internete erişmelerini ve web sitelerini ziyaret etmelerini sağlayan uygulamalardır. Tarayıcılar, kullanıcıların web sayfalarını görüntülemelerini, gezinmelerini, yer işaretleri oluşturmalarını, çerezleri yönetmelerini ve daha fazlasını sağlar.

İçerik üretkenlik uygulamaları; kullanıcıların belge oluşturmalarını, düzenlemelerini ve paylaşmalarını sağlar. İçerik üretkenlik uygulamaları, kullanıcıların metin belgeleri, hesap tabloları, sunumlar ve diğer dokümanları oluşturmalarını, düzenlemesini ve paylaşmasını sağlar.

Yukarıda bahsedilen ve daha farklı örnekleri verilebilecek uygulamalar kullanıcıların bilgisayarlarını daha verimli bir şekilde kullanmalarını sağlar ve çeşitli işlevleri gerçekleştirmelerine olanak tanır. İşletim sistemine ve kullanıcının ihtiyaçlarına bağlı olarak, farklı bilgisayar arayüz uygulaması tercih edilebilir.

3.1.8. Gömülü Sistemler

Gömülü sistemler, günlük yaşantımızın birçok yönünde karşımıza çıkan ve genellikle farkında olmadan kullandığımız teknolojilerin temelini oluşturan önemli bir bileşendir. Bu

sistemler, bir mikrodnetleyici veya mikrodnetleyici tabanlı bir bilgisayar tarafından kontrol edilen ve özel bir görevi yerine getiren donanım ve yazılım bileşenlerinden oluşur.

Gömülü sistemlerin kullanım alanları oldukça geniştir. Gömülü sistemler tele tıp, teşhis, prognoz ve hasta yönetimi gibi tıbbi ve biyomedikal uygulamalarda kullanılmaktadır (Dere, 2021). Gömülü sistemlerin sağlık hizmetleri, otomotiv, endüstriyel kontrol ve tüketici elektroniği gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Ai, 2023). Ayrıca akıllı telefonlar, dijital kameralar, ev aletleri, robotlar, oyun konsolları ve daha birçok cihaz, gömülü sistemler tarafından kontrol edilir.

Gömülü sistemler; genellikle güç tüketimi, boyut, maliyet ve performans gibi özel gereksinimlere sahip oldukları için özel olarak tasarlanmışlardır. Bu sistemler genellikle tek bir mikrodnetleyici veya mikrodnetleyici tabanlı bir bilgisayar kullanır ve genellikle özel amaçlı bir işletim sistemine ihtiyaç duyarlar.

Gömülü sistemlerin geliştirilmesi ve tasarımı karmaşık bir süreçtir ve genellikle donanım ve yazılım mühendislerinin bir araya gelerek çalışması gerektirir. Donanım mühendisleri, sistem için uygun bir mikrodnetleyici seçer ve gerekli devreleri tasarlar ve üretirler. Yazılım mühendisleri ise, sistem için gerekli yazılımı geliştirir ve bu yazılımı mikrodnetleyiciye yükler.

Gömülü sistemlerin önemi giderek artmaktadır. Çünkü teknoloji hızla gelişmekte ve birçok alanda daha karmaşık ve daha akıllı cihazlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle; gömülü sistemlerin tasarımı ve geliştirilmesi, teknolojinin ilerlemesinde kritik bir rol oynamaktadır.

3.1.9. Gömülü Yazılım

Gömülü yazılım, bir mikrodnetleyici veya mikroişlemci üzerinde çalışan ve belirli bir donanımın kontrolünü ve yönetimini sağlayan yazılım türüdür. Bu yazılım, bulundukları sisteme özgü görevleri gerçekleştirmek üzere tasarlanır, belirli işlevleri yerine getirmek için gömülü sistemlerde çalışır (Kızılay & Öz, t.y.).

Gömülü yazılım, birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılır. Akıllı telefonlar, dijital kameralar, beyaz eşyalar, otomotiv sistemleri, tıbbi cihazlar, endüstriyel otomasyon

ekipmanları, oyun konsolları ve IoT cihazları gibi birçok cihaz, gömülü yazılım ile kontrol edilir.

Gömülü yazılımın özellikleri ve gereksinimleri, tasarlanacak cihazın belirli kullanım durumlarına ve donanım özelliklerine göre belirlenir. Bu yazılım, genellikle düşük güç tüketimi, hızlı tepki süresi, düşük bellek kullanımı, güvenilirlik ve gerçek zamanlı çalışma gibi özellikleri sağlamak için optimize edilir.

Gömülü yazılım geliştirme süreci, genellikle birçok aşamadan oluşur. Bu aşamalar arasında gereksinimlerin belirlenmesi, tasarım, uygulama, test ve doğrulama yer alır. Yazılımın doğru bir şekilde çalışması ve istenen işlevleri yerine getirmesi için titiz bir test süreci gereklidir.

Gömülü yazılım, günümüzde birçok cihazın temelini oluşturan ve teknolojinin birçok alanında yaygın olarak kullanılan önemli bir yazılım türüdür. Gömülü yazılımın doğru bir şekilde tasarlanması ve geliştirilmesi, cihazların güvenilirliği, performansı ve işlevselliği için kritik öneme sahiptir.

3.2.Proje Sistem Temel Bileşenleri

3.2.1. Sensör Seçimi ve Entegrasyonu

MPU-6050, hassas ivmeölçer ve jiroskop özelliklerini tek bir çiplik birimde birleştiren bir MEMS (Mikro Elektro Mekanik Sistem) tabanlı bir sensördür. İvmeölçer; cihazın ivmelenme veya hızlanma durumunu ölçerken, jiroskop, cihazın dönme veya eğilme hızını ölçer. MPU-6050, yüksek hassasiyet ve doğruluk sağlayan birçok uygulama için ideal olan bu iki temel özelliği bir araya getirir.

Bu sensör, genellikle IMU, giyilebilir teknolojiler, dronlar, otonom araçlar, akıllı telefonlar ve diğer taşınabilir cihazlar gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır. Ayrıca MPU-6050 sensörleri, gelişmiş doğruluk ve daha az konsültasyon için kas rehabilitasyon çözümlerinde diz açılarını tanıyan giyilebilir sistemlerde de kullanıldığı görülmektedir (Franco vd., 2022). MPU-6050'nin entegre yapısı, kullanıcıların birden fazla sensörü ayrı ayrı entegre etmek zorunda kalmadan hareket algılama ve izleme sistemleri oluşturmalarını sağlar.

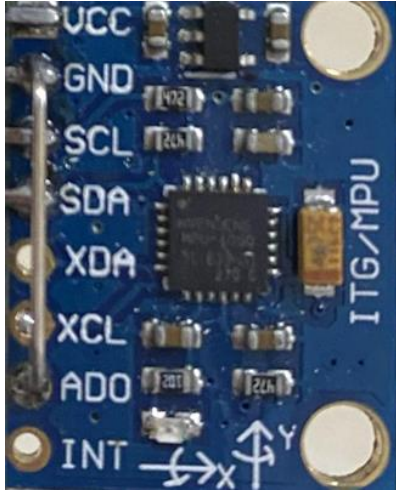
MPU-6050, I2C veya SPI gibi yaygın haberleşme protokollerini destekler ve bu da farklı mikrodenetleyicilerle kolay entegrasyon sağlar. Ayrıca, çeşitli hareket işleme algoritmalarını çalıştırmak için yeterli işlem gücüne sahiptir.

Bu sensör; çeşitli projelerde kullanıcıların hareket ve konum takibi, eğim tespiti, uzaktan kumanda, stabilizasyon ve çok daha fazlasını gerçekleştirmelerine olanak tanır. MPU-6050'nin kompakt boyutu, düşük güç tüketimi ve maliyet etkinliği, onu birçok endüstriyel ve tüketiciye yönelik uygulama için tercih edilen bir seçenek haline getirir.

MPU-6050 sensör tercih etmemize sebep olan avantajlarına bakılacak olursa sensörün entegrasyonun kolay olmasıdır. MPU-6050, hem ivmeölçer hem de jiroskop özelliklerini tek bir çip üzerinde birleştirir. Bu, birden fazla sensör entegrasyonunu gerektirmez, bu da devre tasarımını basitleştirir ve entegrasyon maliyetlerini azaltır.

Yüksek hassasiyetiyle MPU-6050, hassas ivmeölçer ve jiroskop bileşenlerine sahiptir. Bu yüksek hassasiyet, güvenilir veriler ve ölçüm doğruluğu sunar (Zhang vd., 2013).

MPU-6050, entegre yapı sayesinde küçük bir form faktörüne sahiptir. Bu, sensörün yerleştirilmesini ve montajını kolaylaştırır ve sınırlı alanlarda kullanılmasını sağlar.



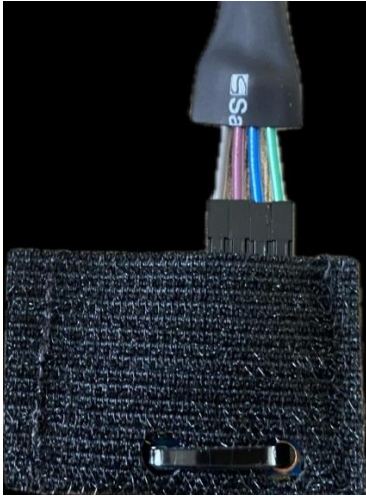
Resim 3.1 MPU650 Sensörü

MPU-6050, düşük güç tüketimiyle bilinir, bu da pil destekli cihazlar veya taşınabilir uygulamalar için idealdir. Düşük güç tüketimi, sensörün uzun pil ömrü sağlamasına yardımcı olmaktadır.

MPU-6050, I2C veya SPI gibi hızlı haberleşme protokolleriyle uyumludur. Bu, sensör verilerinin hızlı ve verimli bir şekilde mikrodenetleyiciye iletilmesini sağlamaktadır.

MPU-6050, performansı, maliyetine oranla oldukça düşüktür. Maliyetin etkin bir unsur olarak göz önüne alırsa sensör proje maliyetlerini düşürürken, yüksek kalitede sensör verileri sağlamaktadır.

Projede kullanılacak sensörler izole edilerek yelek üzerine yapışmayı sağlayan kumaş bantlar içerisine yerleştirilmiştir. (Resim 3.2)



Resim 3.2 MPU650 Sensörüne İzolasyon ve Kumaş Bant Uygulaması

3.2.2. PIC 16F886 Mikrodenetleyici

PIC 16F886, Microchip'in PIC mikrodenetleyici ailesine ait bir üründür. Bu mikrodenetleyici; düşük maliyetli, düşük güç tüketimli ve yüksek performanslı birçok gömülü sistem uygulaması için ideal olan 8-bit bir CMOS RISC (Complementary Metal Oxide Semiconductor - Reduced Instruction Set Computer) tabanlı çiptir. PIC mikrodenetleyici, giriş ve çıkış aygıtları, işlemci ve programları ve verileri depolamak için bellek ile yeniden programlanabilir, düşük maliyetli bir çözüm sunmaktadır (Bates, 2008).

PIC 16F886, Harvard mimarisine dayanan 8-bit bir mikrodenetleyicidir. Bu mimari, aynı anda veri ve program belleğine erişmeyi sağlar, bu da hızlı ve verimli bir işlem sağlar. PIC 16F886, 368 byte RAM (Random Access Memory) ve 368 byte EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) birlikte gelir. Ayrıca 14K flash bulunur. Çip,

28 adede kadar genel amaçlı dijital I/O pini içerir. Bu pinler, sensörler, göstergeler, motor sürücüler ve diğer harici bileşenlerle etkileşim için kullanılabilir.

PIC 16F886 mikrodnetleyicisi, zamanlama ve sayma işlevlerini gerçekleştirmek için zamanlayıcı ve sayıcıya sahiptir. Bu zamanlayıcılar ve sayıcılar; zamanlama tabanlı işlemleri gerçekleştirmek, kesmeler oluşturmak, zamanlayıcı olaylarını izlemek ve çeşitli zamanlama gereksinimlerini karşılamak için kullanılır. Aşağıda temel anlamda var olan zamanlayıcı ve sayıcılar hakkında bilgi verilmiştir.

PIC 16F886'da bulunan 8-bit Timer0, programlanabilir zamanlayıcıdır. Timer0, zamanlama işlemleri ve zamanlama kesmeleri oluşturmak için kullanılır. Genellikle zamanlama gereksinimleri için temel bir zamanlayıcı olarak kullanılır.

PIC 16F886, 16-bit Timer1 ve Timer3'e sahiptir. Bu zamanlayıcılar, daha uzun zaman aralıkları için daha hassas zamanlama sağlar. Timer1 ve Timer3, genellikle zamanlama, sayaç ve dış bileşenlerle eş zamanlama işlemleri için kullanılır.

PIC 16F886, programlanabilir bir 8-bit Timer2 de içerir. Timer2, zamanlama işlemleri için kullanılır ve genellikle darbe genişlik modülasyonu (PWM) ve zamanlanmış olayları kontrol etmek için kullanılır.

PIC 16F886, bir dizi haricen yapılacak işlemleri saymak için kullanılabilen birkaç sayıcıya sahiptir. Bu sayıcılar, dış tetiklemelere veya olaylara yanıt olarak belirli sayıda darbe veya döngüyü saymak için kullanılır.

Bu zamanlayıcılar ve sayıcılar, çeşitli gömülü sistem uygulamalarında zamanlama, periyodik işlemler, darbe genişlik modülasyonu ve diğer zamanlama tabanlı işlevlerin gerçekleştirilmesinde kritik bir rol oynar. Bu özellikler, PIC 16F886'nın geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmasını sağlar. Bu, zamanlama işlemleri, zamanlayıcı kesmeleri ve diğer zamanlama tabanlı uygulamalar için oldukça uygundur.

Mikrodnetleyici, diğer cihazlarla haberleşme sağlamaktadır. Mikrodnetleyici, SPI, UART ve I2C gibi seri iletişim protokolleri desteklemektedir.

PIC 16F886, 10-bit ADC içerir. Bu, analog sensörlerden gelen verileri dijital forma dönüştürmek için kullanılır.

PIC 16F886 mikrodnetleyicisi için geliştirme yapmak için çeşitli entegre geliştirme ortamları (IDE) ve programlama dilleri bulunmaktadır. Microchip'in MPLAB IDE'si ve C programlama dili sıkça kullanılan araçlardır.

PIC 16F886, düşük güç tüketimine sahiptir. Ayrıca esneklik, düşük maliyet ve kolay kullanımıyla, birçok gömülü sistem geliştiricisi ve mühendisi tarafından tercih edilmektedir.

3.2.3. HC 05 Bluetooth Modül

HC-05, uygulamalarda sıklıkla tercih edilen bir bluetooth modülüdür ve bluetooth haberleşme protokolünü uygular. Bu modül, genel anlamda mikrodnetleyiciler veya diğer elektronik cihazlar arasında kablosuz iletişim kurmak için kullanılır. Modül, mikrokontrolörler arasında sinyal aktarır ve bir Android uygulaması kullanılarak ev aydınlatma sistemlerinin kontrol edilmesi gibi IoT tabanlı uygulamalarda kullanılabilir (Mori & Swaminarayan 2021). HC-05, seri iletişim protokolü (UART) aracılığıyla veri iletimini sağlar ve genellikle geliştirme platformlarıyla entegre edilir.



Resim 3.3 HC 05 Bluetooth Modül

Modül, Bluetooth SPP protokolünü destekler. SPP, seri veri bağlantıları için standart bir bluetooth protokolüdür ve birçok uygulama için kullanışlıdır. Bu protokol, cihazlar

arasında seri veri iletimi sağlar, böylece veri okuma, yazma ve iletişim kurma gibi temel işlevleri gerçekleştirebilmektedir.

HC-05 modülü, AT komutları aracılığıyla yapılandırılabilir. Bu komutlar; modülün çalışma modunu, adını, iletişim hızını ve diğer ayarları yapılandırmak için kullanılır. Örneğin; modülün eşleştirme modunu açmak veya kapatmak, iletişim hızını ayarlamak veya cihazın adını değiştirmek için AT komutları kullanılabilir.

Sistem, birincil cihaz olarak çalışabilir (master) veya ikincil cihaz olarak çalışabilir (slave). Birincil cihaz, genellikle diğer cihazlarla iletişim kurmak ve onları kontrol etmek için kullanılırken, ikincil cihazlar genellikle birincil cihaza yanıt vermek için kullanılır.

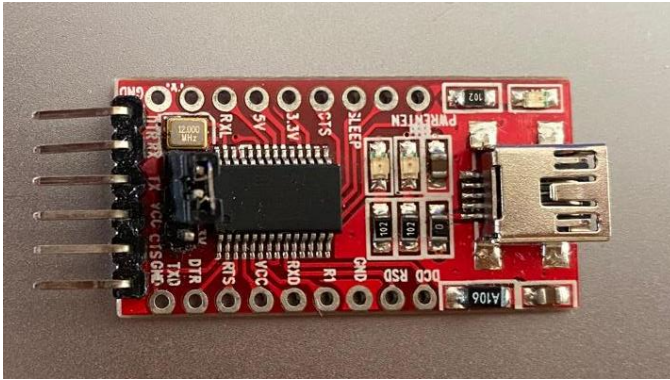
HC-05 modülü, geniş bir kullanım alanına sahiptir ve ev otomasyonu, robotik, uzaktan kumandalı araçlar, sağlık izleme cihazları ve diğer birçok uygulamada kullanılabilir.

3.2.4. FT232RL USB Modül

FT232RL, Future Technology Devices International tarafından üretilen ve USB ile seri dönüştürme işlevini sağlayan bir entegredir. Bu entegre, USB arabirimini kullanan bilgisayarlarla mikrodenetleyiciler veya diğer seri cihazlar arasında iletişim kurmayı kolaylaştırır.

USB 2.0 standartlarını destekleyen bir USB bağlantı noktasına sahiptir. Bu sayede bilgisayarlarla yüksek hızlı USB bağlantısı sağlayarak seri haberleşme sağlar. USB üzerinden seri haberleşme sağlar. Bilgisayarlarla veya diğer USB cihazlarıyla RS232, RS422, RS485 gibi yaygın seri protokolleri kullanarak iletişim kurabilir. USB arayüzü için gerekli tüm lojikleri ve protokolleri sağlar. Bu, USB ile seri haberleşme sağlamak için ekstra bir USB denetleyicisi gerektirmez.

Entegre, dahili UART ve FIFO bellekler içermektedir. Bu sayede seri veri iletiminde daha yüksek hızlar ve verimlilik sağlar. Modül bir dizi programlanabilir pin içerir. Bu pinler, USB bağlantı durumu, veri iletimi göstergeleri, aygıt sıfırlama ve diğer işlemler için kullanılabilir.



Resim 3.4 FT232RL USB Modül

Modül, FTDI tarafından sağlanan sürücülerle uyumlu çalışır ve bilinen ve sıklıkla kullanılan işletim sistemlerinde otomatik olarak tanınır.

3.3.Tasarım ve Yazılım Uygulama

3.3.1. Yelek Tasarımı

Yelek tasarımında öncelikli olarak sensörün kararlı olarak çalışabilmesi adına modelin üzerini tam olarak saracak esneklikte, aynı zamanda hareket kabiliyetini kısıtlamayan bir kumaş tercih edilmiştir.

Yelek formuna getirilen tasarım her vücut tipine ve bedenine ayarlanabilecek şekilde ayarlanabilir askılarla desteklenmiştir.

Sensörlerin yer alacağı yeğğin arka ve omuz başlarına nizami şekilde kumaş bantlar dikilmiştir. Kumaş bantlar alanı esnek yapı bozmayacak yönlerde genellikle dikey yönlerde geniş alana işlenmiştir. Bu yapıyı yöntemiyle kişiye göre ölçüm noktalarının değişmesi durumunda, sensörlerin yerinin değiştirilmesine imkân verilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, devrenin ve besleme ünitesinin yerleştirileceği cepler yük dengesi gözetilerek esneme özellikli kumaş ile yelek üzerine dikilmiştir.

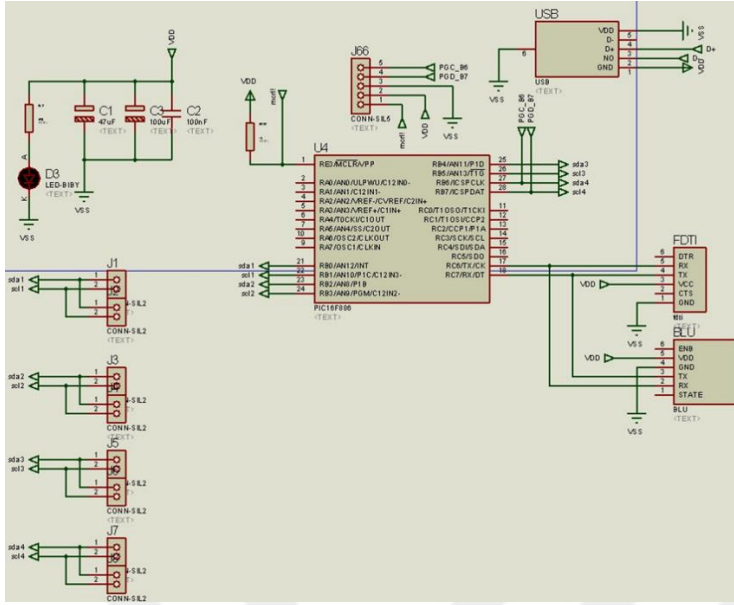
Yelek tasarımı, kullanıcının konforunu ve güvenliğini ön planda tutarak tasarlanmıştır.



Resim 3.5 Yelek Ön ve Arka Görünümü

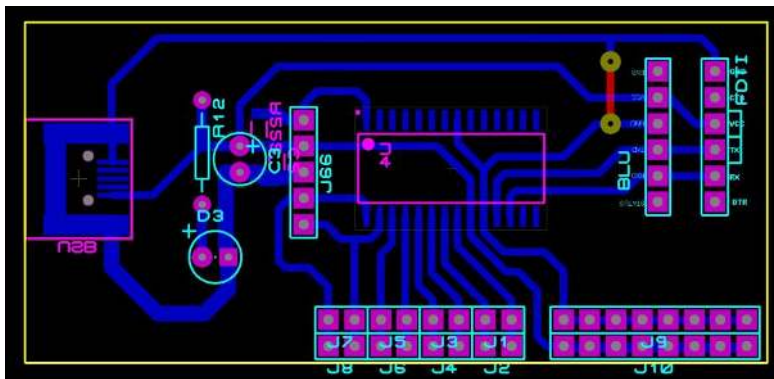
3.3.2. Devre Tasarımı

Devre tasarımı, elektronik bileşenlerin bir araya getirilerek belirli bir amaç doğrultusunda çalışan sistemlerin oluşturulması sürecini ifade eder. Bu süreç; elektrik akımı, gerilim ve sinyallerin yönetilmesi için çeşitli elektronik bileşenlerin seçilmesi, bağlanması ve düzenlenmesini içerir. Geniş bir yelpazede uygulamalara sahiptir ve bir devrenin tasarımı, genellikle belirli bir gereksinimi karşılamak için başlar. Bu gereksinimler genellikle bir işlevi gerçekleştirme, bir sinyali işleme veya bir cihazın kontrol edilmesi gibi görevleri içerebilir. Tasarım süreci, gereksinimlerin belirlenmesiyle başlar ve sonunda belirlenen hedefleri karşılayan bir devre ortaya çıkmasıyla son bulur.



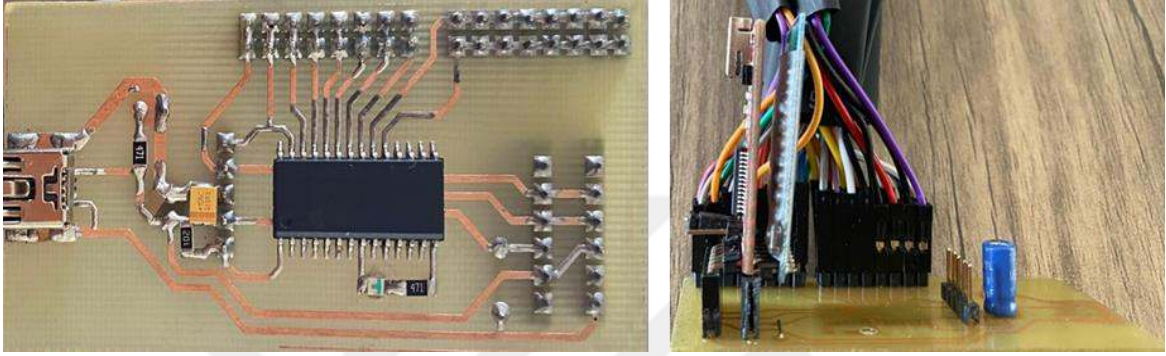
Resim 3.6 Devre Tasarımı

Bir devre tasarımı sürecine ilişkin adımların başında tasarımın hangi amaçla yapılacağını ve hangi kriterlerin karşılanması gerektiğinin belirlenmesi gelir. Ardından tasarımın ana bileşenlerinin belirlenerek ve bu bileşenlerin işlevleri atanır. Seçilen bileşenlerin bağlantılarının yapıldığı şematik çizim bilgisayar ortamında ya da endüstriyel olmayan kişisel basit çalışmalarda kâğıt üzerine ya da doğrudan PCB üzerine çizilebilir. Bilgisayar ortamında tasarlanan devrenin çalışması simülasyon ortamlarında test edilebilir. Bu adım, tasarım hatalarının ve performans sorunlarının tespit edilmesine yardımcı olmaktadır.



Resim 3.7 Tasarım PCB Aktarımı

Tüm sürecin sonunda, nihai devre kartını artık fiziki olarak yapabiliriz. Bu çalışmada ilk olarak amaç doğrultusunda bileşenler belirlendi ve devre çizimi yapılarak simülasyona tabi tutulmuştur. Simulasyon ve doğrulamayı aşaması tamamlandıktan sonra PCB aktarımına ilişkin çalışma yapılmıştır. Akabinde tasarım uygun ölçüdeki bakır plakaya aktarılarak kimyasal karışımla devre yolları çıkartılmıştır. Son olarak malzemelerin dizimi, lehimleme ve kablaj işlemi yapılmıştır.



Resim 3.8 Devre Kartı Görünümü

3.3.3. Kalibrasyon, Açık Hesaplamaları

Çalışmada kalibrasyon ve test aşaması sensörler için yapılmıştır. Sağlıklı veri almanın ilk adımı bu aşamada olduğu için bu kısım önem arz etmektedir. Öncelikle sensörler mikrodenetleyici ile teste tabi tutulmuştur. Resim 3.9 da yer alan kod parçacığı ile MPU-6050 sensörleri test edilmiştir.

```

#use i2c(MASTER, SDA=PIN_C4, SCL=PIN_C3, FAST=100000) // I2C ayarlari
#define MPU_ADDR 0xD0 // MPU-6050 I2C adresi
void main()
{
    int16 Ax, Ay, Az;
    int16 Temp;
    int16 Gx, Gy, Gz;
    delay_ms(100);

    i2c_start(); // I2C haberlesmesini baslat
    i2c_write(MPU_ADDR); // MPU-6050 I2C adresine yazma islemi yap
    i2c_write(0x6B); // PWR_MGMT_1 register adresi
    i2c_write(0); // Aygiti uyandır
    i2c_stop(); // I2C haberlesmesini sonlandırma

    while(TRUE)
    {
        i2c_start(); // I2C haberlesmesini baslat
        i2c_write(MPU_ADDR); // MPU-6050 I2C adresine yazma islemi yap
        i2c_write(0x3B); // Başlangıç veri okuma adresi
        i2c_restart(); // I2C haberlesmesini yeniden baslat
        i2c_write(MPU_ADDR | 1); // MPU-6050 I2C adresine okuma islemi yap

        Ax = i2c_read() << 8 | i2c_read(); // ivme verilerini oku
        Ay = i2c_read() << 8 | i2c_read();
        Az = i2c_read() << 8 | i2c_read();

        Temp = i2c_read() << 8 | i2c_read(); // sıcaklık verisini oku

        Gx = i2c_read() << 8 | i2c_read(); // jiroskop verilerini oku
        Gy = i2c_read() << 8 | i2c_read();
        Gz = i2c_read() << 8 | i2c_read();

        i2c_stop(); // I2C haberlesmesini sonlandır
    }
}

```

Resim 3.9 Sensör Test Kod Parçası

Sensörlerin çalışma, haberleşme testleri akabinde sensörlerden ham veriler alınarak bilgisayar portu üzerinden okuma yapılmıştır. Her bir sensör düzlem üzerinde hareket

ettirilerek USB den alınan ham verilerin değiştiği gözlemlenmiştir. Ham verilere ait bilgisayar ekran görüntüsü Resim 3.10’da verilmiştir.

```
Device:0 Ax:-0.10 Ay:0.29 Az:0.34 Gx:-0.58 Gy:0.43 Gz:0.13 Ter  
Device:1 Ax:-0.13 Ay:0.45 Az:0.09 Gx:0.03 Gy:0.77 Gz:0.54 Terr  
Device:2 Ax:0.01 Ay:0.16 Az:0.38 Gx:0.10 Gy:-0.68 Gz:-1.57 Ter  
Device:3 Ax:-0.08 Ay:0.01 Az:0.48 Gx:-0.32 Gy:-0.10 Gz:-0.51 Te  
Device:4 Ax:0.00 Ay:0.20 Az:0.38 Gx:-0.04 Gy:-0.80 Gz:-3.86 Te  
Device:5 Ax:-0.01 Ay:0.19 Az:0.36 Gx:-0.06 Gy:1.27 Gz:0.44 Ter  
Device:6 Ax:0.06 Ay:0.16 Az:0.45 Gx:0.08 Gy:-0.84 Gz:0.00 Terr  
Device:7 Ax:0.04 Ay:0.07 Az:0.46 Gx:0.11 Gy:-3.86 Gz:-1.93 Ter  
Device:0 Ax:-0.10 Ay:0.29 Az:0.33 Gx:-0.56 Gy:0.58 Gz:0.16 Ter  
Device:1 Ax:-0.13 Ay:0.46 Az:0.09 Gx:-0.14 Gy:0.54 Gz:0.79 Ter  
Device:2 Ax:0.02 Ay:0.16 Az:0.38 Gx:0.06 Gy:-0.50 Gz:-1.46 Ter  
Device:3 Ax:-0.07 Ay:0.01 Az:0.47 Gx:-0.31 Gy:1.89 Gz:-0.29 Ter  
Device:4 Ax:-0.01 Ay:0.20 Az:0.38 Gx:-0.02 Gy:-0.90 Gz:-3.88 Te  
Device:5 Ax:-0.01 Ay:0.19 Az:0.36 Gx:-0.14 Gy:1.19 Gz:-0.16 Ter  
Device:6 Ax:0.04 Ay:0.16 Az:0.44 Gx:0.05 Gy:-0.75 Gz:0.03 Terr  
Device:7 Ax:0.04 Ay:0.09 Az:0.45 Gx:0.10 Gy:-1.96 Gz:-1.80 Ter  
Device:0 Ax:-0.10 Ay:0.28 Az:0.35 Gx:-0.49 Gy:0.19 Gz:0.45 Ter  
Device:1 Ax:-0.12 Ay:0.46 Az:0.07 Gx:-0.03 Gy:0.51 Gz:0.48 Ter  
Device:2 Ax:0.01 Ay:0.16 Az:0.38 Gx:0.02 Gy:-0.54 Gz:-1.36 Ter  
Device:3 Ax:-0.08 Ay:0.01 Az:0.48 Gx:-0.30 Gy:0.16 Gz:-0.22 Ter  
Device:4 Ax:0.00 Ay:0.20 Az:0.37 Gx:-0.02 Gy:-1.21 Gz:-3.87 Ter  
Device:5 Ax:0.00 Ay:0.19 Az:0.36 Gx:-0.14 Gy:1.06 Gz:0.03 Terr  
Device:6 Ax:0.04 Ay:0.15 Az:0.44 Gx:0.10 Gy:-0.51 Gz:0.09 Terr  
Device:7 Ax:0.05 Ay:0.06 Az:0.45 Gx:0.05 Gy:-2.02 Gz:-0.01 Ter
```

Resim 3.10 Sensörlerden Ham Veri Okuma Bilgisayar Ekran Görüntüsü

Doğru açı, konum bilgisini alabilmek ve teyit etmek için MPU-6050 sensörü sabit bir yüzeye monte edilmiştir. Kalibrasyon için sensörleri y düzlemi esas alınmıştır. Sensörlerin bu düzlemdeki açıları açı ölçer ile belirlenerek ham verilerden açı hesapları yapılmıştır. Sensörün sabit durumundaki ivmeölçer ve jiroskop değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra bu değerleri kullanarak her eksen için dengeleme ve sapma değerleri çıkarılmıştır. İşlem tüm sensörler için tekrar edilmiştir. Elde edilen sapma değerleri, kodumuza dahil etmek adına

saklanmıştır. Böylece her başlangıçta sensörün otomatik olarak kalibre edilmesi sağlanması amaçlanmıştır.

Kalibrasyon sonrası sensörler her bir ölçüm tipi için gruplandırılmıştır. Kodumuzda kullanmak üzere açı ölçümlerini yapabileceğimiz matematiksel ifadeler belirlenmiştir. Uygulamada fiziksel anlamda, sensörün y eksenini kullanım yönü olarak belirlenmiştir. Genel Açı formülü de y eksenine göre hesaplanmış olup Radyan Açı Değeri (RAD) Denklem 3.1’de ve Derece Açı Değeri (DAD) dönüşümü Denklem 3.2’de verilmiştir. Burada RAD açısı yazılım kısmında hesaplanırken olası sonsuz çözümlerdeki açı değerlerini hesaplamak adına Ax ve Az değerlerinin eş zamanlı 0 değeri eşitliği kontrol edilmiştir ve tanımsızlığın önüne geçilmiştir.

$$RAD = \tan^{-1} \left(\frac{Ay}{\sqrt{Ax^2 + Az^2}} \right)$$

Denklem 3.1 Radyan Açı Değeri (RAD)

$$DAD = RAD * \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

Denklem 3.2 Derece Açı Değeri (DAD) Dönüşümü

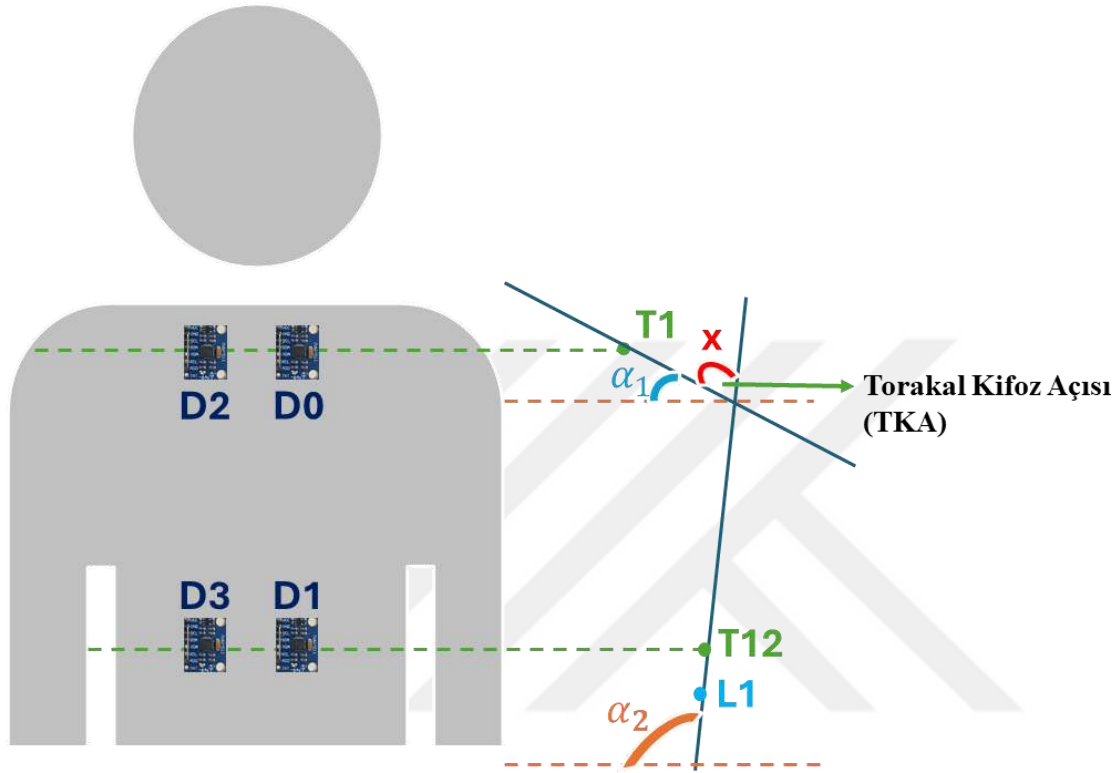
Sistem, analiz aşamasında doğruluğu artırmak için çiftli sensör gruplarıyla ölçüm yapılacak şekilde tasarlanmıştır. Açı hesapları sonrası analiz çeşitleri için sensör grupları tayin edilmiştir. Çalışmada, D0, D1, D2, D3 sensörleri kifoza tespitinde torakal kifoz açısının (TKA) hesabı için kullanılmıştır. Benzer şekilde D4, D5, D6, D7 sensörleri lomber lordoz tespitinde lomber lordoz açısının (LLA) hesabı için kullanılmıştır. TKA hesabına ilişkin açı hesabı geometrik modellemesi Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

$$TKA = x = \alpha_2 - \alpha_1$$

Denklem 3.3 TKA Eşitliği

Burada T12 torasik omur üzerinde yer alan D3 ve D1 no.lu sensör α_2 açısını T1 torasik omur üzerinde yer alan D2 ve D0 no.lu sensörler ise α_1 açısını ölçmektedir. Her iki grup sensör için üretilen açılardan yapılan TKA hesabı eşitliği Denklem 3.2 ile hesaplanmıştır.

Açının sağlıklı bireyler için değeri 20° ile 40° aralığındadır (Toros, 2002). Bu aralık dışındaki ölçümler yazılım anlamında kifoz tespiti veya bozuk duruş alarm tanımlamasıdır.

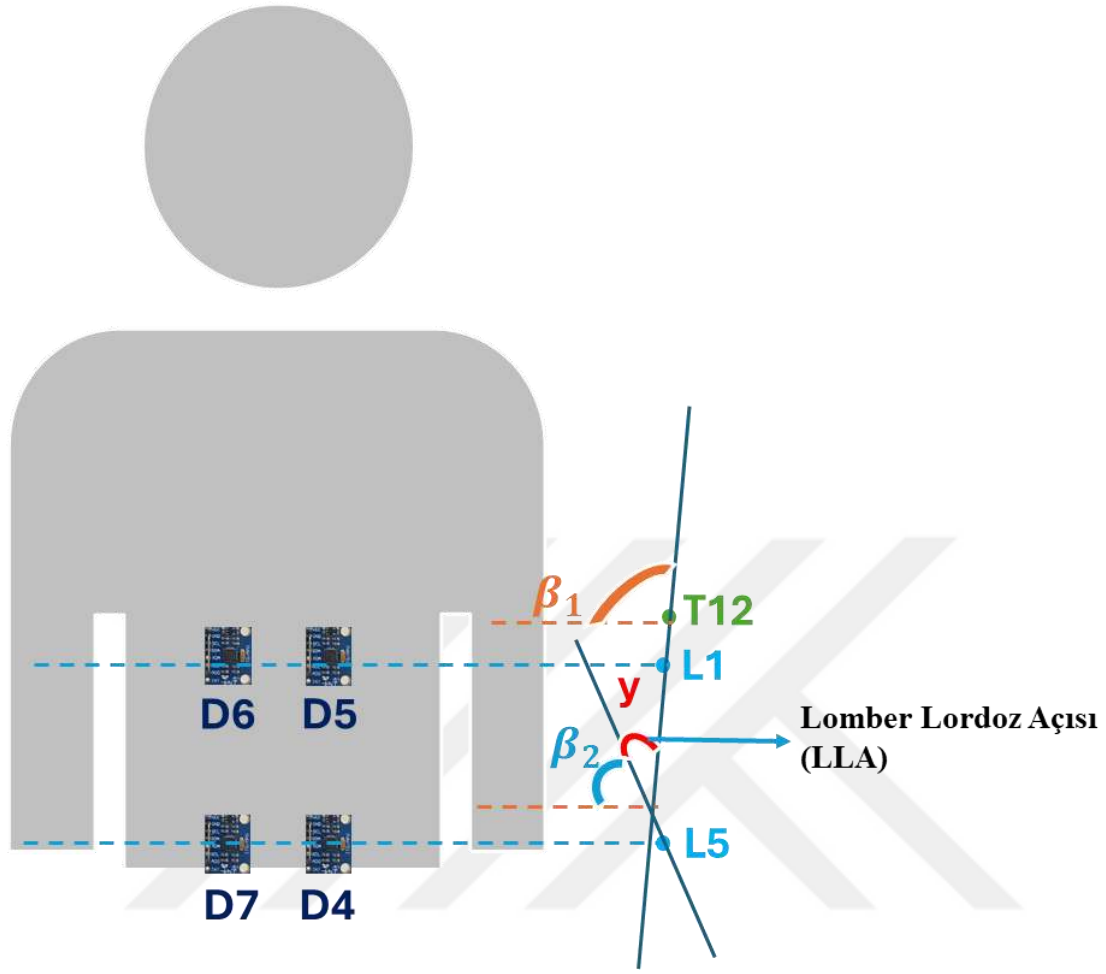


Şekil 3.2 TKA Geometrik Gösterim

LLA hesabına ilişkin açı hesabı geometrik modellemesi ise benzer şekilde Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Burada T12 torasik omur ve L1 lomber omurların üzerinde yer alan D5 ve D6 no.lu sensör β_1 açısını ve L5 lomber omur üzerinde yer alan D4 ve D7 nolu sensörler ise β_2 açısını ölçmektedir. Her iki grup sensör için üretilen açılardan yapılan LLA hesabı eşitliği Denklem 3.4 ile hesaplanmıştır. Açının sağlıklı bireyler için değeri 50° ile 60° aralığındadır (Ecerkale, 2006). Bu aralık dışındaki ölçümler yazılım anlamında lordoz tespiti veya bozuk duruş alarm tanımlamasıdır.

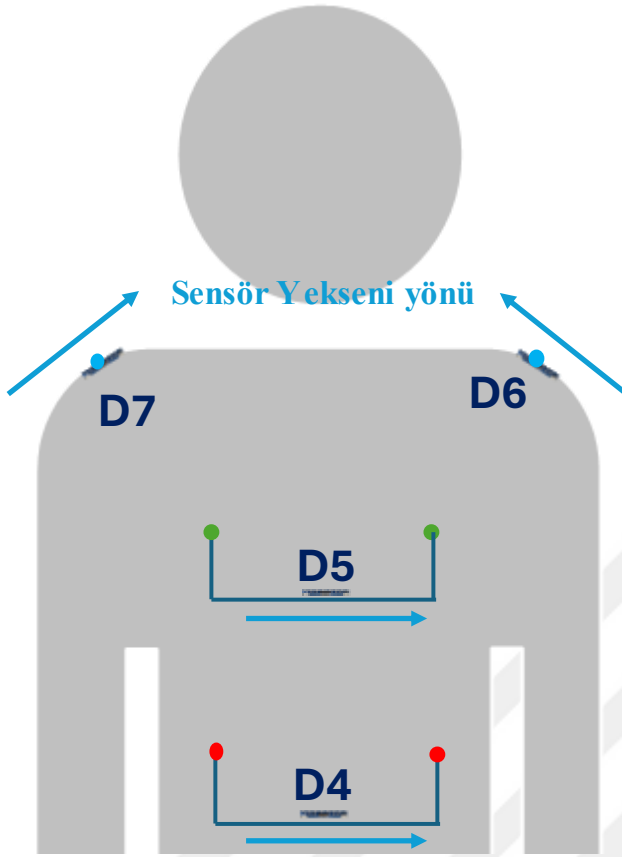
$$LLA = \beta_1 - \beta_2$$

Denklem 3.4 LLA Eşitliği



Şekil 3.3 LLA Geometrik Gösterim

Sistem, analiz aşamasında skolyoz varlığının tespitine ilişkin bir dizi ölçümler yapmaktadır. Skolyoz ölçümlerinde sensör gruplaması yapılarak omuz, sırt ve bel bölgesinden ölçümler yapılmak üzere analiz sistemi tasarlanmıştır.



Şekil 3.4 Skolyoz Tespiti Sensör Gruplaması

Şekil 3.4’te görüldüğü üzere sol omuz için D6, sağ omuz için D7 sensörleri tanımlanmıştır. D6 sensörünün ölçümünü yapacağı açıya x_1 , benzer şekilde D7 sensörünün ölçümünü yapacağı açıya x_2 tanımlaması yapılmıştır. Yelek üzerine bantlarla takılabilen ilave yanıl aparatla bel ve sırt bölgesindeki sensör, y düzlemi yere paralel olacak şekilde ölçüm yapmaktadır. Aparatın uçları sırt bölgesinde denge yapısını ölçmek üzere kürek kemiği uçlarına, bel bölgesinde benzer şekilde kalça kemiklerinin üst noktalarına sabitlenerek ölçüm alınacak şekilde tasarlanmıştır. Sırt bölgesinde ölçüm yapmak üzere D5 sensörü tanımlanmış ve yapacağı açı ölçümüne y_1 tanımlaması yapılmıştır. Bel bölgesinde ölçüm yapmak üzere D4 sensörü tanımlanmış ve yapacağı açı ölçümüne z_1 tanımlaması yapılmıştır. D7 ve D6 sensörlerinden alınan açıların skolyoz varlığı olmayan ve eşit omuz düşümüne sahip insanlar için x_1 ve x_2 açıların toplamının 180° olması ve D4, D5 açıların 0° olması beklenmektedir. Çalışmada kullanıcı hatası göz önünde bulundurularak ölçülen açılar için $\pm 1^\circ$ hata payı ile Tablo 3.1’de yer alan eşitlik aralıkları oluşturulmuştur.

Bölge	Sensör Grubu	Eşitlik	Eşitlik Doğruysa	Eşitlik Yanlışsa
Omuz	D6=x ₁ D7= x ₂	$179^{\circ} < x_1+x_2 < 181^{\circ}$	0	1
Sırt	D5= y ₁	$359^{\circ} < y_1 < 1^{\circ}$	0	1
Bel	D4= z ₁	$359^{\circ} < z_1 < 1^{\circ}$	0	1

Tablo 3.1 Bölge Açılış Eşitlik Tablosu

Sensörlerden gelen açı değerlerinin eşitlik aralıklarındaki durumuna göre doğruluk tablosu oluşturulmuştur. Yazılım için Tablo 3.2’de yer alan durumlarda bölgelere göre çıktı bilgisi hazırlanmıştır.

Omuz	Sırt	Bel	Eşitlik Doğruysa
0	0	0	Skolyoz Belirtisi Tespit Edilemedi.
0	0	1	Bel Bölgesi Skolyoz Belirtisi
0	1	0	Sırt Bölgesi Skolyoz Belirtisi
0	1	1	Sırt ve Bel Bölgesi Skolyoz Belirtisi
1	0	0	Omuz Bölgesi Skolyoz Belirtisi
1	0	1	Omuz ve Bel Bölgesi Skolyoz Belirtisi
1	1	0	Omuz ve Sırt Bölgesi Skolyoz Belirtisi
1	1	1	Tüm Bölgeler İçin Skolyoz Belirtisi

Tablo 3.2 Skolyoz Ölçümleri Doğruluk Tablosu

3.3.4. Mikrodenetleyici Programlama

Mikrodenetleyici programlama, mikrodenetleyicilerin kontrol ettiği sistemleri yönetmek ve kontrol etmek için yazılım geliştirmeyi içeren bir süreçtir. Mikrodenetleyici programlama, genellikle C, C++, Assembly gibi kademe anlamında düşük seviyeli programlama dilleriyle ve Arduino gibi daha yüksek seviyeli dil tabanlı entegre geliştirme

ortamları (IDE) kullanılarak gerçekleştirilir. Programlama dili seçimi, geliştiricinin tercihlerine, proje gereksinimlerine ve mikrodenetleyici platformuna bağlı olabilmektedir.

Mikrodenetleyici programlamanın ilk adımı geliştirme arayüzünün kurulmasıdır. İlgili mikrodenetleyici için uygun bir geliştirme ortamı seçilir ve kurulur. Bu ortam, programlama dilini yazmak, derlemek ve yüklemek için gerekli araçları sağlar.

İkinci adım olarak geliştirme arayüzünün kurulması ile programlama dilinin seçimi ve kod yazmadır. Geliştirici, belirli bir proje için uygun programlama dilini seçer ve ardından mikrodenetleyici üzerinde çalışacak kodu yazar. Bu kod; sensörlerin okunması, motorların kontrol edilmesi, veri iletişimi gibi çeşitli işlevleri içerebilmektedir.

Akabinde üçüncü adım kodun derlenmesi ve yüklenmesidir: Yazılan kod, seçilen programlama diline uygun bir derleyici kullanılarak derlenir. Derleme işlemi, kaynak kodun makine diline çevrilmesini ve mikrodenetleyici tarafından yürütülebilir bir formata dönüştürülmesini sağlar. Derlenen kod, bir programlama adaptörü veya seri bağlantı aracılığıyla mikrodenetleyiciye yüklenir. Bu işlem, mikrodenetleyici üzerindeki belleğe programın aktarılmasını sağlar.

Son adım olarak kodun kontrol edilmesi ve hata ayıklama aşamasıdır. Yüklenen kodun doğru çalıştığını doğrulamak için mikrodenetleyici test edilir. Olası hatalar belirlemek ve düzeltmek için hata ayıklama araçları kullanılır.

Bu çalışmada PIC mikrodenetleyiciyi programlamak adına C tabanlı, CCS C derleyicisi tercih edilmiştir. C; genel amaçlı, yüksek seviyeli bir programlama dilidir. Dennis Ritchie tarafından 1972 yılında Bell Labs'te geliştirilmiştir. C; hızlı, taşınabilir ve güçlü bir dil olarak tanınır. Başlangıçta UNIX işletim sistemi geliştirmek için tasarlanmış olmasına rağmen, günümüzde birçok farklı platformda geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir.

C programlama dili; yazılım geliştirme, sistem programlama, gömülü sistemler, sürücü geliştirme, oyun programlama ve daha birçok alanda yaygın olarak kullanılır. Basit söz dizimi, güçlü kütüphane desteği ve geniş kullanım alanları, C dilini programcılar arasında popüler hale getirir.

Mikrodenetleyicilerin programlanması, özel programlama dilleri veya derleyiciler gerektirebilir. Ancak, C programlama dili, mikrodenetleyiciler için oldukça popüler bir seçenektir. C dili, küçük gömülü sistemlere yönelik yazılım geliştirmek için en uygun

dildir ve bu dille nesne yönelimli geliştirme tekniklerinin kullanılmasına yönelik imkan sağlar (Pont, 2003). C dilinin kullanılması, geniş bir kullanıcı kitlesine sahip olması, taşınabilirlik, hız ve esneklik gibi avantajlar sağlar.

Mikrodenetleyiciler için bir C derleyicisi, C programlarını mikrodenetleyicilerin anlayabileceği makine diline çevirir. Bu, programcıların C dilinde yazılmış kodları, mikrodenetleyicilerde çalıştırılabilir hale getirmesini sağlar. Birçok mikrodenetleyici için farklı C derleyicileri mevcuttur ve bu derleyiciler genellikle mikrodenetleyici üreticileri tarafından sağlanır.

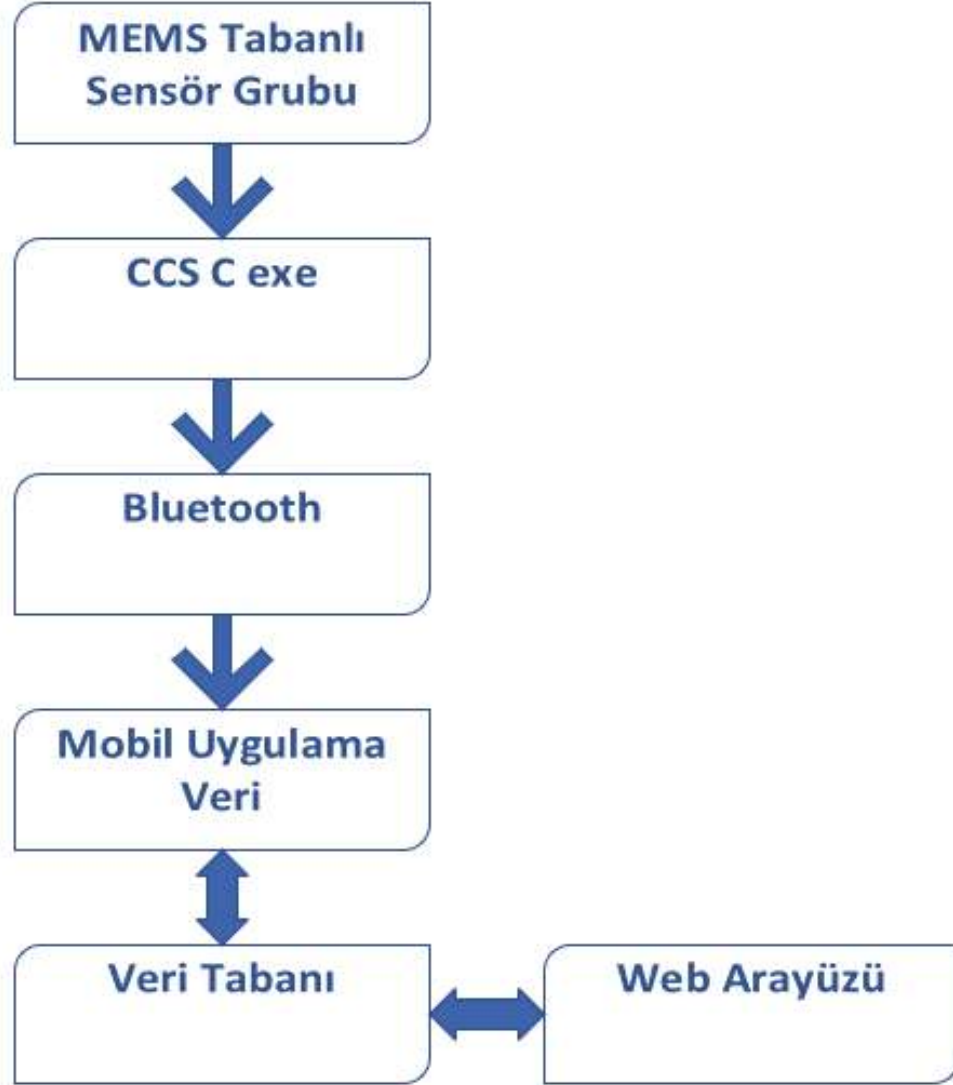
Mikrodenetleyiciler için C derleyicileri, genellikle geliştiricilere çeşitli avantajlar sunar. Bu avantajlar arasında kullanım kolaylığı, geniş kütüphane desteği, taşınabilirlik ve hızlı geliştirme süreçleri bulunur. C dilinin kullanılması ayrıca, programcıların daha karmaşık projeleri daha kolay yönetmesini sağlar.

CCS C, mikrodenetleyiciler için C dilinde yazılım geliştirmeye olanak tanıyan bir derleyici ve geliştirme ortamıdır. CCS C derleyicisi, PIC mikrodenetleyicilerini programlamak için ANSI standart sözdizimini ve yapılarını kullanır (Bates, 2008). Custom Computer Services tarafından geliştirilmiştir. CCS C, özellikle PIC mikrodenetleyicileri için tasarlanmıştır ve PIC mikrodenetleyicilerinin donanım kaynaklarına kolayca erişim sağlayarak geliştirme sürecini kolaylaştırır.

CCS C, geliştiricilere PIC mikrodenetleyicileriyle uyumlu olan geniş bir yelpazeyi destekler. Farklı PIC ailelerine ve modellerine yönelik kapsamlı bir destek sunar. CCS C, geliştiricilere kod yazma, derleme, hata ayıklama ve mikrodenetleyiciye yükleme gibi işlemleri gerçekleştirebilmeleri için bir bütünleşmiş geliştirme ortamı (IDE) sağlar.

CCS C'nin özellikleri arasında kütüphaneler ve hazır fonksiyonlar bulunur. Bu kütüphaneler, sensörlerle iletişim kurmayı, ekranlarla etkileşimde bulunmayı, iletişim arabirimlerini kullanmayı ve daha fazlasını sağlar. Ayrıca CCS C, geliştiricilere PIC mikrodenetleyicilerinin donanım kaynaklarına doğrudan erişim sağlar.

CCS C, basit ve anlaşılabilir bir sözdizimine sahiptir, bu da hem deneyimli hem de yeni başlayan geliştiricilerin CCS C ile verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Ayrıca CCS C, genişletilebilirlik sağlar ve geliştiricilere kendi fonksiyonlarını ve kütüphanelerini oluşturma ve entegre etme imkânı sunar.



Şekil 3.5 Yazılım Akış Şeması

3.3.5. Mobil Uygulama Geliştirme

Bu çalışmada mobil uygulama geliştirmek için Flutter kiti kullanılmıştır. Dart, kullanıcı arayüzü geliştirmek için kullanılırken, Firebase veritabanı yönetimi, kimlik doğrulama ve kullanıcı verilerinin depolanması için kullanılmıştır. Kullanıcıların güvenli bir şekilde uygulamaya erişimini kontrol etmek için Authentication kullanılmıştır. Mobil uygulamanın geliştirilmesi aşamasında ham verilerin iletilmesi ve aç hesapları Resim 3.11 ve Resim 3.12 de gösterilmiştir.

Bluetooth ile Gelen Data:

Device:0 Ax:-0.24 Ay:0.37 Az:0.12
Gx:-0.31 Gy:0.09 Gz:0.32 Temp:27.24
Device:1 Ax:-0.25 Ay:0.42 Az:0.04
Gx:-0.14 Gy:0.41 Gz:0.44 Temp:33.17
Device:2 Ax:-0.15 Ay:0.43 Az:0.01
Gx:-0.11 Gy:-2.50 Gz:-0.85 Temp:68.24

Resim 3.11 Ham Sensör Verilerinin Uygulamada Okunması

Device:4
Açı: 100.37 derece

Device:5
Açı: 55.78 derece

Device:6
Açı: -34.96 derece

Device:0
Açı: 266.42 derece

Device:1
Açı: 224.74 derece

Device:3
Açı: 80.63 derece

Device:7
Açı: 74.65 derece

Device:2
Açı: 180.00 derece

Resim 3.12 Sensör Açılarının Uygulamada Okunması

Flutter, Google tarafından geliştirilen ve tek bir kod tabanından hem Android hem de iOS platformları için yüksek kaliteli, güzel ve performanslı mobil uygulamalar geliştirmeyi sağlayan bir açık kaynaklı bir SDK'dir. Flutter; hızlı, esnek ve kullanımı kolay bir çerçeve

sunar ve geliştiricilere çeşitli özelliklerle dolu modern mobil uygulamalar oluşturma imkânı verir. Hot Reload özelliği sayesinde, kod değişikliklerinin anında görüntülenmesini sağlayarak geliştirme sürecini hızlandırır. Zengin widget kütüphanesiyle birlikte kullanıcı arayüzlerini kolayca oluşturmaya ve özelleştirmeye olanak tanır.

Ahead of Time (AOT) ve Just in Time (JIT) derlemesi kullanarak uygulamaların hızını optimize eder ve yüksek performanslı animasyonlar ve akıcı kullanıcı deneyimi sağlar.

Dart, Google tarafından geliştirilen ve 2011 yılında tanıtılan açık kaynaklı bir programlama dilidir. Dart programlama dili, genellikle Flutter ile kullanılır ve mobil uygulamaların geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılır. Dart; özellikle web, mobil ve masaüstü uygulamaları geliştirmek için tasarlanmıştır. Özellikle Google'ın Flutter framework'ü ile popülerlik kazanmıştır.

Dart'ın çok çeşitli kullanım alanları vardır ve web uygulamaları, sunucu tarafı geliştirme, oyun geliştirme ve daha fazlası için de kullanılabilir. Dart'ın basit sözdizimi, güvenlik özellikleri ve performansı, geliştiriciler arasında popülerliğini artıran önemli özellikleridir.

Firebase; Google tarafından sağlanan bir platformdur ve geliştiricilere uygulamalarını geliştirmek, sunmak ve büyütmek için çeşitli araçlar ve hizmetler sunar. Firebase, web, mobil ve masaüstü uygulamaları için bir dizi bulut tabanlı hizmet içerir ve genellikle geliştiricilere zaman kazandıran, altyapıya odaklanmalarını sağlayan ve kullanıcı deneyimini geliştiren bir dizi araç sunar.

Gerçek zamanlı olarak veri senkronizasyonunu sağlayan JSON (JavaScript Object Notation) tabanlı bir veri tabanı nedeniyle kullanıcılar arasında anlık veri değişimini mümkün kılar. Kullanıcılara uygulama dosyalarını depolama imkânı sunan bir bulut depolama hizmeti mevcuttur. Ayrıca Firebase Hosting ile web uygulamalarında hızlı ve güvenli bir şekilde yayınlamaya olanak tanır ve SSL sertifikaları, küresel dağıtım ve CDN (Content Delivery Network) entegrasyonu gibi özellikler sunar.

Authentication, bir uygulamanın kimlik doğrulama sistemi, kullanıcıların belirli kaynaklara güvenli bir şekilde erişmelerini sağlar ve bu sayede uygulamanın güvenliğini sağlar. Web ve mobil uygulamalarında kimlik doğrulama, kullanıcıların güvenli bir şekilde kaydolmalarını, giriş yapmalarını ve uygulamanın sunduğu özelliklere erişmelerini sağlar. Kimlik doğrulama genellikle kullanıcı adı ve şifre çifti kullanılarak yapılır, ancak sosyal

medya hesapları, OAuth protokolü gibi dış kimlik sağlayıcıları veya biyometrik veriler gibi alternatif yöntemler de kullanılabilir.



Giriş Yap

Email

Şifre

☐ Beni Hatırla

Giriş Yap

Şifreni mi unuttun?

Hesabın Yok mu? Kayıt Ol



Kayıt Ol

Ad

Soyad

Email

Şifre

Şifre Tekrar

Devam Et

Zaten Hesabın var mı? Giriş Yap

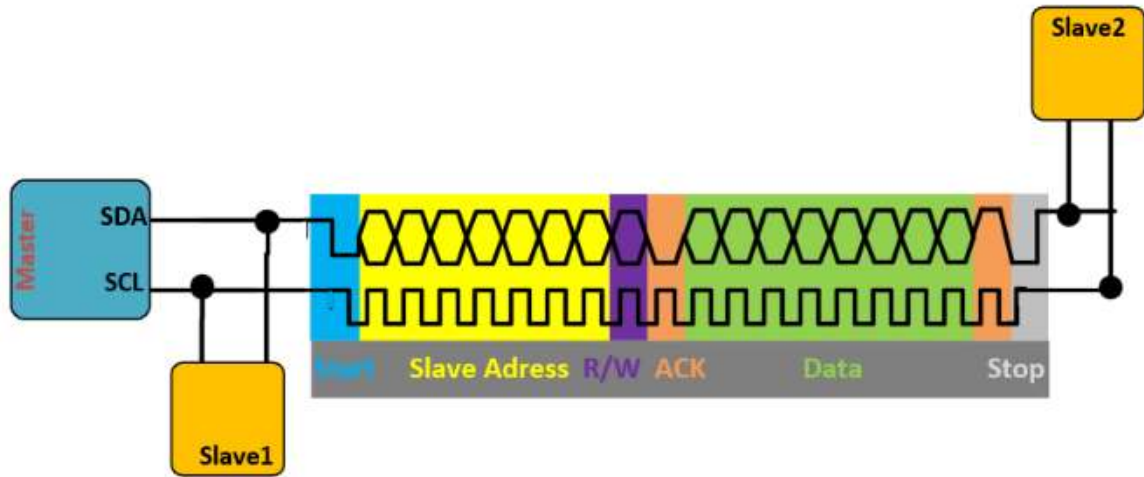
Resim 3.13 Mobil Uygulama Kimlik Doğrulama Ekranı

3.4.Projede Kullanılan Haberleşme Protokolleri

3.4.1. I2C Seri Haberleşme Protokolü

I2C protokolü, yalnızca iki kabloyu (SDA ve SCL) kullanarak yavaş ve hızlı cihazlar arasında bilgi alışverişi yapmak için kullanılan bir seri iletişim protokolüdür (Pandey vd., 2018). Philips Semiconductor tarafından geliştirilen I2C, 1982 yılında ilk olarak tanıtılmıştır. Mikrodenetleyiciler, sensörler, ekranlar, EEPROM'lar, gerçek zamanlı saatler ve diğer birçok entegre devre (IC) tarafından desteklenir.

I2C, bir anahtarlayıcıya (master) ve bir veya daha fazla cihaza (slave) dayanır. Anahtarlayıcı, haberleşmeyi kontrol eden ve cihazlar arasında veri transferini koordine eden bir kontrol birimini temsil eder. Cihazlar, anahtarlayıcıya bağlı olarak komutları alır ve yanıtlarını gönderirler.



Şekil 3.6 I2C Haberleşme Şeması

I2C, iki iletim hattı kullanır: SDA ve SCL. SDA hattı, veri iletimi için kullanılırken, SCL hattı, veri saatini sağlar. Bu hatlar, açık kolektörlü veya entegre transistörlerle bağlıdır; bu da birden fazla cihazın aynı hatta veri göndermesine olanak tanımaktadır.

I2C, düşük hızlarda, genellikle kHz seviyelerinde çalışan bir haberleşme protokolüdür. Bu nedenle, genellikle kısa mesafelerde kullanılır. Ancak, daha yüksek hızlarda çalışan çeşitleri de bulunmaktadır.

I2C'nin ana avantajlarından biri, az sayıda pin kullanarak birden fazla cihaz arasında iletişim kurabilmesidir. Ayrıca, çoklu anahtarlayıcı ve çoklu cihaz desteği ile geniş bir sistem entegrasyonunu destekler.

I2C, birçok elektronik cihazın temel iletişim protokolüdür ve birçok mikrodenetleyici ve sensör tarafından desteklenir. Karmaşık sistemlerde veri iletişimini yönetmek için kullanılan bu protokol, elektronik sistemlerin düşük seviyede etkili bir şekilde iletişim kurmasını sağlar.

3.4.2. UART

UART; gömülü sistemlerde seri veri iletimi için kullanılan; seri, asenkron, tam çift yönlü bir iletişim protokolüdür (Wang, 2023). Bir UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), veri iletimi ve alımı için gerekli donanım ve mantıksal işlevleri sağlar. Bilgisayarlar, mikrodenetleyiciler, iletişim ekipmanları ve diğer elektronik cihazlar gibi birçok cihazda kullanılır. UART, seri veri iletimi sağlar. Paralel veri, bit bazında birer birer gönderilir ve alınır. Veri, bir başlangıç biti, belirli bir sayıda veri biti, bir veya birden fazla parite biti ve bir veya birden fazla durma bitiyle birlikte gönderilir.

UART; bağımsız, veri iletimi ve alımı için bağımsız bir zamanlama mekanizması kullanır. Bu, veri gönderen ve veri alan cihazlar arasında zamanlama uyumsuzluğu olduğunda bile güvenilir iletişimi sağlar.

Protokol, asenkron veri iletimini destekler. Bu, veri bitlerinin bir zamanlama sinyali olmadan gönderilmesini sağlar. Veri gönderici ve alıcı, birbirlerinden bağımsız olarak kendi zamanlama sinyallerini kullanır.

UART, farklı bağlantı hızlarını destekler. Bu, veri iletim hızının belirli bir uygulamaya veya iletişim gereksinimlerine göre ayarlanmasını sağlar. Seri haberleşme gereksinimlerini karşılamak için geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bilgisayarlar arasında seri iletişim, mikrodenetleyicilerle sensörler arasında veri alışverişi, uzaktan kumanda sistemleri ve diğer birçok uygulamada kullanılır. Bilgisayarlar arasında dosya transferi, akıllı cihazlar arasında haberleşme, sensör verilerinin okunması gibi birçok elektronik cihazın temel haberleşme gereksinimlerini karşılar.

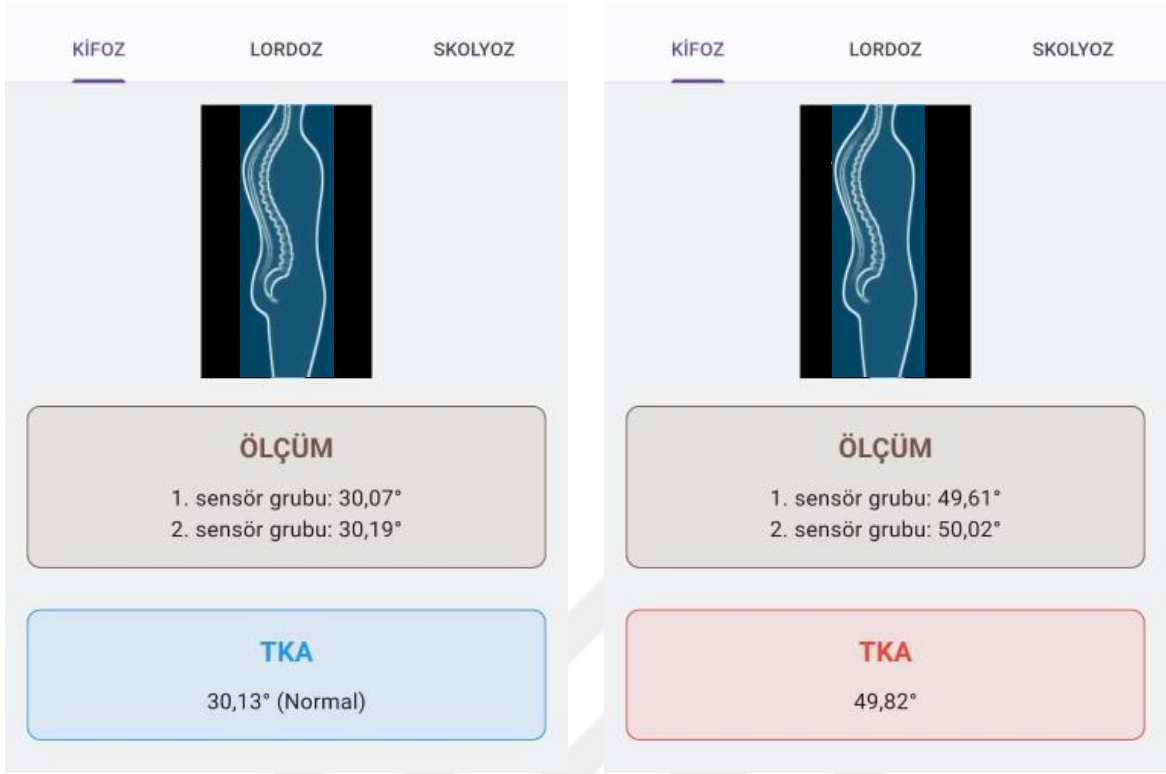
UART Protokolü, basit bir donanım yapısına sahiptir ve genellikle mikrodenetleyicilerin veya diğer entegre devrelerin bir parçası olarak kolayca dahili olarak kullanılabilir. Ayrıca, veri iletimi için düşük seviyeli bir protokol sağlar, bu da veri alışverişi için yüksek verimlilik sağlar.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

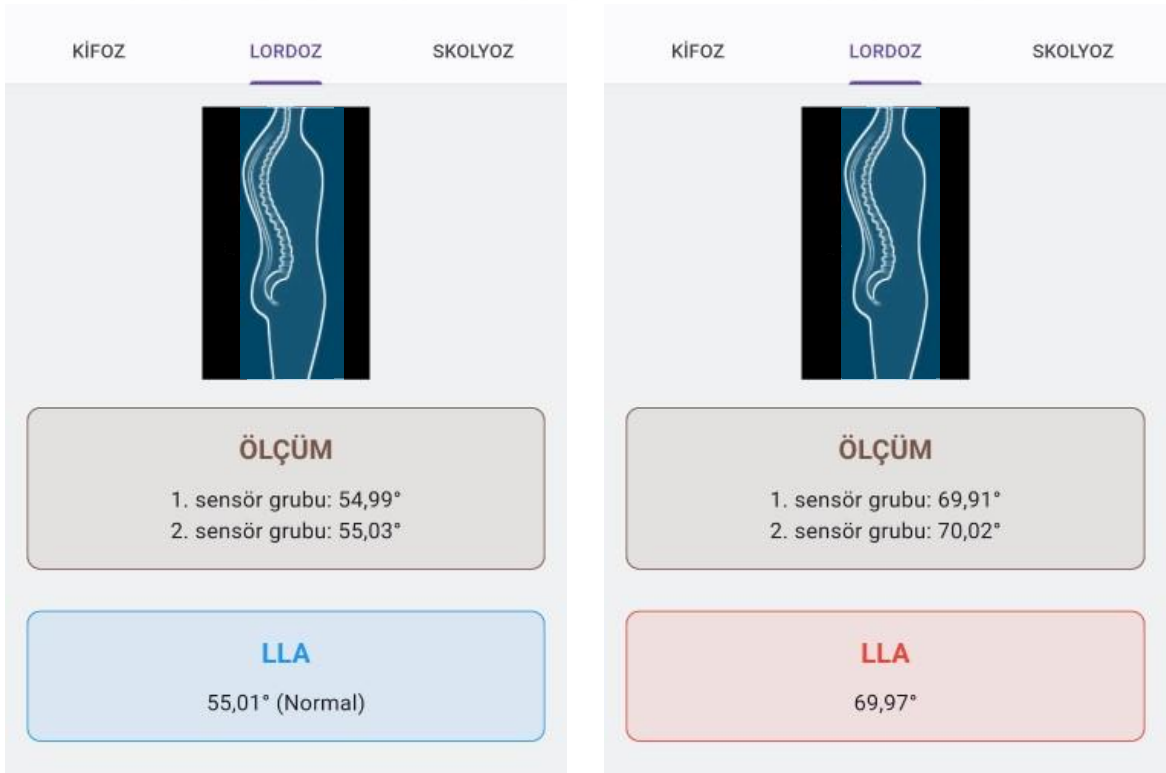
Nihai tasarımdan ölçüm almak adına şekil verilebilen yapıya sahip spiral çubukla desteklenmiş cansız manken gövde modeli üzerinde çalışılmıştır (Resim 4.1). Modelin omurga formunu oluşturacak spiral çubuğun üzerinde servikal, torakal, lomber kısımlar belirlenmiştir. Spiral yapı her ölçüm öncesi açı ölçer ile ayarlanmış akabinde yelekli ölçüm alınmıştır. Çalışmamızda torakal kifoz ve lomber lordoz ölçümlerine ait ayarlanan ve modelden alınan ölçüm verileri EK-1 ve EK-2’de verilmiştir. Torakal kifoz ve lomber lordoz ölçümlerine ait mobil uygulama ekran görüntüleri Resim 4.2 ve Resim 4.3’te verilmiştir.



Resim 4.1 Model Üzerinde Ölçüm

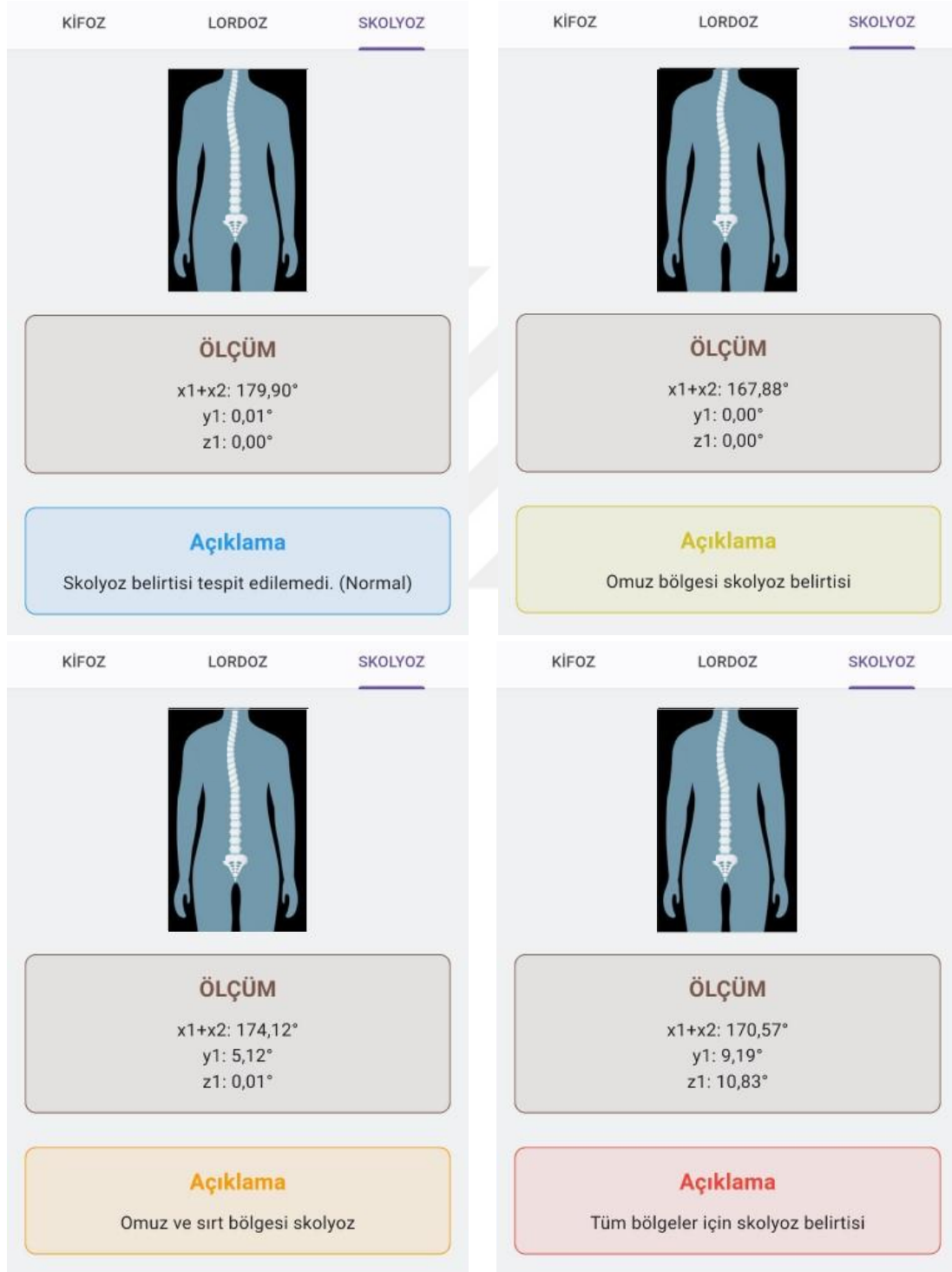


Resim 4.2 Torakal Kıföz Açı Ölçümü Mobil Uygulama Ekranı



Resim 4.3 Lomber Lordoz Açı Ölçümü Mobil Uygulama Ekranı

Mevcut modelin omuz başlarına, sırt kürek kemik uç noktalarına ve kalça kemikleri baş noktalarına destek materyalleri yerleştirilmiştir. Materyaller belirlenen mesafelerde ve açılarda model üzerine yerleştirilmiştir. Modele yelek giydirilerek model üzerinde skolyoz varlığını tespit etmek adına ölçümler yapılmıştır.



Resim 4.4 Skolyoz Tespit Ölçümü Mobil Uygulama Ekranı

Ölçümlere ait veriler EK-3 ve EK-4'te yer almaktadır. Skolyoz tespitine ait mobil uygulama ekran görüntüleri Resim 4.4'te verilmiştir.

Çalışmada model çıktısı olarak bulunan ölçümlerde bulunan kifoz, lordoz açı değerlerinin ve skolyoz ön tanısına ilişkin verileri teyit edebilmek için görüntüleme cihazlarıyla teşhis konulmuş hasta ve sağlıklı bireylerin verilerine bununla beraber bireylerin katılımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu aşamada insanlı yürütülecek çalışma için etik kurulunun iznine ihtiyaç vardır. Tez sonrasında alınması muhtemel kurul onayı ile teyit niteliğindeki çalışmalar yapılacaktır. Bu süre zarfında tasarımın üzerinde gelecek çalışmalara da ilham olması muhtemel iyileştirmeler üzerine çalışılacaktır.

Adölesan idiyopatik skolyoz (AIS) hastalarına ilk ziyarette ve her klinik takip seansında radyografik muayene yapılır ve buradan Cobb açısı ölçülür (Komeili vd, 2015). Cobb açısı kullanarak röntgen muayenesinin vertebral değişikliğinin tanı ve takibinde kabul görmüş bir metot olduğu bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada X-ışınlarını kullanmanın postür değerlendirmesinin yanında her bir vertebral gövdenin şeklinin de görselleştirilmesini sağladığı için en önemli yöntem olduğunu savunmakla beraber radyasyona maruz kalma, maliyet ve kullanılabilirlik gibi kısıtlamaların varlığı nedeniyle, radyolojik olmayan yöntemler giderek daha yaygın bir hale geldiği belirtilerek X-ışını ölçümünün yerini alması muhtemel olan ve nispeten daha kullanışlı, uygun maliyetli ve invaziv olmayan cihazların gerektiğini belirtmişlerdir (Itoi & Mori, 2017).

Röntgen, MR, BT, veya diğer görüntüleme tekniklerinin kullanımı omurga eğriliği gibi yapısal sorunları tespit etmeye yardımcı olabilmektedir. Fakat literatürde radyasyon temelli tespitlerde, maruziyete ilişkin olumsuz araştırmalar vardır. BT taramaları klinik olarak çok yararlı olmasına rağmen, özellikle yetişkinlere göre radyasyon hassasiyeti olan çocuklar için iyonlaştırıcı radyasyonla ilişkili potansiyel kanser riskleri mevcuttur (Pearce vd., 2012).

Yapılan başka bir araştırmada görüntüleme tekniklerinin tanılama açısından çok büyük faydalar sağlamasına rağmen 1980'den bu yana ABD nüfusunun tıbbi radyasyona maruz kalma oranındaki %600'lük artışın hastalar için gelecekteki potansiyel kanser risklerini de artırdığı anlaşılmaktadır. (Linnet vd., 2012).

Yapılan başka bir çalışmaya (Banerjee & Thomas, 2019) baktığımızda, otuz beş çocuğa omurga BT taraması yapılmıştır ve 757 omurga radyografisi çekilerek BT taramasından

elde edilen ortalama radyasyon dozu 20,3 mSV olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın karşılaştırılmalı neticesinde BT taraması ile ortalama yaşam boyu ek kanser riski %0,37 olarak saptanmıştır. Ayrıca, radyasyon dozu ile artan kanser riski arasında anlamlı ($P < 0.0001$) pozitif bir korelasyon bulunmuştur.

Bu tez çalışmasında, ölçüm sırasında kullanılan sensörler vücuda teması söz konusu olmamakla birlikte ölçümler sırasında herhangi bir radyasyon temelli bir ışıınım meydana gelmemektedir. Tasarımı yapılan sistemin güvenli olması ve de görüntüleme birimlerindeki yoğunluğu ve genel yönetimlere olan mali külfetini azaltabilecek nitelikte olması artıları arasında yer almaktadır. Ayrıca sisteme bütün halde baktığımızda bir veri tabanı oluşturularak çalışılması durumunda kullanıcı takibinin kolaylıkla sağlanması, bireyler hakkında istatistiki verilerin oluşturulması ve analiz edilebilmesi sistemin yine olumlu bir yanıdır.

Tasarlanan sistem mobil uygulama desteği ve de ergonomik yapısı sayesinde akıllı teknolojiler kapsamında günlük hayatta kullanılabilir. Günlük kullanımda genel anlamda egzersiz takip, rehabilitasyon takip, yaşlı bireyler için önleyici ve iyileştirici bir yapıda kullanıma sunulabilir.

Tez çalışması için tasarlanan sistemin diğer potansiyel uygulamalarına biraz daha açmak gerekirse giyilebilir sensörlerle spor ve egzersiz aktiviteleri izlenebilir. Sistem; adım sayma, koşu hızı ve mesafesi ölçme, kalori yakma tahmini gibi spor aktivitelerini izlemek için kullanılabilir. Ayrıca, egzersiz sırasında vücut pozisyonunu ve hareketini izleyerek doğru pozisyon ve hareket formunu sağlamak için de kullanılabilir.

Sistem, insanların uyku pozisyonunu izleyebilir ve uyku kalitesini değerlendirebilir. Ayrıca; yaşlı, hasta bireyler için yatay pozisyonunu izleyerek, düşme durumlarında alarm verme gibi güvenlik önlemleri alabilir. Yine sağlık alanında fizyoterapi ve rehabilitasyon cihazlarında kullanılabilir. Örneğin, hareket kısıtlılığı olan hastaların egzersizlerini izlemek ve doğru hareketleri teşvik etmek için kullanılabilir.

Sistem akıllı teknolojiler alanında, el hareketlerini veya vücut pozisyonunu kullanarak kullanıcı arabirimleri kontrol etmek için kullanılabilir. Örneğin, akıllı saatlerde veya diğer giyilebilir cihazlarda hareket tabanlı komutları algılamak için kullanılabilirler.

Giyilebilir sensörler kullanıcının baş hareketlerini takip etmek için sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) uygulamalarında kullanılabilir. Sistem ayrıca hareket tabanlı

oyun kumandaları ve oyuncaklar için kullanılabilir. Kullanıcıların vücut hareketlerini gerçek zamanlı olarak algılayarak, oyuncuların oyun içinde etkileşime girmesini sağlar.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında tasarlanan sistemle model üzerinde, farklı açı kombinasyonları ile 34 adet TKA tespiti için ölçüm yapılmıştır. Ek-1’de yer alan bu ölçüm sonuçlarına bakıldığında ölçülmesi gereken açılardan $-0,20^{\circ}$ ile $0,24^{\circ}$ arasında sapmalar olduğu hesaplanmıştır.

Benzer şekilde yine farklı açı kombinasyonları ile 35 adet LLA tespiti için ölçüm yapılmıştır. Ek-2’de yer alan bu ölçüm sonuçlarına bakıldığında ise ölçülmesi gereken açılardan $-0,18^{\circ}$ ile $0,21^{\circ}$ değerleri arasında sapmalar olduğu hesaplanmıştır.

Skolyoz tespitine ilişkin omuz, sırt, bel bölgesinde 8 ayrı durum için yapılan ölçümler yapılmıştır. Ölçümlere ait verilen Ek-3’te yer almaktadır. Söz konusu ölçümlerde ölçülmesi beklenen açı değerlerinden omuz bölgesi için $-0,57^{\circ}$ ile $0,88^{\circ}$ arasında, sırt bölgesi için $-0,12^{\circ}$ ile $0,81^{\circ}$ arasında, bel bölgesinde ise $-0,83^{\circ}$ ile $0,01^{\circ}$ arasında sapmalar olduğu hesaplanmıştır.

Ölçümler neticesinde tasarlanan sistemle kifoz ve lordoz açıları için yaklaşık olarak $\pm 0,25^{\circ}$ doğruluk ile açı tespiti yapmak mümkündür. Benzer şekilde skolyoz varlığına ilişkin açı ölçümünde yaklaşık olarak $\pm 1^{\circ}$ ile skolyoz varlığının tespitini yapmak mümkündür.

Tasarlanan sistem potansiyel olarak, etik kurul onay sonrası çalışmalarından elde edilecek teyit niteliğindeki hesaplamalar sonunda, duruş bozuklarının tespitinde kullanılan mevcut radyasyon riskli görüntüleme cihazlarının yerine kullanılması ya da kullanımının azaltılması adına ön tanı ürünü olarak kullanılabilir.

Yine sistem akıllı teknoloji sistemlerine dahil edilerek, doğru statik ve dinamik duruşa yönlendirme için kullanılabilir. Bu sayede olası duruş bozukluklarının önüne geçilebilir. Hasta bireylerin rehabilitasyonunda ve düşmelere bağlı kalıcı hasarlar yaşayan yaşlı bireylerde önleyici nitelikte kullanılabilir. Sistemi sporcuların performans ve egzersiz takibinde kullanmakta mümkündür.

Tasarım, bu çalışmada skolyoz varlığını tespit edebilmekte ama açı bilgisi verememektedir. Tasarlanan sistemi bu konuda iyileştirmek mümkündür. Konuya yönelik tasarlanan yeleğin sırt bölgesi, omurga boyunca saydam yapıdaki kumaşla yeniden tasarlanarak bu bölgede uzman kişilerin bozuk omurları işaretleme yapmasına imkan sağlayacaktır. İşaretleme yapılan noktalara yerleştirilen sensörler z düzlemi üzerinden

Cobb Açısı hesaplayabilecektir. Tasarlanan sistemin, mevcutta tanı amaçlı kullanılan görüntüleme teknolojilerine olan talebi azaltması, hatta bütünüyle yerine kullanılması muhtemeldir.



6. KAYNAKLAR

- Aebi, M. (2005). The adult scoliosis. *European spine journal*, 14, 925-948.
- Ai, J. (2023). The basic principles and application areas of embedded systems. *Advances in Computer, Signals and Systems*, 7(10), 69-75.
- Akıncı, M., Burak, M., Yaşar, E., & Kılıç, R. T. (2023). The effects of robot-assisted gait training and virtual reality on balance and gait in stroke survivors: a randomized controlled trial. *Gait & Posture*, 103, 215-222.
- Ancans, A., Greitans, M., Cacurs, R., Banga, B., & Rozentals, A. (2021). Wearable sensor clothing for body movement measurement during physical activities in healthcare. *Sensors*, 21(6), 2068.
- Arooj, A., Aziz, A., Khalid, F., Iqbal, M. H., & Ashfaq, H. B. (2022). Forward Head Posture in Young Adults: A Systematic Review: Forward Head Posture in Young Adults. *THE THERAPIST (Journal of Therapies & Rehabilitation Sciences)*, 32-35.
- Banerjee, P., & Thomas, M. (2019). CT scans to exclude spine fractures in children after negative radiographs may lead to increase in future cancer risk. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, 29, 983-988.
- Bawa, A., Banitsas, K., & Abbod, M. (2021). A review on the use of Microsoft Kinect for gait abnormality and postural disorder assessment. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021, 1-19.
- Baadkar, R. R., Satwika, P. S., Rana, A., & Jindal, S. K. (2022, August). Posture Detector Using 8051 Microcontroller. In *2022 3rd International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)* (pp. 116-121). IEEE.
- Bates, M. P. (2008). *Programming 8-bit PIC microcontrollers in C: with interactive hardware simulation*. Newnes.
- Bess, S., Protopsaltis, T. S., Lafage, V., Lafage, R., Ames, C. P., Errico, T., ... & International Spine Study Group. (2016). Clinical and radiographic evaluation of adult spinal deformity. *Clinical Spine Surgery*, 29(1), 6-16.
- Bhargav, J., Shourya, T. R., Anantharaman, A., Chinmay, C., Rao, K. U., & Salanke, G. R. (2018, January). Parametrics for the choice of Embedded Systems and Control

- Algorithms for Application Specific Robot Designs. In *2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)* (pp. 6-10). IEEE.
- Bhavsar, A. (2020). A guide for selecting the right microcontroller for your iot project. In *IIoT World, SIMFORM*.
- Bijalwan, V., Semwal, V. B., & Mandal, T. K. (2021). Fusion of multi-sensor-based biomechanical gait analysis using vision and wearable sensor. *IEEE Sensors Journal*, 21(13), 14213-14220.
- Bisdikian, C. (2001). An overview of the Bluetooth wireless technology. *IEEE Communications magazine*, 39(12), 86-94.
- Bliley, K. E., Schwab, D. J., Holmes, D. R., Kane, P. H., Levine, J. A., Daniel, E. S., & Gilbert, B. K. (2006, June). Design of a compact system using a MEMS accelerometer to measure body posture and ambulation. In *19th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS'06)* (pp. 335-340). IEEE.
- Brognara, L., Mazzotti, A., Di Martino, A., Faldini, C., & Cauli, O. (2021). Wearable sensor for assessing gait and postural alterations in patients with diabetes: a scoping review. *Medicina*, 57(11), 1145.
- Byeon, Y. H., Lee, J. Y., Kim, D. H., & Kwak, K. C. (2020). Posture recognition using ensemble deep models under various home environments. *Applied Sciences*, 10(4), 1287.
- Calcaterra, V., Marin, L., Vandoni, M., Rossi, V., Pirazzi, A., Grazi, R., ... & Zuccotti, G. (2022). Childhood obesity and incorrect body posture: impact on physical activity and the therapeutic role of exercise. *International journal of environmental research and public health*, 19(24), 16728.
- Carbonaro, N., Mascherini, G., Bartolini, I., Ringressi, M. N., Taddei, A., Tognetti, A., & Vanello, N. (2021). A wearable sensor-based platform for surgeon posture monitoring: A tool to prevent musculoskeletal disorders. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3734.
- Chopra, S., Kumar, M., & Sood, S. (2016, November). Wearable posture detection and alert system. In *2016 International Conference System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART)* (pp. 130-134). IEEE.

- Csuhai, É. A., Nagy, A. C., Váradi, Z., & Veres-Balajti, I. (2020). Functional analysis of the spine with the Idiag SpinalMouse System among sedentary workers affected by non-specific low back pain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 9259.
- Czaprowski, D., Stoliński, Ł., Tyrakowski, M., Kozinoga, M., & Kotwicki, T. (2018). Non-structural misalignments of body posture in the sagittal plane. *Scoliosis and spinal disorders*, 13, 1-14.
- Çalışkan, A. (2023). Detecting human activity types from 3D posture data using deep learning models. *Biomedical Signal Processing and Control*, 81, 104479.
- Demirel, A., & Adak, B. (2022). Servikal Vertebral Aks Düzleşmesi: Demografi ve Nedenler. *Abant Medical Journal*, 11(2), 250-256.
- Dere, G. (2021). Biomedical applications with using embedded systems. In *Data acquisition-recent advances and applications in biomedical engineering*. IntechOpen.
- Devi, K. N., Anand, J., Kothai, R., Krishna, J. A., & Muthurampandian, R. (2022). Sensor based posture detection system. *Materials Today: Proceedings*, 55, 359-364.
- Ecerkale, Ö. (2006). *Postür analizinde symmetrigraf ile orthoröntgenogram sonuçlarının değerlendirilmesi*. (Uzmanlık tezi). T.C Sağlık Bakanlığı Okmeydan Eğitim ve Araştırma Hastanesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Kliniği, İstanbul.
- Franco, T., Sestrem, L., Henriques, P. R., Alves, P., Varanda Pereira, M. J., Brandão, D., ... & Silva, A. (2022). Motion sensors for knee angle recognition in muscle rehabilitation solutions. *Sensors*, 22(19), 7605.
- Gao, L., Zhang, G., Yu, B., Qiao, Z., & Wang, J. (2020). Wearable human motion posture capture and medical health monitoring based on wireless sensor networks. *Measurement*, 166, 108252.
- Ghadi, Y. Y., Javeed, M., Alarfaj, M., Al Shloul, T., Alsuhibany, S. A., Jalal, A., ... & Kim, D. S. (2022). MS-DLD: Multi-sensors based daily locomotion detection via kinematic-static energy and body-specific HMMs. *IEEE Access*, 10, 23964-23979.
- Guerrero-Ibáñez, J., Zeadally, S., & Contreras-Castillo, J. (2018). Sensor technologies for intelligent transportation systems. *Sensors*, 18(4), 1212.

- Harvey, R. H., Peper, E., Mason, L., & Joy, M. (2020). Effect of posture feedback training on health. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 45(2), 59-65.
- Horng, M. H., Kuok, C. P., Fu, M. J., Lin, C. J., & Sun, Y. N. (2019). Cobb angle measurement of spine from x-ray images using convolutional neural network. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2019(1), 6357171.
- Itoi, E., & Mori, Y. (2017). Posture Analysis in Patients with Spinal Osteoporosis. *Non-Pharmacological Management of Osteoporosis: Exercise, Nutrition, Fall and Fracture Prevention*, 31-43.
- Jeong, H., & Park, W. (2020). Developing and evaluating a mixed sensor smart chair system for real-time posture classification: Combining pressure and distance sensors. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25(5), 1805-1813.
- Joshi, M., & Deshpande, V. (2021). Identification of indifferent posture zones in RULA by sensitivity analysis. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 83, 103123.
- Katzman, W. B., Parimi, N., Gladin, A., Wong, S., & Lane, N. E. (2021). Long-term efficacy of treatment effects after a kyphosis exercise and posture training intervention in older community-dwelling adults: a cohort study. *Journal of geriatric physical therapy*, 44(3), 127-138.
- Katzman, W. B., Vittinghoff, E., Lin, F., Schafer, A., Long, R. K., Wong, S., ... & Lane, N. E. (2017). Targeted spine strengthening exercise and posture training program to reduce hyperkyphosis in older adults: results from the study of hyperkyphosis, exercise, and function (SHEAF) randomized controlled trial. *Osteoporosis International*, 28, 2831-2841.
- KIZILAY, Ö., & ÖZ, Y. Bir Gömülü Yazılım Bileşeninde Birim Testlerin Google Birim Test Aracı'yla Ana Sistemde Yürütülmesi.
- Koumbourlis, A. C. (2006). Scoliosis and the respiratory system. *Paediatric respiratory reviews*, 7(2), 152-160.
- Kulikajevas, A., Maskeliunas, R., & Damaševičius, R. (2021). Detection of sitting posture using hierarchical image composition and deep learning. *PeerJ computer science*, 7, e442.

- Kurtoğlu, H. S. (2015). *Ankilozan spondilitli hastalarda postür analizi*. (Uzmanlık tezi). FTR ABD Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Edirne
- Komeili, A., Westover, L., Parent, E. C., El-Rich, M., & Adeeb, S. (2015). Monitoring for idiopathic scoliosis curve progression using surface topography asymmetry analysis of the torso in adolescents. *The Spine Journal*, 15(4), 743-751.
- La Mura, M., De Gregorio, M., Lamberti, P., & Tucci, V. (2023). Iot system for real-time posture asymmetry detection. *Sensors*, 23(10), 4830.
- Lawal, I. A., & Bano, S. (2020). Deep human activity recognition with localisation of wearable sensors. *IEEE Access*, 8, 155060-155070.
- Lee, C. H., Kim, Y., & Lee, B. H. (2014). Augmented reality-based postural control training improves gait function in patients with stroke: Randomized controlled trial. *Hong Kong Physiotherapy Journal*, 32(2), 51-57.
- Li, Q., Queralta, J. P., Gia, T. N., Zou, Z., & Westerlund, T. (2020). Multi-sensor fusion for navigation and mapping in autonomous vehicles: Accurate localization in urban environments. *Unmanned Systems*, 8(03), 229-237.
- Liaqat, S., Dashtipour, K., Arshad, K., Assaleh, K., & Ramzan, N. (2021). A hybrid posture detection framework: Integrating machine learning and deep neural networks. *IEEE Sensors Journal*, 21(7), 9515-9522.
- Liang, M., Yang, B., Wang, S., & Urtasun, R. (2018). Deep continuous fusion for multi-sensor 3d object detection. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)* (pp. 641-656).
- Liu, C. H., Lee, P., Chen, Y. L., Yen, C. W., & Yu, C. W. (2020). Study of postural stability features by using kinect depth sensors to assess body joint coordination patterns. *Sensors*, 20(5), 1291.
- Linnet, M. S., Slovis, T. L., Miller, D. L., Kleinerman, R., Lee, C., Rajaraman, P., & Berrington de Gonzalez, A. (2012). Cancer risks associated with external radiation from diagnostic imaging procedures. *CA: a cancer journal for clinicians*, 62(2), 75-100.

- Maguire, L. P., McGinnity, T. M., & McDaid, L. J. (1999). Issues in the development of an integrated environment for embedded system design: Part B: design and implementation. *Microprocessors and Microsystems*, 23(4), 199-206.
- Martins, L., Lucena, R., Belo, J., Almeida, R., Quaresma, C., Jesus, A. P., & Vieira, P. (2014). Intelligent chair sensor—classification and correction of sitting posture. In *XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2013: MEDICON 2013, 25-28 September 2013, Seville, Spain* (pp. 1489-1492). Springer International Publishing.
- Mascaret, Q., Gagnon-Turcotte, G., Biemann, M., Fall, C. L., Bouyer, L. J., & Gosselin, B. (2021). A wearable sensor network with embedded machine learning for real-time motion analysis and complex posture detection. *IEEE Sensors Journal*, 22(8), 7868-7876.
- Maskeliūnas, R., Damaševičius, R., Blažauskas, T., Canbulut, C., Adomavičienė, A., & Griškevičius, J. (2023). BiomacVR: A virtual reality-based system for precise human posture and motion analysis in rehabilitation exercises using depth sensors. *Electronics*, 12(2), 339.
- Maudsley-Barton, S., Hoon Yap, M., Bukowski, A., Mills, R., & McPhee, J. (2020). A new process to measure postural sway using a Kinect depth camera during a Sensory Organisation Test. *Plos one*, 15(2), e0227485.
- Mori, G. N., & Swaminarayan, P. R. (2021). Measuring IoT security issues and control home lighting system by android application using Arduino Uno and HC-05 bluetooth module. In *Data Science and Intelligent Applications: Proceedings of ICDSIA 2020* (pp. 375-382). Springer Singapore.
- Morimoto, T., Kobayashi, T., Hirata, H., Otani, K., Sugimoto, M., Tsukamoto, M., ... & Mawatari, M. (2022). XR (extended reality: virtual reality, augmented reality, mixed reality) technology in spine medicine: status quo and quo vadis. *Journal of Clinical Medicine*, 11(2), 470.
- Napolitano, S., & Ascione, A. (2017). Analysis of posture and its impact on performance in women's water polo. *OPEN ACCESS JOURNAL OF SCIENCE*, 1(3).
- Okhli, H., Hojjati, H., & Akhoundzadeh, G. (2019). Comparing the effect of the corrective

- exercises of America's National academy of sports medicine and Pilates on the correction of lordosis among female high school students in Golestan Province in 2018. *International Journal of School Health*, 6(4), 1-6.
- Pandey, V. K., Kumar, S., Kumar, V., & Goel, P. (2018). A review paper on I2C communication protocol. *Int. J. Adv. Res. Ideas Innov. Technol*, 4(2), 340-343.
- Park, J., & Mackay, S. (2003). *Practical data acquisition for instrumentation and control systems*. Newnes.
- Park, S. H., Son, S. M., & Choi, J. Y. (2021). Effect of posture control training using virtual reality program on sitting balance and trunk stability in children with cerebral palsy. *NeuroRehabilitation*, 48(3), 247-254.
- Pearce, M. S., Salotti, J. A., Little, M. P., McHugh, K., Lee, C., Kim, K. P., ... & De González, A. B. (2012). Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *The Lancet*, 380(9840), 499-505.
- Pont, M. J. (2003). An object-oriented approach to software development in C for small embedded systems. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 25(3), 217-238.
- Ramalingam, M., Puviarasi, R., Shern, Q. C., & Chinnavan, E. (2021, January). Designing IoT based posture monitoring system. In *2021 6th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)* (pp. 209-214). IEEE.
- Ramanujam, E., Perumal, T., & Padmavathi, S. (2021). Human activity recognition with smartphone and wearable sensors using deep learning techniques: A review. *IEEE Sensors Journal*, 21(12), 13029-13040.
- Riaz, S., Jawa, R., Nawaz, H. A., Haider, A., Akhtar, I., & Siddique, S. (2022). Functional outcomes of poor ergonomic posture in university workers. *BioMedica*, 38(2), 105-108.
- Roggio, F., Ravalli, S., Maugeri, G., Bianco, A., Palma, A., Di Rosa, M., & Musumeci, G. (2021). Technological advancements in the analysis of human motion and posture management through digital devices. *World journal of orthopedics*, 12(7), 467.

- Russell, B. S., Muhlenkamp-Wermert, K. A., & Hoiriis, K. T. (2020). Measurement of lumbar Lordosis: a comparison of 2 alternatives to the cobb angle. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 43(8), 760-767.
- Sadiqi, S., Verlaan, J. J., Lehr, A. M., Chapman, J. R., Dvorak, M. F., Kandziora, F., ... & Oner, F. C. (2017). Measurement of kyphosis and vertebral body height loss in traumatic spine fractures: an international study. *European Spine Journal*, 26, 1483-1491.
- Salsali, M., Sheikhhoseini, R., Sayyadi, P., Hides, J. A., Dadfar, M., & Piri, H. (2023). Association between physical activity and body posture: a systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health*, 23(1), 1670.
- Shamim, A., Tanwar, T., & Veqar, Z. (2023). An Overview of Cervical Spine Posture Assessment Methods. *SN Comprehensive Clinical Medicine*, 5(1), 225.
- Sheikhhoseini, R., Shahrbanian, S., Sayyadi, P., & O'Sullivan, K. (2018). Effectiveness of therapeutic exercise on forward head posture: a systematic review and meta-analysis. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 41(6), 530-539.
- Shu, F., & Shu, J. (2021). An eight-camera fall detection system using human fall pattern recognition via machine learning by a low-cost android box. *Scientific reports*, 11(1), 2471.
- Sifuentes, E., González-Landaeta, R., Cota-Ruiz, J., & Reverter, F. (2018, November). Microcontroller-based seat occupancy detection and classification. In *Proceedings* (Vol. 2, No. 13, p. 1040). MDPI.
- Simpson, L., Maharaj, M. M., & Mobbs, R. J. (2019). The role of wearables in spinal posture analysis: a systematic review. *BMC musculoskeletal disorders*, 20, 1-14.
- Soltani, P., & Morice, A. H. (2020). Augmented reality tools for sports education and training. *Computers & Education*, 155, 103923.
- Song, R., Horridge, P., Pemberton, S., Wetherall, J., Maskell, S., & Ralph, J. (2019, July). A multi-sensor simulation environment for autonomous cars. In *2019 22th International Conference on Information Fusion (FUSION)* (pp. 1-7). IEEE.
- Sparrey, C. J., Bailey, J. F., Safaei, M., Clark, A. J., Lafage, V., Schwab, F., ... & Ames, C. P. (2014). Etiology of lumbar lordosis and its pathophysiology: a review of the

- evolution of lumbar lordosis, and the mechanics and biology of lumbar degeneration. *Neurosurgical focus*, 36(5), E1.
- Szabó, D., Kiss, G., Tékus, E., Mayer, P., Váczi, M., Fekete, J. D., ... & Mintál, T. (2024). Therapeutic Effectiveness of Postural Treatment on Youth Swimmers' Anterior Shoulder Pain—An Interventional Study. *Applied Sciences*, 14(4), 1486.
- Székely, A., Talanow, R., & Bágyi, P. (2013). Smartphones, tablets and mobile applications for radiology. *European journal of radiology*, 82(5), 829-836.
- Toros, H. (2002). *Postmenopozal osteoporozlu kadınlarda dorsal kifoz açısının ve fonksiyonel durumun değerlendirilmesi*. FTR ABD İÜ Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, İstanbul
- Wang, Y. (2023). A Study on the Effect of Terrestrial Broadcasting App UI Design Factors on User Satisfaction: Focusing on KBS my K App. *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange (APJCRI)*, ISSN: 2508-9080 (Print); 2671-5325 (Online), KCTRS, 9(4), 469-483. doi: 10.47116/apjcri.2023.04.37
- Wang, W. (2023, February). Optimization of UART Communication Protocol Based on Frequency Multiplier Sampling Technology and Asynchronous FIFO. In *2023 IEEE 2nd International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms (EEBDA)* (pp. 280-285). IEEE.
- Wu, Y., Qi, S., Hu, F., Ma, S., Mao, W., & Li, W. (2019). Recognizing activities of the elderly using wearable sensors: A comparison of ensemble algorithms based on boosting. *Sensor Review*, 39(6), 743-751.
- Xia, M., Li, T., Xu, L., Liu, L., & De Silva, C. W. (2017). Fault diagnosis for rotating machinery using multiple sensors and convolutional neural networks. *IEEE/ASME transactions on mechatronics*, 23(1), 101-110.
- Xiao-yan, W. (2010). Computer Serial Communication Interface and Its Application. *Modern Electronics Technique*.
- Xu, W., Huang, M. C., Amini, N., He, L., & Sarrafzadeh, M. (2013). ecushion: A textile pressure sensor array design and calibration for sitting posture analysis. *IEEE Sensors Journal*, 13(10), 3926-3934.
- Yaman, O., & Dalbayrak, S. (2014). Kyphosis and review of the literature. *Turk*

Neurosurg, 24(4), 455-65.

- Yang, L., Li, Y., Zeng, D., & Wang, D. (2021, March). Human exercise posture analysis based on pose estimation. In *2021 IEEE 5th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)* (Vol. 5, pp. 1715-1719). IEEE.
- Yao, X., Yang, Y., Vledder, G., Xu, J., Song, Y., & Vink, P. (2023). Comfort wearables for in-flight sitting posture recognition. *IEEE Access*.
- Yeoh, W. S., Pek, I., Yong, Y. H., Chen, X., & Waluyo, A. B. (2008, August). Ambulatory monitoring of human posture and walking speed using wearable accelerometer sensors. In *2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 5184-5187). IEEE.
- Yin, F., Lu, H., Pan, H., Ji, H., Pei, S., Liu, H., ... & Wei, J. (2019). Highly sensitive and transparent strain sensors with an ordered array structure of AgNWs for wearable motion and health monitoring. *Scientific reports*, 9(1), 2403.
- Zavalishina, S. Y., Karpov, V. Y., Zagorodnikova, A. Y., Ryazantsev, A. A., Alikhojin, R. R., & Voronova, N. N. (2021). Functional mechanisms for maintaining posture in humans during ontogenesis. *Journal of Biochemical Technology*, 12(1-2021), 36-39.
- Zhang, L., Wu, Q. S., & Gao, R. (2013). Design and Implementation of Vehicle Attitude Detection and 3D Dynamic Display System. *Applied Mechanics and Materials*, 397, 1253-1257.
- Zhang, Y. B., & Zhang, J. G. (2020). Treatment of early-onset scoliosis: techniques, indications, and complications. *Chinese medical journal*, 133(3), 351-357.

EKLER

Ek-1 TKA Ölçüm ve Varyans Tablosu

Ek-2 LLA Ölçüm ve Varyans Tablosu

Ek-3 Skolyoz Tespitine İlişkin Ölçüm ve Varyans Tablosu

Ek-4 Skolyoz Tespitine İlişkin Ölçüm Çıktıları



EK-1 TKA ÖLÇÜM VE VARYANS TABLOSU

α_1 Ayarlanan Açı	α_2 Ayarlanan Açı	Ayarlanan TKA	1.Sensör Grubu Ölçümü	2.Sensör Grubu Ölçümü	Ölçüm Ortalaması	Varyans
(A)	(B)	(C=B-A)	(D)	(E)	(F=(D+E)/2)	(G=F-C)
80,00°	100,00°	20,00°	20,11°	20,13°	20,12°	0,12°
80,00°	105,00°	25,00°	25,19°	25,26°	25,23°	0,23°
80,00°	110,00°	30,00°	30,07°	30,19°	30,13°	0,13°
80,00°	115,00°	35,00°	34,95°	35,11°	35,03°	0,03°
80,00°	120,00°	40,00°	39,83°	40,23°	40,03°	0,03°
80,00°	125,00°	45,00°	44,71°	45,02°	44,87°	-0,13°
80,00°	130,00°	50,00°	49,59°	50,01°	49,80°	-0,20°
80,00°	135,00°	55,00°	54,77°	55,01°	54,89°	-0,11°
80,00°	140,00°	60,00°	60,09°	60,00°	60,05°	0,05°
75,00°	95,00°	20,00°	20,13°	20,14°	20,14°	0,14°
75,00°	100,00°	25,00°	25,21°	25,27°	25,24°	0,24°
75,00°	105,00°	30,00°	30,09°	30,20°	30,15°	0,15°
75,00°	110,00°	35,00°	34,97°	35,12°	35,05°	0,05°
75,00°	115,00°	40,00°	39,85°	40,24°	40,05°	0,05°
75,00°	120,00°	45,00°	44,73°	45,03°	44,88°	-0,12°
75,00°	125,00°	50,00°	49,61°	50,02°	49,82°	-0,18°
75,00°	130,00°	55,00°	54,79°	55,02°	54,91°	-0,09°
75,00°	135,00°	60,00°	60,11°	60,01°	60,06°	0,06°
70,00°	95,00°	25,00°	25,11°	25,01°	25,06°	0,06°
70,00°	100,00°	30,00°	29,93°	30,12°	30,03°	0,03°
70,00°	105,00°	35,00°	35,11°	34,97°	35,04°	0,04°
70,00°	110,00°	40,00°	40,12°	40,14°	40,13°	0,13°
70,00°	115,00°	45,00°	44,93°	45,02°	44,98°	-0,02°
70,00°	120,00°	50,00°	50,01°	50,06°	50,04°	0,04°
70,00°	125,00°	55,00°	54,89°	54,98°	54,94°	-0,06°
70,00°	130,00°	60,00°	60,01°	60,01°	60,01°	0,01°
60,00°	95,00°	35,00°	35,16°	34,86°	35,01°	0,01°
60,00°	100,00°	40,00°	40,00°	40,00°	40,00°	0,00°
60,00°	105,00°	45,00°	45,22°	45,00°	45,11°	0,11°
60,00°	110,00°	50,00°	50,42°	50,05°	50,24°	0,24°
60,00°	115,00°	55,00°	55,12°	54,97°	55,05°	0,05°
60,00°	120,00°	60,00°	60,12°	60,05°	60,09°	0,09°
60,00°	125,00°	65,00°	64,93°	65,01°	64,97°	-0,03°
60,00°	130,00°	70,00°	70,06°	69,96°	70,01°	0,01°

Tablo EK-1.1 TKA Ölçüm ve Varyans Tablosu

EK-2 LLA ÖLÇÜM VE VARYANS TABLOSU

β_1 Ayarlanan Açı	β_2 Ayarlanan Açı	Ayarlanan LLA	1.Sensör Grubu Ölçümü	2.Sensör Grubu Ölçümü	Ölçüm Ortalaması	Ölçüm Varyansı
(A)	(B)	(C=A-B)	(D)	(E)	(F=(D+E)/2)	(G=F-C)
100,00°	30,00°	70,00°	69,91°	70,02°	69,97°	-0,03°
100,00°	35,00°	65,00°	65,13°	65,06°	65,10°	0,10°
100,00°	40,00°	60,00°	60,06°	60,17°	60,12°	0,12°
100,00°	45,00°	55,00°	54,99°	55,03°	55,01°	0,01°
100,00°	50,00°	50,00°	49,93°	50,11°	50,02°	0,02°
100,00°	55,00°	45,00°	44,73°	45,02°	44,88°	-0,12°
100,00°	60,00°	40,00°	39,64°	40,00°	39,82°	-0,18°
105,00°	35,00°	70,00°	70,09°	69,91°	70,00°	0,00°
105,00°	40,00°	65,00°	65,12°	65,01°	65,07°	0,07°
105,00°	45,00°	60,00°	60,00°	59,98°	59,99°	-0,01°
105,00°	50,00°	55,00°	55,05°	55,01°	55,03°	0,03°
105,00°	55,00°	50,00°	50,17°	50,18°	50,18°	0,18°
105,00°	60,00°	45,00°	45,00°	44,99°	45,00°	0,00°
105,00°	65,00°	40,00°	39,98°	40,00°	39,99°	-0,01°
110,00°	40,00°	70,00°	70,11°	69,92°	70,02°	0,02°
110,00°	45,00°	65,00°	65,14°	65,02°	65,08°	0,08°
110,00°	50,00°	60,00°	60,02°	59,99°	60,01°	0,01°
110,00°	55,00°	55,00°	55,07°	55,02°	55,05°	0,05°
110,00°	60,00°	50,00°	50,19°	50,19°	50,19°	0,19°
110,00°	65,00°	45,00°	45,02°	45,00°	45,01°	0,01°
110,00°	70,00°	40,00°	40,00°	40,01°	40,01°	0,01°
115,00°	45,00°	70,00°	70,13°	69,93°	70,03°	0,03°
115,00°	50,00°	65,00°	65,16°	65,03°	65,10°	0,10°
115,00°	55,00°	60,00°	60,04°	60,00°	60,02°	0,02°
115,00°	60,00°	55,00°	55,09°	55,03°	55,06°	0,06°
115,00°	65,00°	50,00°	50,21°	50,20°	50,21°	0,21°
115,00°	70,00°	45,00°	45,04°	45,01°	45,03°	0,03°
115,00°	75,00°	40,00°	40,02°	40,02°	40,02°	0,02°
120,00°	50,00°	70,00°	70,15°	69,94°	70,05°	0,05°
120,00°	55,00°	65,00°	65,18°	65,04°	65,11°	0,11°
120,00°	60,00°	60,00°	60,06°	60,01°	60,04°	0,04°
120,00°	65,00°	55,00°	55,11°	55,04°	55,08°	0,08°
120,00°	70,00°	50,00°	50,13°	50,07°	50,10°	0,10°
120,00°	75,00°	45,00°	45,06°	45,02°	45,04°	0,04°
120,00°	80,00°	40,00°	40,04°	40,03°	40,04°	0,04°

Tablo Ek-2.1 LLA Ölçüm ve Varyans Tablosu

EK-3 SKOLYOZ TESPİTİNE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE VARYANS TABLOSU

Belirlenen Veriler			Ölçülen Veriler			Varyans		
Omuz	Sırt	Bel	x1+x2	y1	z1	Omuz	Sırt	Bel
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G=A-D)	(H=B-E)	(I=C-F)
180,00°	0,00°	0,00°	179,90°	0,01°	0,00°	0,10°	-0,01°	0,00°
180,00°	0,00°	10,00°	180,01°	0,00°	10,00°	-0,01°	0,00°	0,00°
180,00°	5,00°	0,00°	180,00°	5,01°	0,03°	0,00°	-0,01°	-0,03°
180,00°	5,00°	10,00°	179,98°	5,01°	9,99°	0,02°	-0,01°	0,01°
167,50°	0,00°	0,00°	167,88°	0,00°	0,00°	-0,38°	0,00°	0,00°
170,00°	0,00°	10,00°	170,05°	0,02°	10,12°	-0,05°	-0,02°	-0,12°
175,00°	5,00°	0,00°	174,12°	5,12°	0,01°	0,88°	-0,12°	-0,01°
170,00°	10,00°	10,00°	170,57°	9,19°	10,83°	-0,57°	0,81°	-0,83°

Tablo Ek-3.1 Skolyoz Tespitine İlişkin Ölçüm ve Varyans Tablosu

EK-4 SKOLYOZ TESPİTİNE İLİŞKİN ÖLÇÜM ÇIKTILARI

Omuz	Sırt	Bel	x1+x2	y1	z1	Açıklama
180,00°	0,00°	0,00°	179,90°	0,01°	0,00°	Skolyoz Belirtisi Tespit Edilemedi.
180,00°	0,00°	10,00°	180,01°	0,00°	10,00°	Bel Bölgesi Skolyoz Belirtisi
180,00°	5,00°	0,00°	180,00°	5,01°	0,03°	Sırt Bölgesi Skolyoz Belirtisi
180,00°	5,00°	10,00°	179,98°	5,01°	9,99°	Sırt ve Bel Bölgesi Skolyoz Belirtisi
167,50°	0,00°	0,00°	167,88°	0,00°	0,00°	Omuz Bölgesi Skolyoz Belirtisi
170,00°	0,00°	10,00°	170,05°	0,02°	10,12°	Omuz ve Bel Bölgesi Skolyoz Belirtisi
175,00°	5,00°	0,00°	174,12°	5,12°	0,01°	Omuz ve Sırt Bölgesi Skolyoz Belirtisi
170,00°	10,00°	10,00°	170,57°	9,19°	10,83°	Tüm Bölgeler İçin Skolyoz Belirtisi

Tablo Ek-4.1 Skolyoz Tespitine İlişkin Ölçüm Çıktıları

Mehmet ULUÇ

Yüksek Lisans Tezi

YOZGAT 2024



**T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**