

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
MEZUNİYET PROJESİ TEZİ

Görüntü İşleme ile İnsan El Hareketlerinin Tespiti ve
Robotik El Prototipi ile Taklit Edilmesi

Bahadır Özdemir

Danışman
Prof. Dr. Süleyman Bilgin

Haziran, 2026

ANTALYA

Bu çalışma / / 2026 tarihinde jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Mezuniyet Projesi Tezi olarak kabul edilmiştir.

Mezuniyet Projesi Tezi Jürisi

Danışman Adı		
Üniversite	Akdeniz Üniversitesi	
Fakülte	Mühendislik Fakültesi	

Jüri Adı		
Üniversite	Akdeniz Üniversitesi	
Fakülte	Mühendislik Fakültesi	

Jüri Adı		
Üniversite	Akdeniz Üniversitesi	
Fakülte	Mühendislik Fakültesi	

Başarı notu, jüri değerlendirmesine göre olarak takdir edilmiştir.

ÖZET

Bu çalışma, standart bir web kamerası kullanarak insan el hareketlerinin gerçek zamanlı olarak algılanması ve bu hareketlerin bir robotik el tarafından fiziksel olarak taklit edilmesi amacıyla bir mekatronik sistemin tasarımını sunmaktadır. El hareketlerinin fiziksel taklidi, üç boyutlu baskı teknolojisine dayalı bir mekanik yapı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem, üç ana entegre katmandan oluşmaktadır. Görüntü işleme aşamasında, elin 21 referans noktasının belirlenmesi ve parmak bükülme açılarının hesaplanması için MediaPipe kütüphanesi kullanılmıştır. Kullanıcı arayüzü geliştirme aşamasında, Python programlama dili ve PyQt6 kütüphanesi ile bir kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. Bu arayüz aracılığıyla veriler görselleştirilmiş ve haberleşme protokolü ile Arduino Uno mikrodenetleyicisine aktarılmıştır. Donanım katmanında, alınan veriler işlenerek PWM sinyaline dönüştürülmüş ve tendon mekanizmasına sahip 5 adet servo motorun kontrolü sağlanmıştır. Yapılan testler, sistemin elin açık ve yumruk konumlarını milisaniye düzeyinde düşük gecikme süreleriyle başarıyla taklit ettiğini göstermiştir. Maliyetli veri eldivenlerine alternatif olarak sunulan bu mimari, bilgisayarlı görü tekniklerinin mekatronik kontrol süreçlerine entegrasyonundaki etkinliğini doğrulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, MediaPipe, mikrokontrolcü, Robotik El, Servo Motor, PyQt6, El Hareketi Tespiti

SUMMARY / ABSTRACT

This thesis presents, a mechatronic system has been designed that enables the real-time detection of human movements using a standard webcam and applies these detected movements to a robotic hand based on one-dimensional 3D printing technology. The system consists of three basic integrated layers: software, embedded hardware, and mechanical structures. Using the Google MediaPipe library, the hand had 21 reference points, and the movement of 5 fingers was calculated by raising them between 0-180 degrees. This depicted movement data was displayed using the PyQt6 module developed with the Python programming language, and the serial communication protocol we created was transmitted to the microcontroller. When the incoming data was processed in the embedded hardware features, it was converted into PWM signals, and control of 5 servo motors that can be operated with tendon sections was provided. In our tests, the system successfully simulated open and fist positions with low latency at the millisecond level.

Key Words: Computer Vision, MediaPipe, Robotic Hand, Microcontroller, Servo Motor, PyQt6, Hand Gesture Detection

TEŞEKKÜR

Bu projenin araştırma, tasarım ve geliştirme süreçlerinin her aşamasında değerli bilgi birikimiyle yol gösteren, akademik disiplini ve vizyonuyla çalışmaya yön veren saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Süleyman Bilgin'e teşekkür sunulur. Çalışmalar boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve lisans eğitimi süresince akademik gelişime katkı sağlayan Akdeniz Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nün tüm öğretim üyelerine teşekkür edilir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET

SUMMARY / ABSTRACT

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ

TABLolar LİSTESİ

SEMBOLLER

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1 Konunun Önemi ve Motivasyon

1.2 Projenin Amacı

1.3 Projenin Kapsamı

1.4 Raporun Organizasyonu

BÖLÜM 2. KAYNAK TARAMASI

2.1 El Hareketi Tespiti Alanındaki Çalışmalar

2.2 Robotik El ve 3D Baskı Çalışmaları

2.3 Arduino Tabanlı Servo Motor Kontrol Sistemleri

2.4 Literatürün Genel Değerlendirmesi

BÖLÜM 3. YAPILAN ÇALIŞMA

3.1 Sisteme Genel Bakış

3.2 Yazılım Katmanı

3.2.1 Parmak Açısı Hesaplama Algoritması

3.2.2 Seri Haberleşme Protokolü

3.3 Gömülü Yazılım Katmanı

3.4 Donanım Katmanı

3.5 Sistem Entegrasyonu

BÖLÜM 4. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Test Yöntemi

4.2 Senaryo 1 — El Açık Konumu

4.3 Senaryo 2 — El Yumruk Konumu

4.4 Sistem Performansının Değerlendirilmesi

BÖLÜM 5. SONUÇLAR
BÖLÜM 6. ÖNERİLER
KAYNAKLAR
ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 MediaPipe 21 Landmark Noktaları

Şekil 3.1 Sistem Donanım Blok Diyagramı

Şekil 3.2 Python Yazılım Modülleri Mimarisi

Şekil 3.3 3D Baskı Robotik El Prototipi ve Tendon Mekanizması

Şekil 3.4 Buck Converter ve Arduino Uno Kontrol Devresi

Şekil 4.1 Senaryo 1 — El Açık Konumunda Yazılım Arayüzü

Şekil 4.2 Senaryo 1 — El Açık Konumunda Robotik El Donanımı

Şekil 4.3 Senaryo 2 — El Kapalı Konumunda Yazılım Arayüzü

Şekil 4.4 Senaryo 2 — El Kapalı Konumunda Robotik El Donanımı

Şekil B.1 Arduino ve Servo Motor Bağlantı Şeması

Şekil C.1 Pertinaks Üzerine Montaj Edilmiş Kontrol Devresi

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 Kullanılan Donanım Bileşenleri

Tablo 3.2 Kullanılan Yazılım Kütüphaneleri

SEMBOLLER

PWM : Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)

USB : Universal Serial Bus

FDM : Fused Deposition Modeling

GUI : Graphical User Interface (Grafik Kullanıcı Arayüzü)

fps : Frames per second (Saniyedeki kare sayısı)

° : Derece (açı birimi)

ms : Milisaniye

bps : Bits per second

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1 Konunun Önemi ve Motivasyon

Robotik sistemlerin insan hareketlerini taklit etmesi, günümüzde endüstriyel üretimden tıbbi rehabilitasyona kadar geniş bir uygulama alanında kritik öneme sahiptir. Uzaktan kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılan geleneksel yöntemler, veri eldivenleri ve EMG sensörleri, yüksek maliyetleri ve kullanıcı hareketlerini kısıtlayan fiziksel yapıları nedeniyle önemli dezavantajlar sunmaktadır.

Bilgisayarlı görü teknikleri, bu fiziksel kısıtlamaları ortadan kaldırarak daha doğal bir kullanıcı deneyimi sunma potansiyeline sahiptir. Standart bir web kamerası aracılığıyla el hareketlerinin tespit edilmesi, ek donanım gereksinimini en aza indirerek sistemin erişilebilirliğini artırmaktadır.

1.2 Projenin Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, standart bir web kamerası kullanılarak insan eline ait 21 referans noktasını gerçek zamanlı tespit eden, parmak eklem açılarını hesaplayan ve elde edilen verileri 3D yazıcı ile üretilmiş bir robotik el üzerinde fiziksel olarak taklit eden entegre bir sistem tasarlamaktır.

Sistemin bütünlüğünü sağlamak amacıyla çeşitli alt hedefler belirlenmiştir. Bunlar arasında, görüntü işleme yazılımının yüksek kare hızında optimize edilmesi, anatomik oranlara uygun antropomorfik mekanik tasarımın montajlanması ve stabil güç dağıtımı sağlayan kontrol devresinin kurulması yer almaktadır. Ayrıca, tüm yazılım ve donanım bileşenlerinin eksiksiz entegrasyonu hedeflenmiştir.

1.3 Projenin Kapsamı

Geliştirilen mimari, bilgisayar tabanlı yazılım, mikrodenetleyici destekli gömülü sistem ve mekatronik donanım olmak üzere üç temel katmanla sınırlandırılmıştır. Tasarım, tek bir elin yalnızca tek bir kamera açısından izlenmesini kapsamaktadır.

Mekanik sistemde, beş parmağın fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri projeye dahil edilmiştir. Bilek rotasyonu ve avuç içi bükülmeleri ise karmaşık kinematik hesaplamalar gerektirdiği için kapsam dışında bırakılmıştır.

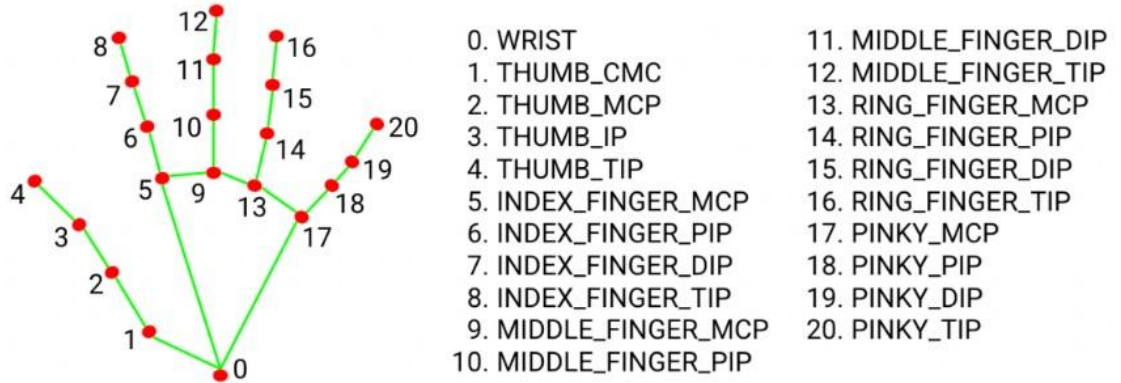
1.4 Raporun Organizasyonu

Raporun ikinci bölümünde, görüntü işleme ve mekatronik alanlarındaki literatür araştırmaları incelenmiştir. Üçüncü bölümde geliştirilen yazılımın algoritmik yapısı, gömülü sistemin ayrıntıları ve donanım mimarisi sunulmuştur. Dördüncü bölümde, belirlenen test senaryoları üzerinden elde edilen bulgular analiz edilmiştir. Beşinci bölümde proje bulguları değerlendirilmiş, altıncı bölümde ise gelecekteki çalışmalara yönelik öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2. KAYNAK TARAMASI

2.1 El Hareketi Tespiti Alanındaki Çalışmalar

Görüntü tabanlı el hareketi tespiti çalışmaları, donanım kapasitelerinin artmasıyla hız kazanmıştır. Alanda referans olarak kabul edilen MediaPipe Hands mimarisi, tek kamera ile 21 referans noktasını gerçek zamanlı tespit edebilmektedir (Zhang vd., 2020). Bu yapı, sinir ağlarının düşük gecikmeyle çalışmasını sağlamıştır. Eklem anatomisine ait 21 noktanın diyagramı Şekil 2.1'de sunulmuştur.



Şekil 2.1 MediaPipe 21 Landmark Noktaları (Zhang vd., 2020)

Genel olarak, el tespiti için geliştirilen sınırlayıcı kutu yaklaşımları iskelet anatomisinin ayrıntılı analizinde yetersiz kalmaktadır. MediaPipe kütüphanesi, elin anatomik haritasını çıkararak kinematik hesaplamaların gerçekleştirilmesine olanak

sağlar. Bu projede, tespit algoritmasından elde edilen verilerin doğrudan mekanik bir sistemle entegre edilmesi amaçlanmıştır.

2.2 Robotik El ve 3D Baskı Çalışmaları

Çalışmalarda incelenen mekatronik altyapı kapsamında, tasarlanan üç boyutlu baskı robotik el modeli, servo motorların biyomekanik simülasyondaki verimliliğini göstermiştir (Sahu ve Pote, 2018). Katmanlı üretim teknolojilerinin artan ulaşılabilirliği, karmaşık eklem yapılarının hızlı prototiplenmesini mümkün kılmıştır.

2.3 Arduino Tabanlı Servo Motor Kontrol Sistemleri

Mikrodenetleyiciler, düşük maliyetleri ve uyumlulukları nedeniyle donanım kontrol birimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Arduino platformunun gömülü sistemlerde darbe genişlik modülasyonu (PWM) üretiminde kararlı olduğu bilinmektedir. Endüstriyel servo sürücülerle karşılaştırıldığında, Arduino tabanlı mimarilerin hafif robotik uygulamalarda yeterli tepki süresi sunduğu ve kolay USB seri haberleşmeye uygun olduğu belirlenmiş ve bu nedenle projede kontrol birimi olarak seçilmiştir.

2.4 Literatürün Genel Değerlendirmesi

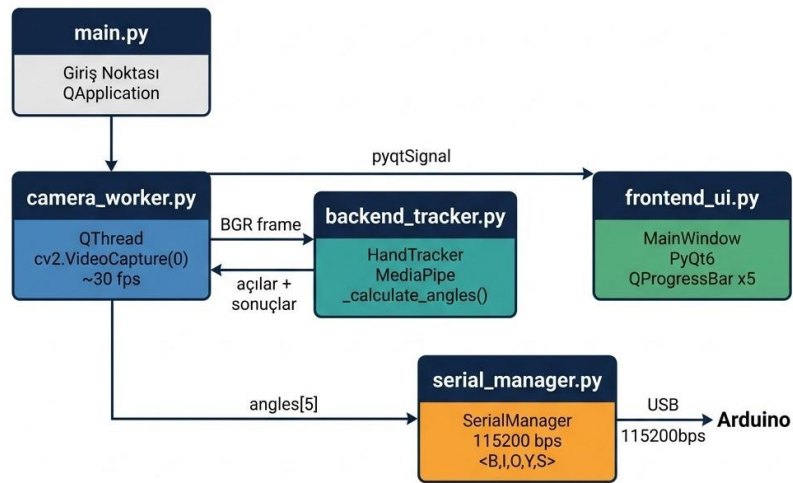
Mevcut araştırmaların büyük bir kısmı, sorunu belirli bir alanda çözmeye odaklanmıştır. Çalışmalar genellikle yalnızca yazılım optimizasyonu veya sensör destekli donanım tasarımları ile sınırlı kalmıştır. Görüntü işleme algoritmalarından elde edilen verilerin doğrudan 3D baskı sistemlerine aktarıldığı tam entegre sistemler ise nadiren görülmektedir. Bu çalışmada geliştirilen bütünleşik yapı, donanım ihtiyacını en aza indirerek literatürdeki bu boşluğa bir alternatif sunmaktadır.

BÖLÜM 3. YAPILAN ÇALIŞMA

3.1 Sisteme Genel Bakış

Geliştirilen sistem, etkileşimli üç bağımsız katmandan oluşur: bilgisayar tabanlı yazılım, veri işleyen gömülü sistem ve uygulayıcı mekatronik donanım. Veri akışı, görüntünün sayısallaştırılmasıyla başlar, kinematik verilerin iletilmesi ve motorların hareketiyle fiziksel eyleme dönüşür. Sistemin temel güç ve veri bağlantıları Şekil 3.1'deki donanım blok diyagramında özetlenmiştir.

Python Yazılım Modülleri Mimarisi

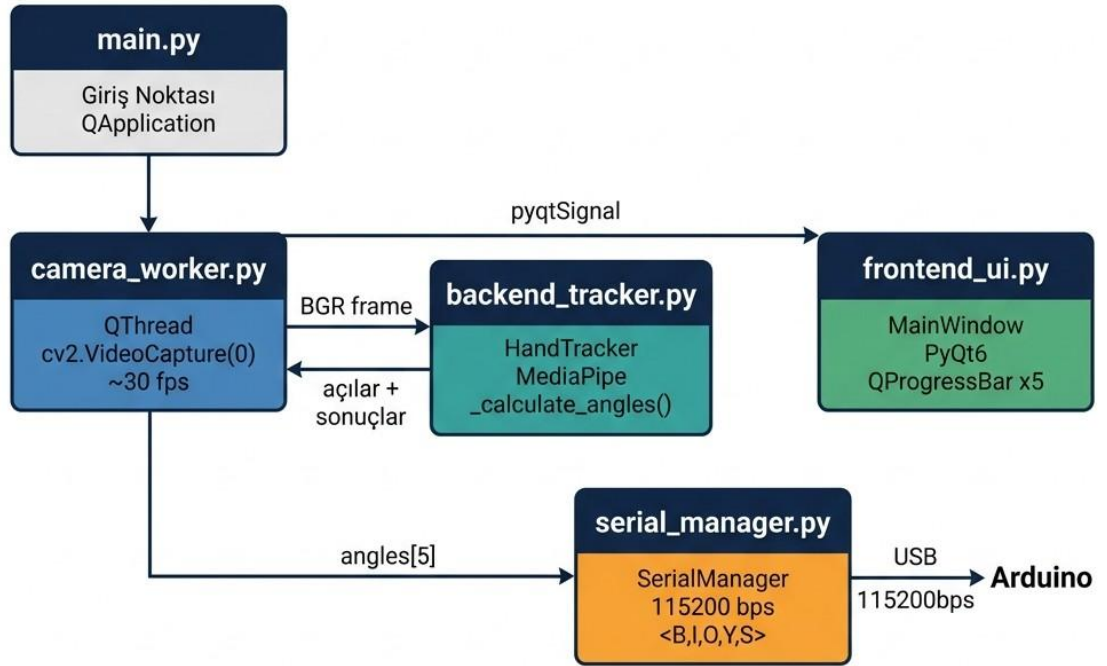


Şekil 3.1 Sistem Donanım Blok Diyagramı

3.2 Yazılım Katmanı

Veri analizini gerçekleştiren yazılım katmanı, nesne yönelimli programlama prensipleri temel alınarak Python dilinde modüler bir yapıda tasarlanmıştır. Bu modüler yaklaşım, hata ayıklama süreçlerini hızlandırmış ve sistem bakımını kolaylaştırmıştır. Python, Arduino ve donanım arasındaki veri akışını gösteren mimari şema Şekil 3.2'de sunulmaktadır.

Python Yazılım Modülleri Mimarisi



Şekil 3.2 Python Yazılım Modülleri Mimarisi

Tablo 3.1 Kullanılan Yazılım Kütüphaneleri

Kütüphane	Kullanım Amacı
Python 3.x	Ana programlama dili
OpenCV 4.x	Kamera görüntüsü işleme
MediaPipe 0.10.x	El landmark tespiti
PyQt6 6.x	Masaüstü GUI
PySerial 3.x	USB seri haberleşme
NumPy 1.x	Matematiksel hesaplamalar

Tespit modülü, görüntü analiz süreçlerini yürüterek el iskelet modelini yüzde 70 güvenilirlik eşiği ile çalıştırmaktadır. Arayüzün donmasını önlemek için kamera verisi ana döngüden ayrılmış ve bağımsız bir alt iş parçacığına atanmıştır. Aynalama efekti uygulanan görüntüler arayüze aktarılırken, haberleşme modülü açılış değerlerini paketleyip gömülü sisteme iletmektedir.

3.2.1 Parmak Açısı Hesaplama Algoritması

Her bir parmağın bükülme açısı, MediaPipe tarafından sağlanan normalize edilmiş koordinat verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Açılış ölçümü, parmağın uç ve kök noktaları arasındaki iki boyutlu Öklid mesafesine dayanmaktadır. Bu mesafe, Denklem 3.1'de tanımlandığı şekilde hesaplanır:

$$d = \sqrt{(x_{uç} - x_{kök})^2 + (y_{uç} - y_{kök})^2} \quad (3.1)$$

Hesaplanan skaler mesafe değeri, doğrusal interpolasyon ile 0° ile 180° aralığına eşlenmiştir. Denklem 3.2'ye göre, parmak kapalı konumdayken mesafe azaldığı için açılış 180°'ye, parmak açık konumdayken ise mesafe arttığı için açılış 0°'ye yaklaşır:

$$\theta = \text{interp}(d, [d_{\min}, d_{\max}], [180^\circ, 0^\circ]) \quad (3.2)$$

Son aşamada, servo motorların aşırı zorlanmasını önlemek için hesaplanan açı değeri matematiksel olarak sınırlandırılmıştır. Denklem 3.3'te belirtilen bu işlem, açının her durumda 0° ile 180° arasında kalmasını sağlar:

$$\theta_{final} = \max(0, \min(180, \theta)) \quad (3.3)$$

Her parmak için d_{min} ve d_{max} eşik değerleri, elin anatomik yapısına göre ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu hesaplama, kodda `math.hypot()` ve `numpy.interp()` fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

3.2.2 Seri Haberleşme Protokolü

Yazılım ile mikrodenetleyici arasındaki iletişim, ayrıştırma hatalarını önlemek amacıyla özel bir metin formatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aktarılan veriler, başlangıç ve bitiş işaretçileri ile sınırlandırılmıştır.

Motor tepki sürelerinde gecikme yaşanmaması amacıyla veri iletim hızı 115200 bps olarak belirlenmiştir. Ayrıca, veri kaybı durumunda sistemin çökmesini önlemek için kod bloklarına istisna yakalama kuralları eklenmiştir.

3.3 Gömülü Yazılım Katmanı

Arduino üzerinde koşan donanım yazılımı, gelen verileri ana döngüyü bloke etmeden tampon belleğe kaydeder. Okunan karakter dizisi virgüllerinden ayrılarak tam sayı açı değerlerine dönüştürülür.

Gömülü yazılımda fiziksel montaj yönlerinden kaynaklı düzeltme uygulanmıştır. Servo motorların mekanik 0° konumu parmağı kapattığı için, Python arayüzünden gelen açı değeri terslenerek motora yazılmıştır.

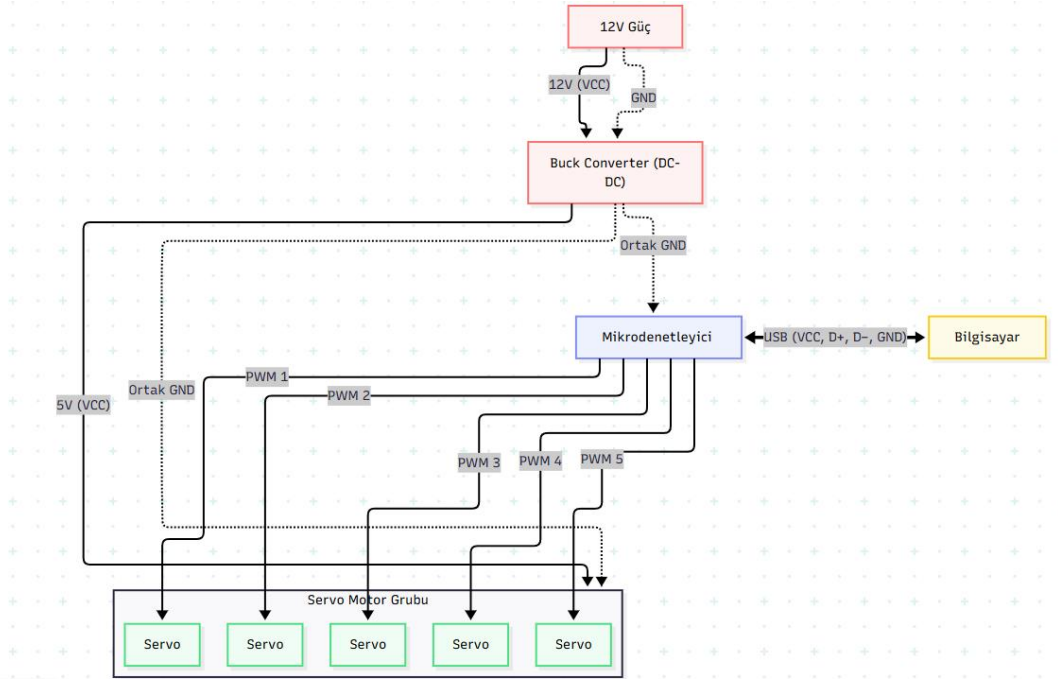
3.4 Donanım Katmanı

Prototipin mekanik gövdesi PLA polimer malzemelerle üretilmiş ve insan eline yakın boyutlarda, antropomorfik bir yapıda tasarlanmıştır. Üretilen üç boyutlu baskı robotik el prototipi Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3 3D Baskı Robotik El Prototipi

Parmakların bükülme hareketi, iç kanallardan geçirilen tendon mekanizması ile gerçekleştirilmektedir. Motorlar ipleri çektiğinde parmaklar içe doğru bükülürken, motorlar gevşediğinde yapısal gerginlik parmakları açık konuma getirmektedir. Sistemde kullanılan servo motorların çektiği akım miktarı, mikrodenetleyicinin çıkış sınırlarını aştığından, donanıma bağımsız bir güç kontrol devresi eklenmiştir. Montajı tamamlanan devrenin yapısı Şekil 3.4'te sunulmaktadır.



Şekil

3.4 Kontrol Devresi ve Arduino Bağlantıları

Dışarıdan sağlanan 12V enerji, voltaj düşürücü entegresi kullanılarak 5V seviyesine düşürülmüştür. Sistemde kullanılan tüm donanım bileşenleri Tablo 3.1'de özetlenmiştir.

Tablo 3.2 Kullanılan Donanım Bileşenleri

Bileşen	Model/Özellik	Adet	Kullanım Amacı
Mikrodenetleyici	Arduino Uno (ATmega328P)	1	PWM kontrol ve seri haberleşme
Servo Motor	MG90S Metal Dişli	5	Parmak fleksiyonu
Laptop kamera	720p	1	Görüntü girişi
Buck Converter	LM2596 / muadil	1	Gerilim düşürme (12V→5V)
Güç Adaptörü	12V DC	1	Harici güç kaynağı
3D Baskı El	PLA / 3D Yazıcı	1	Mekanik yapı

3.5 Sistem Entegrasyonu

Modüler testler tamamlandıktan sonra son entegrasyon yapılmıştır. PC yazılımı seri portu tarayarak donanımı algılar. Hesaplanan kinematik veriler milisaniyelik periyotlarla kontrol devresine aktarılır ve tendon mekanizmasının senkronizasyonu sürdürülür.

BÖLÜM 4. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

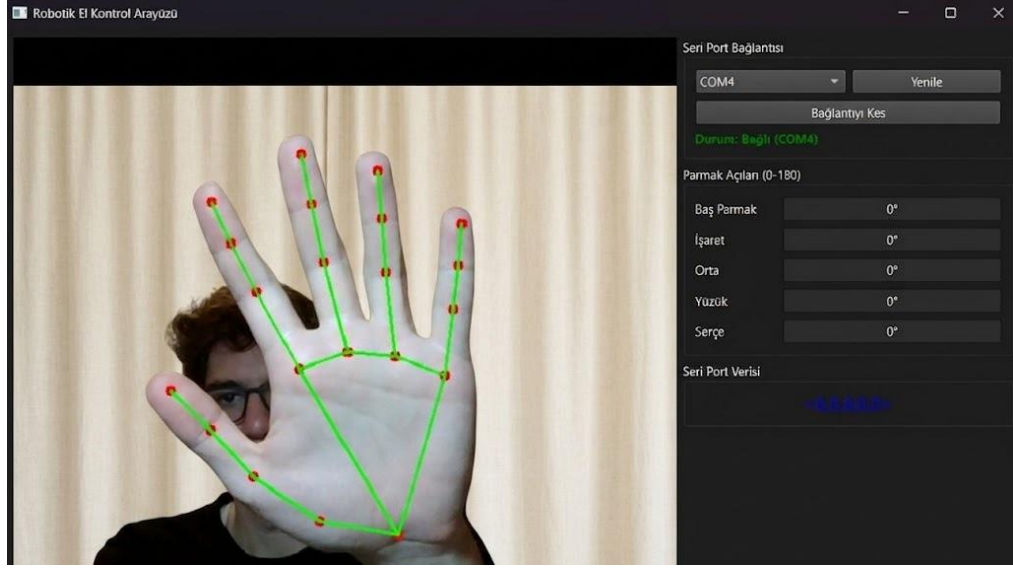
4.1 Test Yöntemi

Sistemin işlevselliğini doğrulamak için iki temel test senaryosu belirlenmiştir. Bunlar, elin tam açık ve tam kapalı (yumruk) konumlarıdır. Testler, standart iç aydınlatmada, 720p web kamerası ve yaklaşık 40–60 cm kamera-el mesafesiyle uygulanmıştır. Her senaryoda, yazılım arayüzündeki anlık açı değerleri kaydedilmiş ve robotik elin fiziksel tepkisi gözlemlenmiştir.

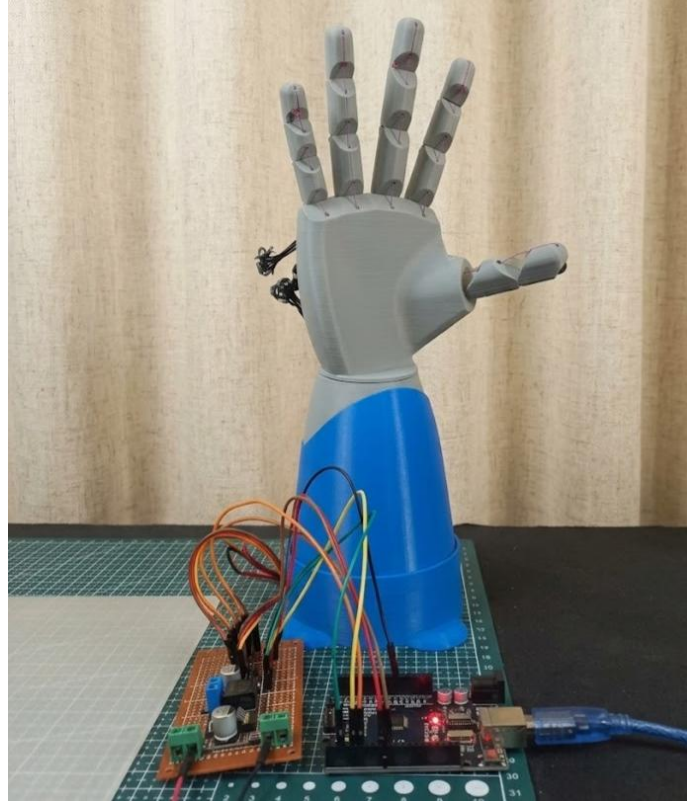
4.2 Senaryo 1 — El Açık Konumu

Kullanıcı, elini kamera karşısında tüm parmakları tamamen açık ve gerilmiş şekilde konumlandırmıştır. Bu konumda, sistem aşağıdaki davranışı göstermiştir: MediaPipe modeli 21 landmark noktasını başarıyla tespit etmiştir. Her parmak noktaları arasındaki normalize edilmiş Öklid mesafesi maksimum değerine ulaşmıştır. Maksimum değerine ulaşmıştır.

`np.interp()` fonksiyonu mesafeyi $[d_{\min}, d_{\max}] \rightarrow [180^\circ, 0^\circ]$ aralığına eşlediğinden, Tüm parmaklar için hesaplanan açı değerleri yaklaşık 0° olarak ölçülmüştür. Veri paketi seri porta formatında $\langle 0,0,0,0,0 \rangle$ olarak gönderilmiştir. Arduino firmware bu değerleri alarak her servoya `write(180 - 0) = write(180)` komutunu uygulamıştır. Sonuç olarak, robotik elin tüm parmakları tamamen açık konuma gelmiştir. Yazılım arayüzü Şekil 4.1'de, robotik elin fiziksel konumu Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.1 Senaryo 1 — El Açık Konumunda Yazılım Arayüzü

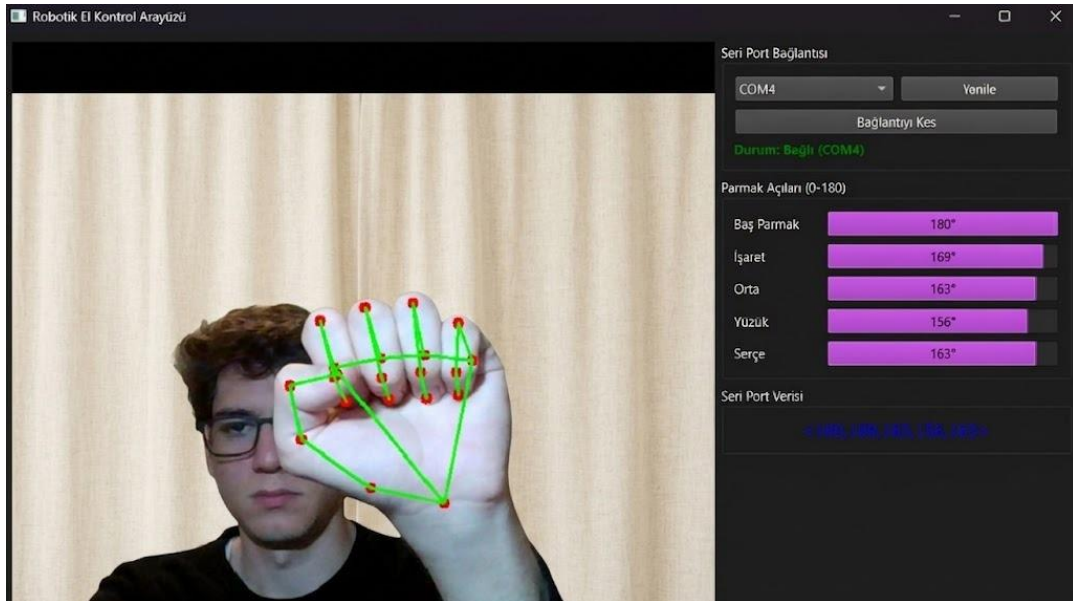


Şekil 4.2 Senaryo 1 — El Açık Konumunda Robotik El Donanımı

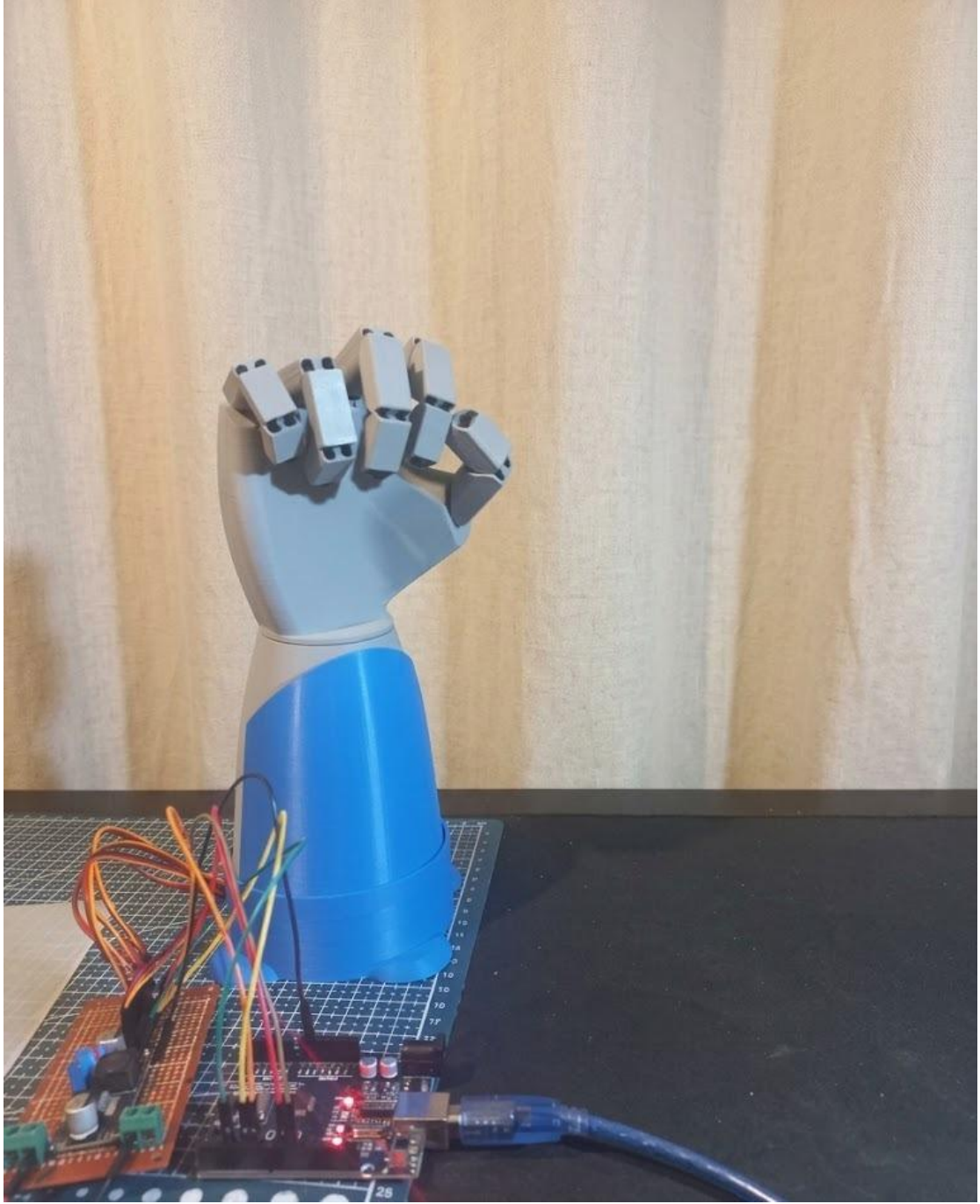
4.3 Senaryo 2 — El Kapalı Konumu

El yumruk konumuna getirildiğinde, parmak uç noktaları kök noktalarına yaklaşır. Bu yaklaşma sonucunda, normalize edilmiş Öklid mesafesi minimum değerine düşer. Bu durumda, np.interp() fonksiyonu mesafeyi yüksek açı değerlerine dönüştürür. Clamp işlemi uygulandıktan sonra, ölçülen açı değerleri Tablo 4.1'de gösterildiği gibi Bu değerler şu şekildedir: Baş Parmak: 180°, İşaret Parmağı: 169°, Orta Parmak: 169°, Orta Parmak: 163°, Yüzük Parmağı: 156°, Serçe Parmağı: 163°.

Seri haberleşme katmanı, bu değerleri <B,İ,O,Y,S> protokol formatına uygun şekilde kodlamıştır. <180,169,163,156,163>\n olarak kodlanan veriler, 115200 bps hızında Arduino'ya iletilmiş Arduino firmware, recvWithStartEndMarkers() fonksiyonu ile paketi eksiksiz olarak almıştır. parseData() fonksiyonu ile veriler beş tam sayıya dönüştürülmüş, ardından moveServos() ile her servo için ilgili değer atanmıştır. Baş parmak için referans noktası olarak serçe kökü (landmark 17) seçilmiştir. Bu seçim, baş parmağın yatay hareketini daha belirgin hale getirmiş ve 180° tam kapanma değerinin elde edilmesini sağlamıştır. Yazılım arayüzü Şekil 4.3'te, robotik elin fiziksel konumu ise Şekil 4.4'te gösterilmektedir. fiziksel konumu Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.3 Senaryo 2 — El Kapalı Konumunda Yazılım Arayüzü



Şekil 4.4 Senaryo 2 — El Kapalı Konumunda Robotik El Donanımı

4.4 Sistem Performansının Değerlendirilmesi

Yazılım katmanında, CameraWorker sınıfı QThread içerisinde msleep(10) çağrısıBu yapı, yaklaşık 30 kare/saniye (fps) işleme hızını hedeflemektedir. hızını hedeflemektedir. Görüntü alımı, landmark tespiti ve seri veri iletimini kapsayan uçtan uca gecikme milisaniye düzeyinde kalmıştır. Kullanıcı hareketi ile robotik elin tepkisi arasında gözle fark edilebilir bir gecikme gözlemlenmemiştir.

Açı hesaplama algoritmasının doğruluğu her parmak için değerlendirildiğinde, anatomik yapıya özgü d_min ve d_max eşik değerlerinin (Baş: [0.20, 0.40], İşaret: [0.05, 0.30], Orta: [0.05, 0.35], Yüzük: [0.05, 0.30], Serçe: [0.05, 0.25]) Tutarlı ölçümler ürettiği gözlemlenmiştir. Modüler yazılım mimarisi sayesinde, SerialManager, HandTracker ve CameraWorker bileşenlerinin her biri bağımsız olarak test edilebilmektedir. Ayrıca, seri port bağlantısı kesildiğinde SerialException yakalanarak sistemin çökmesi önlenmekte ve çalışma devam etmektedir. Sistemin temel sınırlamaları şunlardır: Düşük aydınlatma koşullarında landmark tespit başarımı azalmakta, eş zamanlı iki el tespiti desteklenmemekte ve USB kablo uzunluğu hareket alanını kısıtlamaktadır.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, standart bir web kamerası ve açık kaynaklı yazılım kütüphaneleri kullanıldı. Düşük maliyetli ve gerçek zamanlı bir el hareketi takip ve robotik taklit sistemi geliştirildi. Yazılım katmanında, Google MediaPipe altyapısı kullanılarak elin 21 eklem noktası yüksek doğrulukla tespit edildi. Her parmağın bükülme açısı, mesafe tabanlı bir algoritma ile bağımsız olarak hesaplandı ve PyQt6 Tabanlı grafiksel kullanıcı arayüzü ile anlık olarak görselleştirildi. FDM yöntemiyle üretilen 3D baskı robotik el prototipi, LM2596 buck converter güç regülasyon devresi ve Arduino Uno mikrodenetleyicinin firmware'i tasarlanıp entegre edildi. Gerçekleştirilen testlerde, el açık ve yumruk konumlarında beş parmağın eşzamanlı olarak taklit edildiği doğrulandı.

Çalışmanın en önemli bulgusu, veri eldivenleri veya EMG sensörleri gibi temas gerektiren donanımlara ihtiyaç duyulmadan yalnızca görüntü işleme teknikleriyle robotik el kontrolünün mümkün olduğudur. Sistem bir adet web kamerası, Arduino Uno ve beş adet servo motordan oluşan bütçe dostu bileşenlerle gerçekleştirilmiş olup, endüstriyel çözümlere kıyasla önemli ölçüde düşük maliyet avantajı sunmaktadır. Modüler yazılım mimarisi sayesinde her katman bağımsız olarak geliştirilebilir ve test edilebilir niteliktedir. Elde edilen sonuçlar, bilgisayarlı görüntü tabanlı temassız kontrol yaklaşımının eğitim amaçlı robotik uygulamalar ve düşük maliyetli protez sistemleri gibi alanlarda uygulanabilir bir alternatif olduğunu göstermektedir.

BÖLÜM 6. ÖNERİLER

Aşağıdaki iyileştirme önerileri, sistemin performansını artırmak ve uygulama alanını genişletmek amacıyla sonraki araştırmacılara yol göstermek için sunulmuştur.

Sistem mevcut yapısıyla yalnızca tek bir elin tespitine odaklanmaktadır. Çift kamera düzeneği veya MediaPipe'in çoklu el tespit özelliğinin etkinleştirilmesiyle iki el eş zamanlı takip edilebilir. Bu sayede, iki robotik elin koordineli kontrolü mümkün olur ve sistemin endüstriyel ile cerrahi simülasyon gibi alanlardaki kullanım potansiyeli artar.

Mevcut sistemde PC ile Arduino arasındaki veri iletişimi USB kablosu ile sağlanmaktadır. USB bağlantısının Bluetooth veya Wi-Fi tabanlı kablosuz protokollerle değiştirilmesi, robotik elin hareket alanını artırarak sistemi daha taşınabilir hale getirebilir.

Sistem, düşük maliyeti ve temassız kontrol prensibi sayesinde engelli bireyler için protez el kontrolüne uyarlanabilir. Kullanıcının sağlam el hareketlerinin protez ele yansıtılması veya farklı vücut bölgelerinden alınan görüntü verisiyle kontrol sağlanması araştırılabilir.

Bu çalışmada yalnızca beş parmağın fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri incelenmiştir. Bilek rotasyonu, avuç içi açma-kapama ve parmaklar arası abdüksiyon gibi ek serbestlik derecelerinin eklenmesi, robotik elin insan elini taklit kabiliyetini artırabilir. Bu iyileştirme, ek servo motorlar ve daha kapsamlı bir landmark analiz algoritması gerektirir.

KAYNAKLAR

- [1] Arduino, 2024. 'Servo Library', Arduino Reference. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/servo/>
- [2] Bradski, G., 2000. 'The OpenCV Library', Dr. Dobb's Journal of Software Tools.
- [3] Criminisi, A., 2004. 'Machine Learning for Computer Vision', Springer.
- [4] Goodfellow, I., Bengio, Y. ve Courville, A., 2016. 'Deep Learning', MIT Press.
- [5] Google, 2024. 'MediaPipe Hand Landmarker', MediaPipe Solutions Documentation. [Çevrimiçi]. Erişim: https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/hand_landmarker
- [6] Harris, C. ve Stephens, M., 1988. 'A Combined Corner and Edge Detector', Alvey Vision Conference Proceedings, s. 147–151.
- [7] InMoov Project, 2024. 'InMoov — Open Source 3D Printed Life Size Robot'. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://inmoov.fr/>
- [8] Jain, A. K., 1989. 'Fundamentals of Digital Image Processing', Prentice Hall.
- [9] Karpathy, A., 2015. 'Deep Visual-Semantic Alignments for Generating Image Descriptions', IEEE CVPR Proceedings.
- [10] Zhang, F. vd., 2020. 'MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking', CVPR Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality.
- [11] Otsu, N., 1979. 'A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms', IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 9(1), s. 62–66.
- [12] Pavlovic, V. I. vd., 1997. 'Visual Interpretation of Hand Gestures as Human-Computer Interaction: A Review', IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 19(7), s. 677–695.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler Adı Soyadı: Bahadır Özdemir

Doğum Yeri ve Tarihi: Antalya, 15.04.2003

Eğitim Durumu Lisans: Akdeniz Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği (2021 – 2026)

Mesleki Deneyim ve Akademik Çalışmalar

Lisans eğitimi süresince elektronik donanım geliştirme ve yazılım mimarileri alanlarında eş zamanlı olarak yetkinlik kazanmıştır. Bu kapsamda, sektördeki ilk deneyimlerinden biri olan Crystal firmasındaki stajının ardından, Desird firmasında stajyer olarak başlamış, ardından yarı zamanlı Ar-Ge Mühendisi olarak görev yapmıştır.

Profesyonel ve akademik çalışmaları kapsamında, KiCad ile çok katmanlı PCB devre tasarımı, güç elektroniği ve STM32 ile ARM tabanlı mikrodenetleyiciler kullanarak gömülü sistem yazılımları geliştirme süreçlerinde aktif rol üstlenmiştir. Raylı sistemler için titreşim sensörü (MEMS, CAN bus entegrasyonu) ve otonom kontrol projeleri gibi donanım ve yazılımın entegre çalıştığı sistemler tasarlayarak her iki alanda da uzmanlık geliştirmiştir. Çok yönlü mühendislik yaklaşımıyla, Ar-Ge süreçlerinde teorik bilgisini pratik endüstriyel uygulamalara aktarmaya devam etmektedir.