

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

BALL AND BEAM PID BALANCING SYSTEM

FURKAN ELMALI-AHMET FARUK GÜLDEŞİR

DENİZLİ, HAZİRAN - 2024

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ



BALL AND BEAM PID BALANCING SYSTEM

FURKAN ELMALI-AHMET FARUK GÜLDEŞİR

DENİZLİ, HAZİRAN - 2024

ÖZET

BALL AND BEAM PID BALANCING SYSTEM

FURKAN ELMALI-AHMET FARUK GÜLDEŞİR
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

(PROJE DANIŞMANI:DR. ÖĞR. ÜYESİ ERDEM DİLMEN)

DENİZLİ, HAZİRAN - 2024

Bu projede, bir topun bir kiriş üzerinde dengelemesini sağlayacak bir sistem geliştirilmektedir. Topun belirli bir noktada istikrarlı bir şekilde durmasını hedefleyen bu dengeleme mekanizması, çeşitli mühendislik prensiplerini ve teknolojilerini bir araya getirmektedir. Top ve çubuk sistemi yapısı gereği doğrusal olmayan, kararsız bir sistemdir. Bu yapısı sebebiyle doğrusal ve doğrusal olmayan denetim yöntemlerinin uygulama çalışmalarında deneysel bir sistem olarak tercih edilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER:

BALL AND BEAM, PID, DENGİ SİSTEMİ, DC MOTOR,
MANYETİK ENCODER, TOF200C LAZER SENSÖRÜ,
ARDUINO UNO

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
TABLO LİSTESİ.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Malzeme Listesi	1
1.1.1 12 V Encoderli DC Motor	1
1.1.1.1 Encoder Nedir	2
1.1.1.2 Motorun Çalışma Prensibi	2
1.1.1.3 DataSheet	3
1.1.2 L298N DC/Step Motor Sürücü Kartı	4
1.1.2.1 Temel Özellikler ve Çalışma Prensibi Çift H-Köprü Yapısı	4
1.1.2.2 PWM Desteği	4
1.1.2.3 Motor Yön Kontrolü	5
1.1.3 TOF0200C VL53L0X	5
1.1.3.1 Time-of-Flight Teknolojisi	5
1.1.3.2 Ölçüm Aralığı ve Hassasiyet.....	5
1.1.3.3 İletişim Protokolü.....	5
1.1.3.3.1 I2C	6
1.1.4 XL4015 5A 75W DC DCD Göstergeli Voltaj Regülatörü	6
1.1.5 3D Baskı Ball And Beam Tezgahı	7
1.1.5.1 SolidWorks Tasarımları	7
1.1.6 Sistemin Birleştirilmiş Durumu	8
2. TOF200C VL53L0X Laser Sensörü ile Mesafe Okuma	9
3. DC MOTOR Hareket Ettirme ve Encoder Verisi Okuma	11
3.1 Encoder Verisi Okuma	11
3.2 Motor Yönünü ve Hızını Ayarlamak.....	12
3.3 Motorun Açısal Hareketi ve ± 90 Sınırlarında Hareketini Sağlama... 13	
4. PID Hesapları ve Fonksiyonu.....	14
4.1 PID Nedir?.....	14
4.2 PID Fonksiyonu için Kullanılacak Formüller	14
4.3 PID Fonksiyonu.....	15
5. YÖNTEM.....	17
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	19
7. KAYNAKLAR.....	20
9. ÖZGEÇMİŞ.....	21

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

• Şekil 1: DC MOTOR GÖRSEL 1.....	1
• Şekil 2: ENCODER.	2
• Şekil 3: DC MOTOR DATA SHEET.....	3
• Şekil 4: L298N DC/Step Motor Sürücü Kartı.....	4
• Şekil 5: TOF02000C VL53L0X DATASHEET.....	5
• Şekil 6: XL4015 5A REGÜLATÖR DATASHEET.....	6
• Şekil 7: BEAM END.....	7
• Şekil 8: KRANK.....	7
• Şekil 9: BEAM HİNGE.....	7
• Şekil 10: Bağlantı Kolu.....	7
• Şekil 11: Sensor Kulesi.....	7
• Şekil 12: Sistemin Tam Hali.....	8
• Şekil 13: Grafik.....	17

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1: Malzeme Listesi.....	1
-------------------------------	---

ÖNSÖZ

Lisans programımıza başladığımız günden itibaren bize yol gösterip yanımızda olan, istifade ettiğimiz teknik altyapıyı sağlamamıza yardımcı olan öğretim üyelerine; modern bilimi ve tekniği öğrenip uygulayabildiğimiz üniversiteler dahil olmak üzere, çağdaş bir eğitim-öğretim sistemini ve ülkeyi bize kuran, hediye eden ve miras bırakan, başöğretmenimiz Ulu Önder Mustafa Kemal ATATÜRK'e ve emegi geçen tüm ecdadımıza ve bu projeyi yapım sürecimiz boyunca, bize fikirleri ve tecrübesiyle yol gösteren Erdem Dilmen başta olmak üzere derslerinden ve bilgilerinden faydalandığımız bütün öğretim üyelerine, internet üzerinden tanımamamıza rağmen bizlere ve milyonlara paylaştıkları bilgilerle büyük yardımları dokunan içerik üreticilerine bize büyük ve küçük yardımı dokunmuş herkese teşekkürü borç biliriz.

1. GİRİŞ

Bu projede, bir topun bir kiriş üzerinde dengelemesini sağlayacak bir sistem geliştirilmektedir. Topun belirli bir noktada istikrarlı bir şekilde durmasını hedefleyen bu dengeleme mekanizması, çeşitli mühendislik prensiplerini ve teknolojilerini bir araya getirmektedir. Top ve çubuk sistemi yapısı gereği doğrusal olmayan, kararsız bir sistemdir. Bu yapısı sebebiyle doğrusal ve doğrusal olmayan denetim yöntemlerinin uygulama çalışmalarında deneysel bir sistem olarak tercih edilmektedir.

1.1 Kullanılan Malzemeler

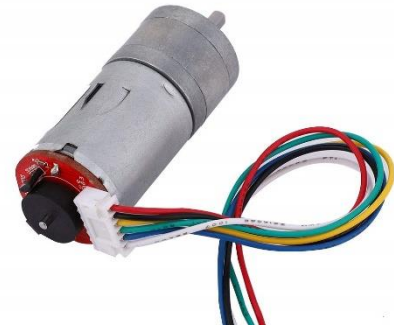
Kullanacağımız malzemelerin seçimi esnasında ele aldığımız faktörler, fiyatlandırma, kullanım kolaylığı, sisteme uygunluk, dayanıklılıktır.

Tablo 1 Malzeme Listesi

MALZEME LİSTESİ	
Arduino UNO	605 ZZ 5X14X5 Rulman
12V Encoderli DC Motor	3D Baskı Ball And Beam Tezgahı
L298N DC/Step Motor Sürücü Kartı	TOF0200C VL53L0X
XL4015 5A 75W DC DC Göstergeli Voltaj Regülatörü	TOP

1.1.1 12 V Encoderli DC Motor

Bu motor, enkoderli ve braketli bir manyetik tekerlek motorudur. Bu tür motorlar genellikle hassas konum kontrolü ve hız ölçümü gerektiren uygulamalarda kullanılır.



Şekil 1 DC MOTOR GÖRSEL 1

1.1.1.1 Enkoder Nedir?



Enkoderler, hareketli bir nesnenin konumunu veya hızını ölçmek için kullanılan cihazlardır. İki ana tipi vardır: **Optik Enkoder** ve **Manyetik Enkoder**. Kullandığımız 12V DC Motor üzerinde ise Manyetik Enkoder kullanılmakta. Manyetik enkoderler, bir manyetik alanın değişimlerini algılayarak konum ve hız bilgisi sağlarlar.

Şekil 2 ENCODER

Manyetik enkoderler, manyetik tekerlek veya disk üzerindeki manyetik kutupların algılanması ile çalışır. Bu manyetik tekerleğin üzerinde belirli aralıklarla yerleştirilmiş manyetik kutuplar bulunur. Tekerlek döndükçe, bu manyetik kutuplar enkoderin manyetik sensörlerinden geçer ve sensörler bu geçişleri elektrik sinyalleri olarak algılar.

1.1.1.2 Motorun Çalışma Prensipleri

Güç Verme: Motor bir güç kaynağına bağlandığında çalışmaya başlar. Dönüş: Motor miline bağlı olan manyetik tekerlek dönmeye başlar.







Enkoder Sensörü: Tekerlek döndükçe, manyetik enkoder sensörleri tekerlek üzerindeki manyetik kutupların geçişini algılar.

Sinyal Üretimi: Bu algılamalar, elektrik sinyallerine dönüştürülür. Veri İşleme: Bu sinyaller, bir kontrolcü veya mikrodenetleyici tarafından işlenir. Bu işlemle motorun dönme hızı ve konumu hassas bir şekilde belirlenir.

Geri Bildirim: Enkoderden gelen geri bildirim sinyalleri, motor kontrol sistemine gönderilir. Bu sayede, motorun hızı ve konumu gerektiğinde ayarlanabilir.

1.1.1.3 DataSheet



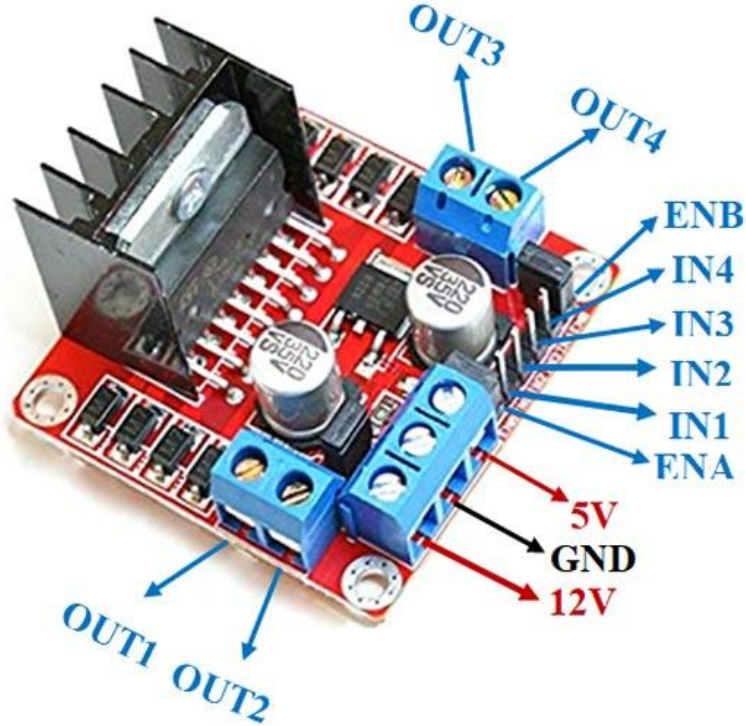
	Red-Motor +(positive and negative switching can control CW/CCW)
	Black- Encoder -(positive and negative can not be connected wrong, voltage range is 3.3-5V)
	Yellow-Encoder A Phase(The motor turns one turn output, 11 signals)
	Green-Encoder B Phase(The motor turns one turn output, 11 signals)
	Blue-Encoder+(positive and negative can not be connected wrong, voltage range is 3.3-5V)
	White-Motor-(positive and negative switching can control CW/CCW)

Şekil 3 DC MOTOR DATA SHEET

- **Kırmızı (Red-Motor +):** Motorun pozitif beslemesi.
- **Siyah (Black-Encoder -):** Enkoderin negatif beslemesi (3.3-5V).
- **Sarı (Yellow-Encoder A Phase):** Enkoderin A faz çıkışı, motor bir tur döndüğünde 11 sinyal üretir.
- **Yeşil (Green-Encoder B Phase):** Enkoderin B faz çıkışı, motor bir tur döndüğünde 11 sinyal üretir.
- **Mavi (Blue-Encoder +):** Enkoderin pozitif beslemesi (3.3-5V).

- **Beyaz (White-Motor -):** Motorun negatif beslemesi.

1.1.2 L298N DC/Step Motor Sürücü Kartı



Şekil 4 L298N DC/Step Motor Sürücü Kartı

L298N Motor Sürücü Kartı, DC motorları ve step motorları kontrol etmek için kullanılan çift H-köprü motor sürücü modülüdür. Bu kart, yüksek akım ve voltaj gerektiren motorları mikrodenetleyicilerle (Arduino, PIC vb.) kolayca sürmek için tasarlanmıştır.

1.1.2.1 Temel Özellikler ve Çalışma Prensibi Çift H-Köprü Yapısı:

L298N, iki adet DC motoru veya bir adet step motoru kontrol etmek için kullanılan çift H-köprü yapıdadır. Bu yapı, motorun ileri ve geri hareket edebilmesini sağlar. H-köprü devresi, motorun iki yönlü çalışmasını sağlayan anahtarlama elemanlarından oluşur.

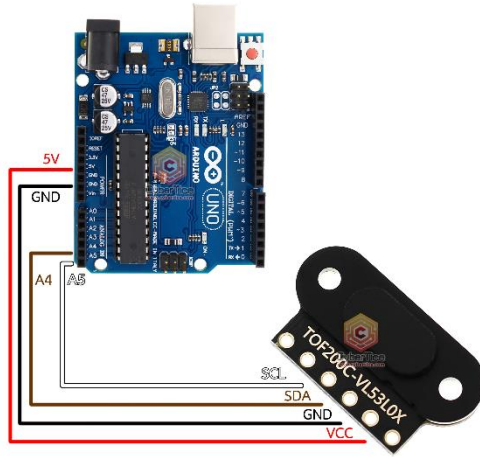
1.1.2.2 PWM Desteği:

L298N modülü, PWM (Pulse Width Modulation) sinyalleri ile motor hız kontrolü yapabilir. ENA ve ENB pinlerine PWM sinyalleri uygulanarak motorların hızları ayarlanabilir.

1.1.2.3 Motor Yön Kontrolü:

IN1 ve IN2 pinleri Motor A'nın, IN3 ve IN4 pinleri ise Motor B'nin yönünü kontrol eder. IN1 yüksek ve IN2 düşük olduğunda motor ileri, IN1 düşük ve IN2 yüksek olduğunda motor geri hareket eder. Her iki pin de aynı durumda (yüksek veya düşük) olduğunda motor durur

1.1.3 TOF0200C VL53L0X



Şekil 5 TOF0200C VL53L0X DATASHEET

VL53L0X, STMicroelectronics tarafından üretilen bir ToF (Time-of-Flight) mesafe sensörüdür. Bu sensör, lazer darbeleri kullanarak mesafe ölçümü yapar ve bu nedenle yüksek doğruluk ve hassasiyet sunar.

1.1.3.1 Time-of-Flight Teknolojisi:

VL53L0X, nesneye gönderilen lazer ışınlarının geri dönüş süresini ölçerek mesafeyi hesaplar. Bu teknoloji, ışık hızını kullanarak çok hassas mesafe ölçümleri sağlar.

1.1.3.2 Ölçüm Aralığı ve Hassasiyet:

Sensör, 30 mm ile 2 metre arasında doğru mesafe ölçümleri yapabilir. Doğruluğu, ortam koşullarına ve yüzey yansımalarına bağlı olarak değişebilir.

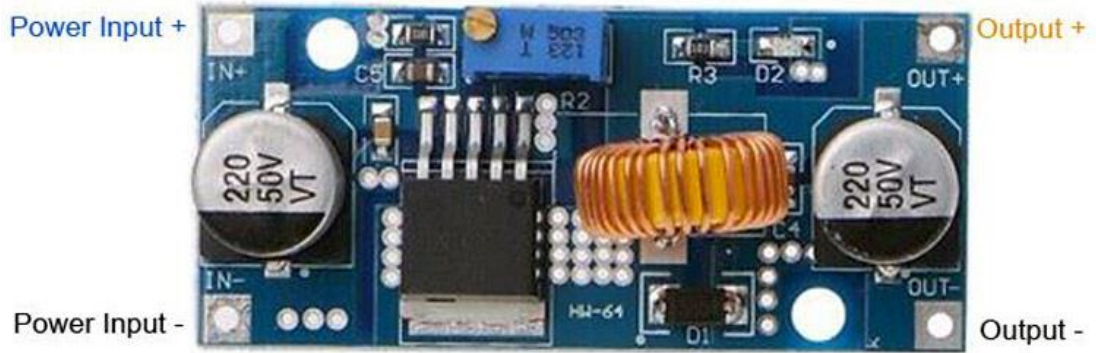
1.1.3.3 İletişim Protokolü:

VL53L0X, I2C iletişim protokolünü kullanarak mikrodenetleyiciye bağlanır. Bu sayede, sensörden alınan veriler kolayca okunabilir ve işlenebilir.

1.1.3.3.1 I2C:

I2C, SDA ve SDC olmak üzere 1 adet veri ve 1 adet clock kanalına sahiptir CPU ve mikrodenetleyici gibi, iletişimi başlatan birim master olarak isimlendirilir ve saat frekansını (clock) üretmekten sorumludur. Ayrıca iletişim yine master tarafından sonlandırılır. Slave çevre birimleri genellikle 7 bitlik adreslere sahiptir ve bu birimlere bu adresler üzerinden erişilir. Aynı veriyolu üzerine 112 tane aygıt bulunabilir. Master ve slave arasındaki iletişim çift yönlüdür (bidirectional). İletişimin yönünü master belirler.

1.1.4 XL4015 5A 75W DC DC Göstergeli Voltaj Regülatörü



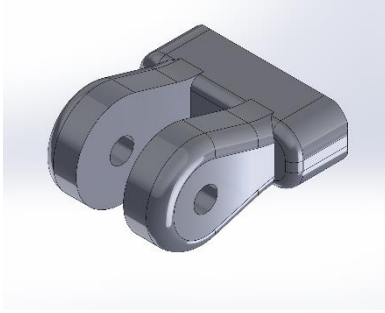
Şekil 6 XL4015 5A REGÜLATÖR DATASHEET

XL4015 voltaj regülatörü, yüksek akım ve güç gereksinimleri için kullanılan bir DC-DC dönüştürücü modülüdür. Bu modül, geniş giriş voltaj aralığı ve yüksek çıkış akımı ile birçok uygulamada kullanılabilir. Göstergeli olması, voltaj ayarını ve izlemeyi kolaylaştırır.

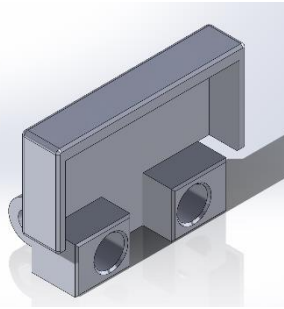
1.1.5 3D Baskı Ball And Beam Tezgahı

Parçalarımızı baskı almadan önce, ball and beam sistemine uygun olarak bir sabit ayak üzerinde ultrasonik sensörü konumlandırabileceğimiz bir alan ve girişin sağ tarafında motordan gelen güç ile sistemi hareket ettirecek iki kol mekanizması teması düşündük. Sistemin stabil bir şekilde çalışması adına sürecin devamında bu parçaları düz bir zemine monte ederek, konum eşitliğini sağlamayı amaçlamaktayız

1.1.5.1 SolidWorks Tasarımları



Şekil 7 BEAM END



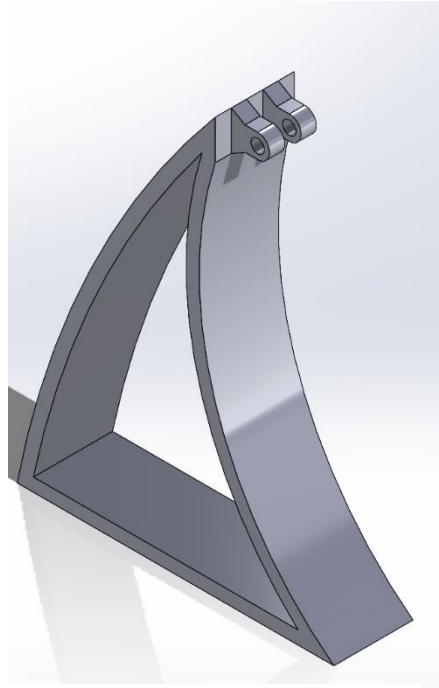
Şekil 9 BEAM HİNGE



Şekil 8 Krank

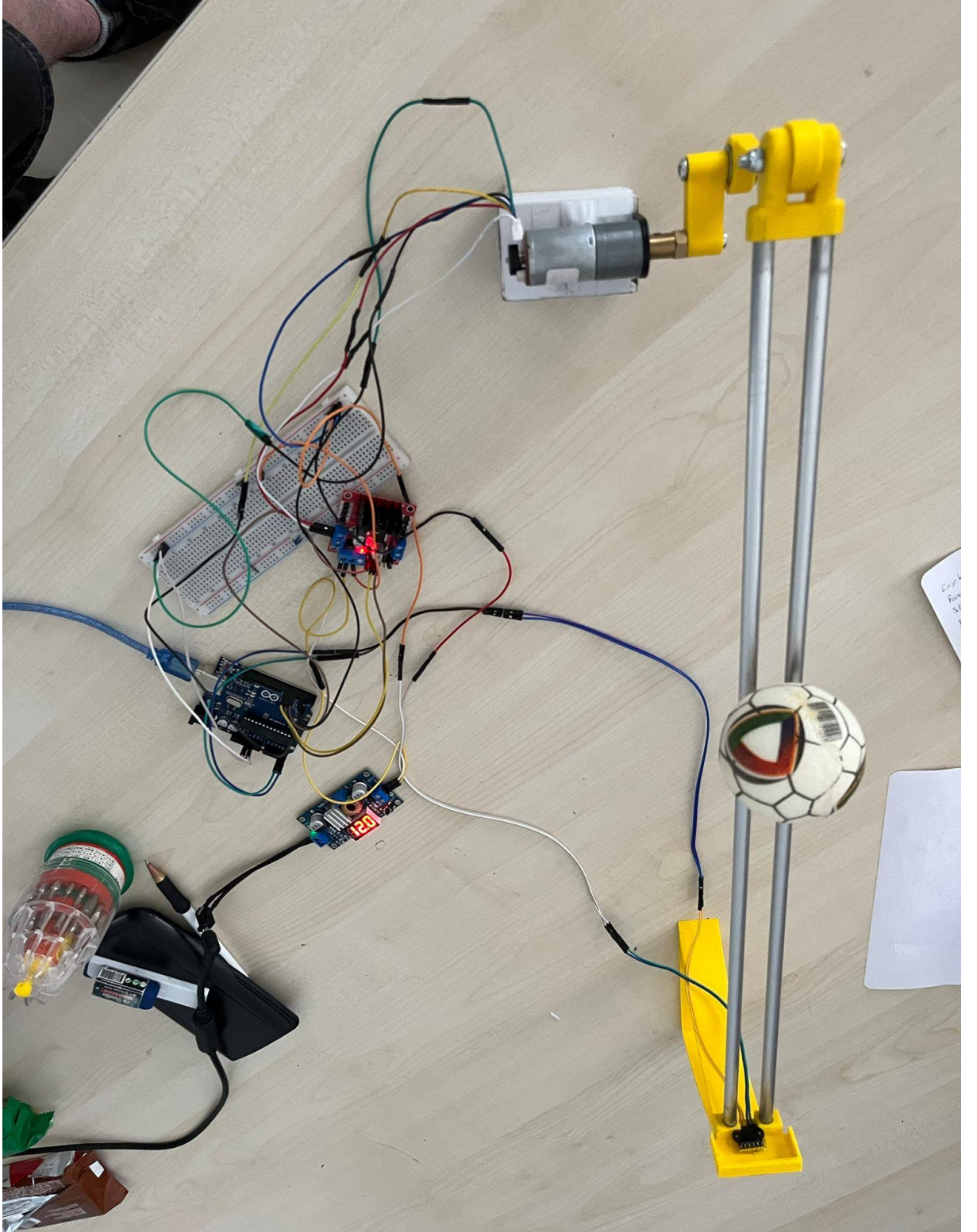


Şekil 10 Bağlantı Kolu



Şekil 11 Sensor Kulesi

1.1.6 Sistemin Birleştirilmiş Durumu



şekil 12 Sistemin Tam Hali

2. TOF200C VL53L0X Laser Sensörü ile Mesafe Okuma

İlk olarak **Şekil 5**'teki VL53L0X Sensörümüzün DataSheet'ini kullanarak Arduino UNO kartımızla bağlantıları sağlıyoruz. Daha sonra sensörümüzü kullanmak için gerekli olan kütüphaneleri;

```
#include <Wire.h>
#include <VL53L0X.h>

VL53L0X sensor;
```

Bu şekilde kodumuza entegre ettikten sonra Start fonksiyonumuzun içinde sensörü düzgün bir şekilde çalıştırabilmek adına gerekli olan I2C iletişim protokolümüzün ve sensörümüz ile haberleşmenin başlatılmasını sağlayacak kodları ekliyoruz.

```
void setup()
{
    Serial.begin(9600);

    //I2C iletisim modulunu baslatma
    Wire.begin();
    //VL53L0X sensörünü baslatır
    sensor.init();
    //Sensörün zaman aşımı süresini 500 milisaniye olarak ayarlar.
    sensor.setTimeout(500);

    #if defined LONG_RANGE
        // lower the return signal rate limit (default is 0.25 MCPS)
        sensor.setSignalRateLimit(0.1);
        // increase laser pulse periods (defaults are 14 and 10 PCLKs)
        sensor.setVcselPulsePeriod(VL53L0X::VcselPeriodPreRange, 18);
        sensor.setVcselPulsePeriod(VL53L0X::VcselPeriodFinalRange, 14);
    #endif

    #if defined HIGH_SPEED
        // reduce timing budget to 20 ms (default is about 33 ms)
        sensor.setMeasurementTimingBudget(20000);
    #elif defined HIGH_ACCURACY
        // increase timing budget to 200 ms
        sensor.setMeasurementTimingBudget(200000);
    #endif
}
```


Daha sonra sensörden veri okumak adına kütüphanenin içindeki;

```
// Performs a single-shot range measurement and returns the reading in
// millimeters
// based on VL53L0X_PerformSingleRangingMeasurement()
uint16_t VL53L0X::readRangeSingleMillimeters()
{
    writeReg(0x80, 0x01);
    writeReg(0xFF, 0x01);
    writeReg(0x00, 0x00);
    writeReg(0x91, stop_variable);
    writeReg(0x00, 0x01);
    writeReg(0xFF, 0x00);
    writeReg(0x80, 0x00);

    writeReg(SYSRANGE_START, 0x01);
```

Milimetre cinsinden değer okuyan readRangeSingleMillimeters fonksiyonumuzu çağırmanız gerek. Bunun için Loop fonksiyonumuzun içinde daha önceden atamasını yaptığımız currentBallPos int'ini kullanarak;

```
void loop() {

    currentBallPos = sensor.readRangeSingleMillimeters() / 10;
    PID(currentBallPos);
}
```

Okuduğumuz mm değerini 10'a bölerek cm cinsinden currentBallPos int'imize atıyoruz. Böylelikle topun Beam üzerindeki anlık konumunu takip edebiliyoruz.

3. DC MOTOR Hareket Ettirme ve Encoder Verisi Okuma

İlk olarak Şekil 3 ‘ te bulunan DataSheet’imizi kullanarak bağlantılarımızı gerçekleştirmemiz gerekiyor. L298N Motor Sürücümüz ile motorumuzun + ve – bacaklarını bağladıktan sonra Motor Sürücümüze XL4015 Alçaltan Regülatör ile 12V bir güç veriyoruz. Encoder bağlantılarımızı ise Arduino UNO ile gerçekleştirdikten sonra PWM, IN1, IN2 Sinyallerimiz için Motor Sürücümüze bağlantısını yapacağımız OUTPUT kanalları açarak bu bağlantıları da gerçekleştiriyoruz.

```
#define ENCA 2 // YELLOW
#define ENCB 3 // WHITE
#define PWM 5
#define IN2 6
#define IN1 7

Serial.begin(9600);
pinMode(ENCA, INPUT);
pinMode(ENCB, INPUT);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(ENCA), readEncoder, RISING);
pinMode(PWM, OUTPUT);
pinMode(IN1, OUTPUT);
pinMode(IN2, OUTPUT);
```

Bağlantıları yaptığımız Pinleri tanımladıktan sonra bu pinlerden Encoder girişlerimizi INPUT ve Motor Sürücüsü için olan çıkışlarımızı OUTPUT olarak sağlıyoruz.

3.1 Encoder Verisi Okuma

ENCA ve ENCB pinlerimizi kullanarak Encoder’dan veri okumak adına aşağıdaki fonksiyonu yazıyoruz;

```

void readEncoder() {
    int b = digitalRead(ENCB);
    if(b > 0) {
        pos++;
    }
    else{
        pos--;
    }
}

```

Bu fonksiyon daha önce Start fonksiyonunda tanımladığımız ENCA ve ENCB pinlerini kullanarak Encoder üzerinden veri okumaktadır.

3.2 Motorun Yönünü ve Hızını Ayarlamak.

Daha önce motor driverımıza PWM, IN1 VE IN2 çıkışlarımızı bağlamıştır. PWM çıkışımız maksimum 255 olmak üzere motorumuzun hızını ayarlamaktadır. IN1 ve IN2 çıkışlarımız ise, motorun yönünü belirlemektedir. Bu bilgiler eşliğinde oluşturacağımız fonksiyon;

```

void setMotor(int dir, int pwmVal, int pwm, int in1, int in2){
    analogWrite(pwm,pwmVal);
    if(dir == 1){
        digitalWrite(in1,HIGH);
        digitalWrite(in2,LOW);
    }
    else if(dir == -1){
        digitalWrite(in1,LOW);
        digitalWrite(in2,HIGH);
    }
    else{
        digitalWrite(in1,LOW);
        digitalWrite(in2,LOW);
    }
}

```

Direction ve pwmVal değerlerimizi 4. Bölümde PID fonksiyonumuzu kullanarak elde edeceğiz. Sonuç olarak, motorumuzun hızını ve yönünü PID fonksiyonumuzun çıkışına göre elde edebileceğiz.

3.3 Motorun Açısal Hareketi ve ± 90 Sınırlarında Hareketini Sağlama.

Kullandığımız motor mutlak olarak açısal konum değeri sağlayamadığımız bir encodera sahip olduğundan, motorumuzu istediğimiz açıya getirebilmek adına bir katsayı hesaplamamız gerekir. İlk olarak 360^0 'yi kaç adımda döndüğünü bulabilmek 3.2 ' de oluşturduğumuz ve 3.1 de oluşturduğumuz fonksiyonları kullanacağız. Motorumuzu döndürerek 360 derecelik bir döngüyü kaç adımda tamamladığını gözlemleyeceğiz. Bu gözlemlerimizin sonucunda ise;

$$360^0 \approx 460N$$

Değerini elde ettik. Sonuç olarak 90 Derecelik sınırimız için 115N 'lik bir dönüşe ihtiyacımız var. Ball and Beam sisteminin 50cm'lik uzunluğunu baz alarak ± 90 derece dönüş açımız ± 25 cm değerleriyle orantılı olmak durumundadır. Bu durumda;

$$25x = 115 \Rightarrow x = 4,6N$$

Elde etmemiz gereken adım katsayımızı 4,6N olarak elde ederiz. Bu katsayıyı ise PID fonksiyonumuzun içinde rahatlıkla hedef değerimizi belirlerken kullanacağız.

4. PID Hesapları ve Fonksiyonu

4.1 PID Nedir?

PID, "Proportional-Integral-Derivative" kelimelerinin kısaltmasıdır ve bir tür kontrol algoritmasıdır. PID kontrolü, bir sistemin istenen set noktasına ulaşmasını ve bu noktada sabit kalmasını sağlamak için yaygın olarak kullanılır. PID denetleyicisi, kontrol edilen değişkenin hatasını (set noktası ile ölçülen değer arasındaki fark) minimize etmek için üç ayrı terim kullanır: Proportional (P), Integral (I), ve Derivative (D).

PID Denetleyicisinin Temel Bileşenleri

1. Proportional (P) Terimi:

- Hata ile orantılı bir kontrol sinyali üretir.
- P terimi, hatanın büyüklüğüne göre anında tepki verir.
- Kontrol sinyali, hata ile doğru orantılıdır

2. Integral (I) Terimi:

- Geçmiş hataların toplamını dikkate alarak kontrol sinyalini üretir.
- I terimi, sürekli hata varsa bunu düzeltmek için kullanılır.
- Kontrol sinyali, hata integraline orantılıdır

3. Derivative (D) Terimi:

- Hatanın değişim hızına (türevine) göre tepki verir.
- D terimi, sistemin hızla değişen hatalara karşı anında tepki vermesini sağlar ve aşırı salınımı (overshoot) azaltır.
- Kontrol sinyali, hatanın türevine orantılıdır

4.2 PID Fonksiyonu için Kullanılacak Formüller

PID Kontrol:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de}{dt}$$

$$P=k_p e(t)$$

$$I=k_i \int e(t) dt$$

$$D=k_d \frac{de}{dt}$$

Bu noktada kodumuzu oluştururken işlemlerimizi daha basit hale getirmek adına;

$$e(t)=\text{Hedef Pozisyon} - \text{Ölçülen Pozisyon} \quad \int e(t) dt \approx e_{in} + e\Delta t$$

ve son olarak $\frac{de}{dt} \approx \frac{e - e_{prev}}{\Delta t}$ eşitliklerini kullanacağız.

4.3 PID Fonksiyonu

İlk olarak hedeflenen motor pozisyonu için;

```
void PID(int ballPos)
{
    int target;
    if(ballPos == targetBallPos)
    {
        target = 0;
    }
    else
    {
        target = (ballPos - targetBallPos) * 4.6;
    }
}
```

Sensörümüzden gelen ballPos değeri ile hedeflenen pozisyonumuzu kontrol ederek motorun denge yani başlangıç pozisyonumu yoksa, bu iki değer birbirinden çıkartılıp cm başı adım değeri ile çarpılarak bulunan adım değerini mi hedeflenen pozisyonu mu seçeceğini belirtiyoruz.

Daha sonra, Kp, Ki ve Kd değerlerimizi belirleyerek deltaT, currT, prevT değerleri bulunur.

```

// PID constants
float kp = 7;
float kd = 0.175;
float ki = 0.7;

// time difference
long currT = micros();
float deltaT = ((float) (currT - prevT))/( 1.0e6 );
prevT = currT;

```

Bu değerleri de elde ettikten sonra bölüm 4.2 de elde ettiğimiz yaklaşık formülleri kullanarak error, derivative ve integral değerlerini elde ederek $u(t)$ değerimiz elde edilir. daha sonra $u(t)$ çıktısı ile beraber motor hızımız ve yönümüz bölüm 3.2 de hazırladığımız setMotor fonksiyonuna aktarılır.

```

// error
int e = pos - target;

// derivative
float dedt = (e-eprev)/(deltaT);

// integral
eintegral = eintegral + e*deltaT;

// control signal
float u = kp*e + kd*dedt + ki*eintegral;

// motor power
float pwr = fabs(u);
if( pwr > 255 ){
    pwr = 255;
}

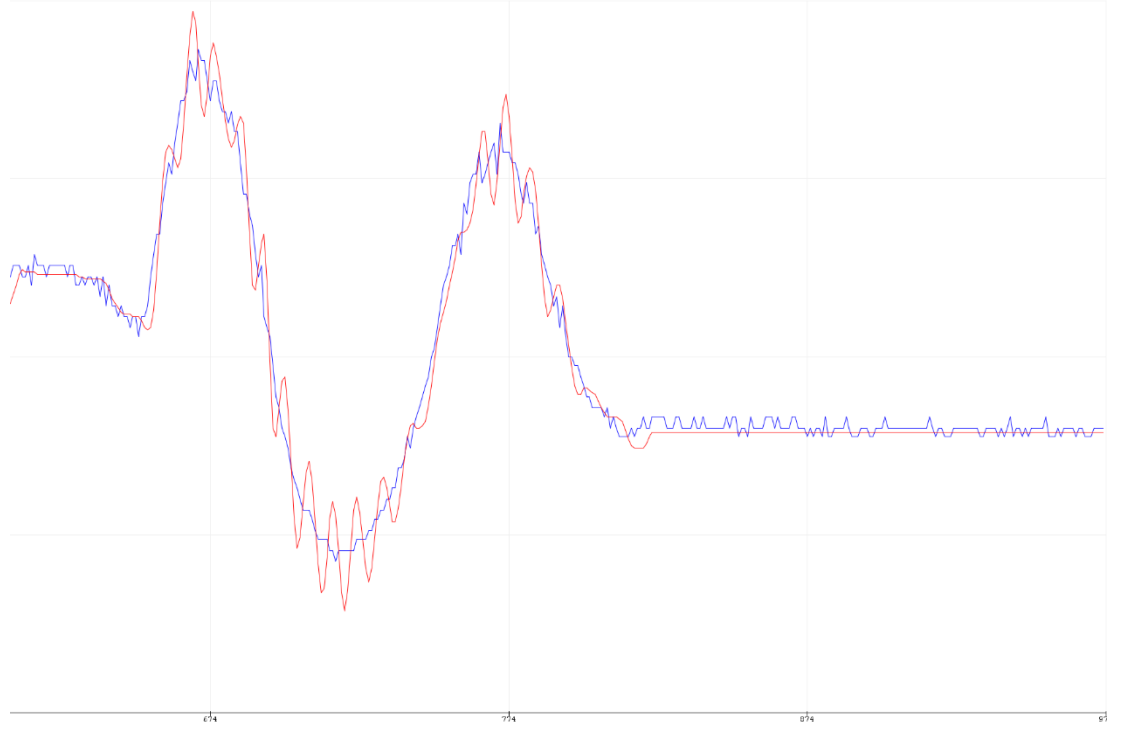
// motor direction
int dir = -1;
if(u<0){
    dir = 1;
}

// signal the motor
setMotor(dir,pwr,PWM,IN1,IN2);

// store previous error
eprev = e;

```

Sistemi 2. , 3. ve 4. Bölümleri birleştirerek çalıştırdığımızda;



şekil 13 Grafik

Grafiėini elde etmekteyiz. Bu grafikte kırmızı değer $u(t)$ değerimizi vermekte iken mavi değer Topumuzun güncel pozisyonunu göstermektedir.

5. YÖNTEM

Proje başlangıcında, SolidWorks gibi bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları kullanılarak dengeleme sistemi için gerekli parçaların tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım süreci, sistemin mekanik yapısının belirlenmesi, parçaların boyutlandırılması ve montajın planlanması gibi adımları içermiştir. Tasarımın tamamlanmasının ardından, 3D yazıcılar kullanılarak tasarlanan parçalar üretilmiştir. Bu prototipler, sistemin montajının gerçekleştirilmesi ve deneme aşaması için kullanılmıştır. Projenin bir diğer önemli aşaması, dengeleme sistemi için gerekli olan sensörlerin ve motorun seçimi ve entegrasyonudur. Bu kapsamda, lazer sensörlerin ve encoderlı bir adet 12 V DC motorun kullanılması tercih edilmiştir. Sensörlerin doğru bir şekilde yerleştirilmesi ve programlanması, topun konumunu algılayarak dengeleme mekanizmasının doğru şekilde tepki vermesini sağlayacaktır. Lazer sensörlerin entegrasyonu ile birlikte, dengeleme sistemi prototipi üzerinde çeşitli testler yapılmıştır. Bu testlerde, sistem tarafından algılanan topun konumu ve sistemin tepkisi değerlendirilmiştir. Test sonuçları, sensörlerin başarılı bir şekilde çalıştığını göstermiştir. Daha sonra motorumuzun çıktısı hesaplanarak bir cm başı adım değeri elde edilmiş ve PID hesapları yapılmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu proje kapsamında, bir top ve çubuk dengeleme sistemi geliştirilmiştir. Sistem, bir DC motor ve lazer sensörler kullanarak topun belirli bir konumda dengede kalmasını sağlamaktadır. Proje süresince yapılan testler ve hesaplamalar, sistemin başarılı bir şekilde çalıştığını göstermiştir.

6.1 Sonuçlar:

1. **Prototip Tasarımı ve Üretimi:** SolidWorks gibi CAD yazılımları kullanılarak tasarlanan parçalar 3D yazıcılarla üretilmiş ve sistemin montajı gerçekleştirilmiştir. Tasarım süreci, sistemin mekanik yapısının belirlenmesi ve parçaların boyutlandırılması gibi adımları içermiştir.
2. **Sensör ve Motor Seçimi:** Lazer sensörler ve 12V encoderlı DC motor kullanılarak, sistemin topun konumunu doğru bir şekilde algılaması ve motorun tepki vermesi sağlanmıştır.
3. **Testler ve Değerlendirmeler:** Lazer sensörlerin entegrasyonu ile birlikte yapılan testlerde, sensörlerin topun konumunu başarılı bir şekilde algıladığı ve sistemin doğru tepkiler verdiği gözlemlenmiştir. Motorun çıkışı hesaplanarak bir cm başı adım değeri elde edilmiş ve PID hesapları yapılmıştır.

6.2 Öneriler:

1. **Geliştirilmiş Kontrol Algoritmaları:** Projede kullanılan PID kontrol algoritması başarılı olmakla birlikte, daha ileri seviyede hassasiyet ve denge sağlamak için gelişmiş kontrol algoritmaları araştırılabilir ve uygulanabilir.
2. **Donanım İyileştirmeleri:** Kullanılan sensör ve motorların performansını artırmak için daha hassas ve hızlı tepki verebilen donanımlar tercih edilebilir.
3. **Yapay Zeka Entegrasyonu:** Sistemin öğrenme kabiliyetini artırmak ve dinamik ortam koşullarına uyum sağlamasını sağlamak için yapay zeka ve makine öğrenmesi teknikleri entegre edilebilir.
4. **Gerçek Zamanlı İzleme ve Geri Bildirim:** Sistem performansının gerçek zamanlı izlenmesi ve kullanıcıya geri bildirim sağlanması, sistemin etkinliğini artırabilir ve kullanıcı deneyimini iyileştirebilir.

Bu öneriler doğrultusunda yapılacak çalışmalar, top ve çubuk dengeleme sisteminin performansını artırarak daha geniş uygulama alanlarında kullanılabilir hale getirilmesine katkı sağlayacaktır.

7. KAYNAKLAR

<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-dc-motor-control-tutorial-l298n-pwm-h-bridge/>

[cybertice](#)

https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/70147/mod_resource/content/0/GDM404_11.pdf

<https://www.youtube.com/watch?v=dTGITLnYAY0&t=342s>

https://tr.wikipedia.org/wiki/Art%C4%B1ml%C4%B1_kodlay%C4%B1c%C4%B1

<https://chatgpt.com>

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Furkan Elmalı
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul Gaziosmanpaşa
Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi
Elektronik posta : felmali21@posta.pau.edu.tr
İletişim Adresi : felmali21@posta.pau.edu.tr

Adı Soyadı : Ahmet Faruk Güldeşir
Doğum Yeri ve Tarihi : İzmit Kocaeli
Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi
Elektronik posta : aguldesir21@posta.pau.edu.tr
İletişim Adresi : aguldesir21@posta.pau.edu.tr