“MOWSTER”

Yük Değişimine Göre Adapif Hız Kontrollü Çim Biçme Makinesi

EEM496 BİTİRME PROJESİ BAHAR DÖNEMİ FİNAL SUNUMU

Hazırlayanlar:

Berin Işık AKTAŞ 22294330
Meriç Tunca SALİ 22196625
Ozan VAROL 22197181

Proje Danışmanları:

Dr. Öğr. Üyesi Gülşah Demirhan AYDIN
Dr. Öğr. Üyesi Deniz KARAÇOR

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

01. PROJE TANIMI

02. PROJENİN TEMEL AMACI

03. LİTERATÜR VE MEVCUT SİSTEMLER

04. PROJENİN ÖZGÜN DEĞERİ

05. PROJENİN KAPSAMI

06. PROJENİN HEDEFLERİ

07. AKIŞ ŞEMASI

08. TEKNİK ÇİZİM

09. HESAPLAMA

10. SİSTEM MİMARİSİ

11. PARÇALAR

12. BAĞLANTI ŞEMASI

İÇİNDEKİLER

13. MAALİYET TABLOSU

14. RİSK YÖNETİM TABLOSU

15. ADAPTİF HIZ GRAFİKLERİ

16. PID KONTROL GRAFİKLERİ

17. AĞIRLIK MERKEZİ SİMÜLASYON VE GRAFİKLERİ

18. FİLTRELEME GRAFİKLERİ

19. ADAPTİF HIZ WEB SİTESİ

20. GANTT ŞEMASI

21. KAYNAKÇA

01. Proje Tanımı

Kesilen çimin hazneye çekilmesi

Haznede maksimum **2.5 kg** çim depolayabilme

Hazne tabanının **eğimli** olup yan **duvarın kayarak** açılmasıyla çimin boşaltılması

Ayrı prototip: Palet Sistemi

Ağırlık sensörüyle değişen ağırlığın algılanması ve adaptif hız kontrolü

02. Projenin Temel Amacı

- Adaptif Hız Kontrolü
- Sabit Kesim Kalitesi
- Enerji Verimliliğini Artırmak
- Düşük Maliyetli Kontrol Sistemi Tasarlamak
- Motoru ve Mekanik Sistemi Korumak
- Güvenli Çalışma Ortamı Sağlamak

*Görsel AI tarafından üretilmiştir

03. Literatür ve Mevcut Sistemler

Gupta ve Kumar'ın (2025) [1] çalışmasının, otonom çim biçme makinelerinde kullanılan sensör teknolojileri, kontrol sistemleri ve enerji verimliliği alanında gelecekteki yaygın kullanım, otomasyon ve sürdürülebilirlik bağlamını desteklemesi bu açıdan projede önem taşımaktadır.

Santhoshini'nin (2024) [2] çalışmasında, akıllı çim bakım sistemleri için otomatik çim biçme makinesi uygulanmış ve bu sistemin hızla değişen çim yoğunluğu ve çalışma koşullarına uyum sağlamaya yönelik ilk adımlar içerdiği vurgulanmıştır.

*Görsel AI tarafından üretilmiştir

Yang ve çalışma arkadaşları (2022) [3], GA-FNC algoritmasıyla geliştirilen adaptif çift çevrimli PID kontrol yönteminin DC motorlarda daha kararlı hız tepkisi sağladığını ortaya koymuştur.

Wang ve ekibi (2022) [4], çift bulanık mantık tabanlı bir PID kontrolcü geliştirerek BLDC motorların hız kontrolünde sistem kararlılığını artırmış ve hata oranını önemli ölçüde azaltmışlardır.

Sharma’nın (2021) [5] çalışmasında, BLDC motorlarda akım ve devir verileri üzerinden tork tahmini yapılabileceği gösterilmiş, bu yöntemin motor yük analizlerinde sensörsüz tahmin için uygun olduğu belirtilmiştir.

ABD Enerji Bakanlığı’nın (DOE, 2014) [6] raporunda da elektrik motorlarının yükünün akım, gerilim ve hız ölçümleriyle hesaplanabileceği açıklanmış ve bu yaklaşımın enerji verimliliği artırmada önemli bir araç olduğu vurgulanmıştır.

PATENTLER

US11,716,931 B2 patentli yapı (2021) [7] hazne dolduğunda otomatik boşaltma işlevini yerine getiren aktüatörlü kapak/alt boşaltma mekanizmaları tarif edilmiştir.

EP3871485B1 numaralı patentte (2021) [8] çim biçme makinelerinde motor hızının yük değişimlerine göre otomatik olarak ayarlanmasını sağlayan adaptif bir motor kontrol yöntemi tanımlanmıştır.

04. Projenin Özgün Değeri

- Tam otonom
- Enerji tüketimi az
- Bakım gereksinimi düşük
- Çevre dostu
- Endüstriyel makinelerde uygulanabilir

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilirlik Amaçları

AMAÇ 7:
ERİŞİLEBİLİR VE TEMİZ ENERJİ

AMAÇ 9:
SANAYİ, YENİLİKÇİLİK VE ALTYAPI

AMAÇ 12:
SORUMLU TÜKETİM VE ÜRETİM

05. Projenin Kapsamı

Çim toplama ve depolama sistemi:

- **mekanik**
- **elektriksel**
- **kontrol**

birimlerinden oluşur.

Sistemin performansı:

- **simülasyonlar**
- **hesaplamalar**

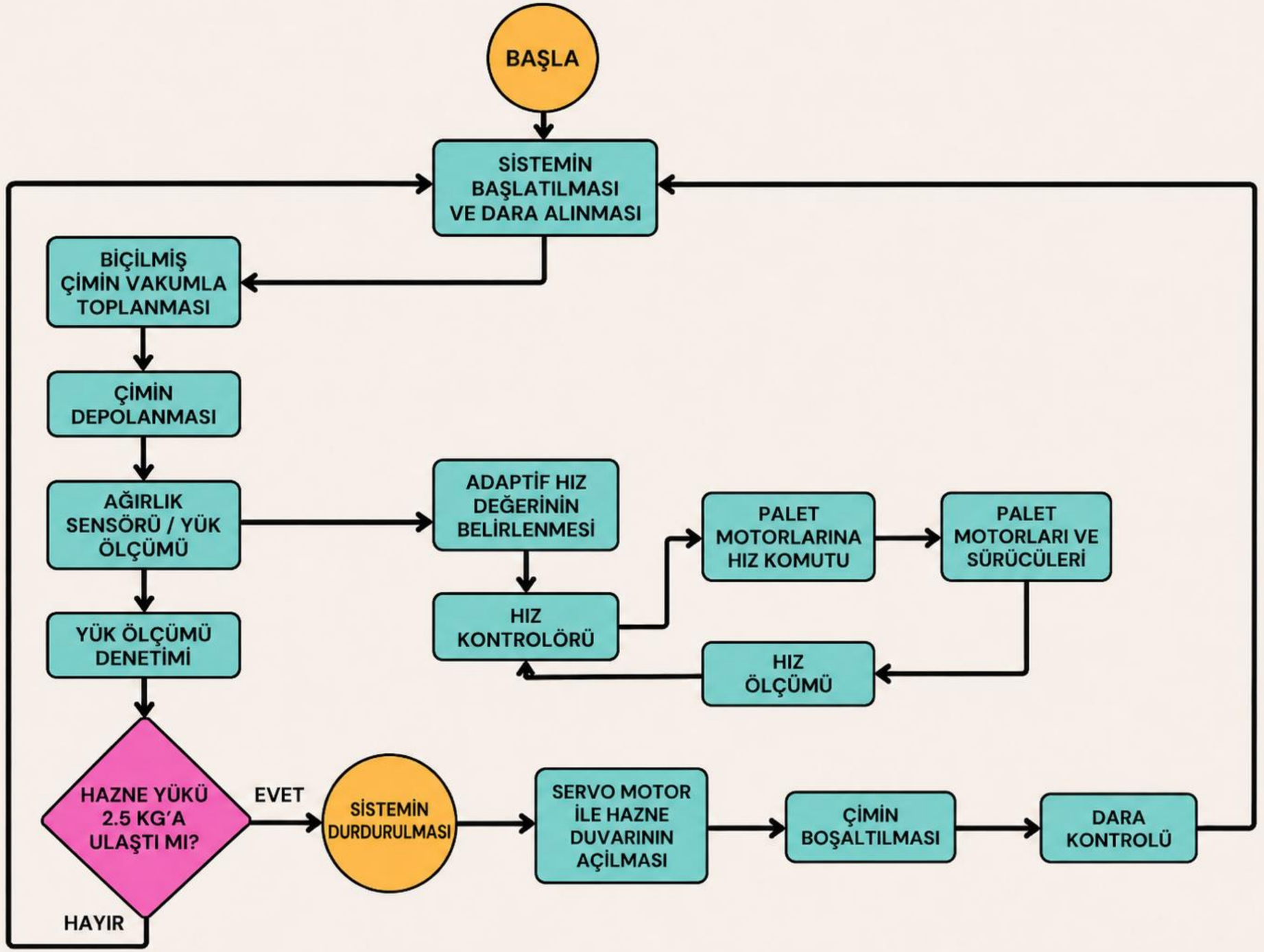
ile ölçülür.

*Görsel AI tarafından üretilmiştir

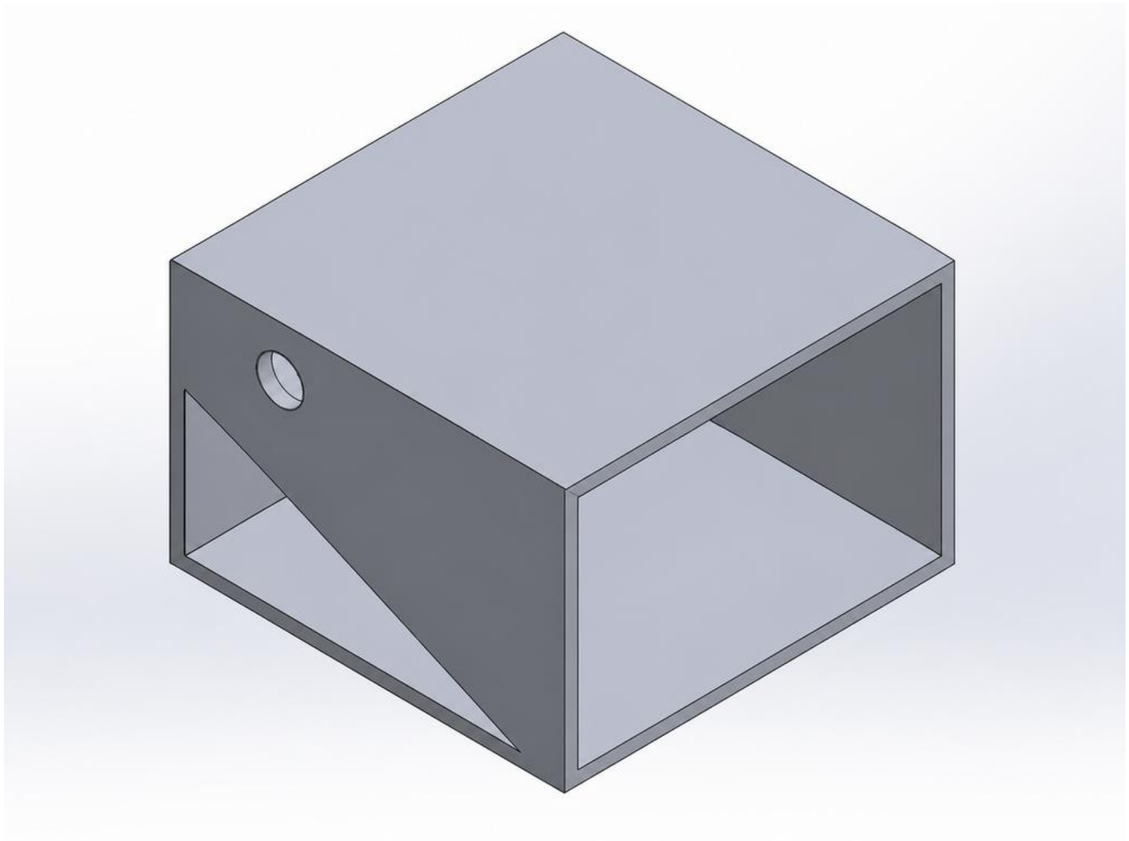
06. Projenin Hedefleri

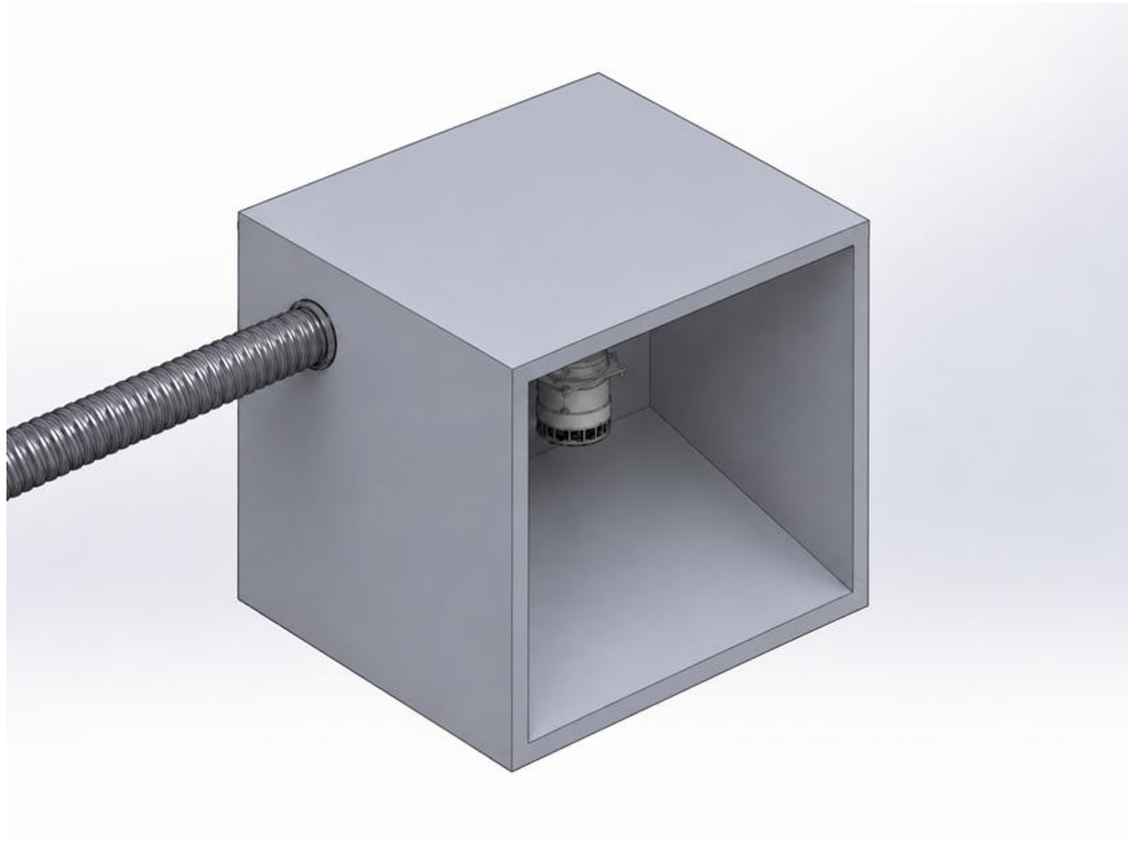
- Teorinin deneysel doğrulaması
- Ulusal ya da uluslararası bir konferansa gidilmesi
- Uluslararası ya da ulusal bir dergide makale yayımlanması
- Belediyeler, stadyumlar ve park-bahçe işletmeleri tarafınca projenin kullanılması

07. Akış Şeması



08. Teknik Çizim





09. Hesaplama

Hazne Hacmi ve Çim Kapasitesi

Hazne Genişliği: X = 30 cm = 0.3 m
Hazne Derinliği: Y = 30 cm = 0.3 m
Hazne Yüksekliği: Z = 20 cm = 0.2 m

Haznenin Toplam Hacmi: V = X * Y * Z
= 0.3 * 0.3 * 0.2 = 0.018 $m3$

Maksimum depolanan çim kütlesi: 2.5kg

Eğimli Plaka Ölçüleri: 12cm x 30cm x 30cm
Vplaka = 0.12*0.3*0.3 / 2 = 0.0054 m3

Çimin Ortalama Hacimsel Yoğunluğu:

$$\rho_{çim} = \frac{m_{max}}{V_{kullanılabilir}} = \frac{2.5}{0.0126} = 198.4\ kg/m^3 \approx 198\ kg/m^3$$

Vkullanılabilir = Vtoplam - Vplaka
Vkullanılabilir = 0.018-0.0054 = 0.0126m3 = 12.6L

Ağırlığa Bağlı Adaptif Hız Kontrolü

Hazne boşken maksimum hız: V0
Haznede anlık depolanan çim kütlesi = mb

$$V_{maksimum}(m_b) = v_0\left(1 - \frac{m_b}{m_{maksimum}}\right) = v_0\left(1 - \frac{m_b}{2.5}\right)$$

Oluşan Tork ve Yük Dağılımı

Menteşe çizgisi: 35 cm’lik kenarlardan biri boyunca

Ağırlık merkezi: Menteşeden yaklaşık 35/2 = 17.2 cm = 0.175 m uzakta

Emniyet Katsayısı = 2

Ağırlık Kuvveti: Fb = m(maksimum) * g = 2.5* 9.81 = 49.05 N

Moment kolu: l = 0.175 m

Kapakta Oluşan Moment:

$$M_{kapak} = F_b * l * 2 = 24.525 * 0.175 * 2 = 8.58 \text{ N.m}$$

Vakum Motoru Güç ve Tork Gereksinimi

GÜÇ HESAPLAMALARI:

Vakum hattı debisi = Q = 0.044 m^3/s,

Toplam verim = **η** = 0.6,

Kanal basınç kaybı = Δp = 1500 Pa = 1.5 kPa,

Gerekli teorik güç:

$$P = \frac{\Delta p * Q}{\eta} = \frac{1500 * 0.044}{0.6} \approx 110\ W$$

Seçilen motor: BLDC-VKT4546

Çalışma gerilimi: 11.1 V

Pmotor = 100 W

TORK HESAPLAMALARI:

Motor gücü: P = 100 W

Yaklaşık motor devri: n = 7000 rpm

Açısal hız:

$$\omega = \frac{2 * \pi * n}{60} = \frac{2 * \pi * 7000}{60} \approx 733\ rad/s$$

Yaklaşık tork gereksinimi:

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{100}{733} \approx 0.14\ N{\cdot}m$$

10. Sistem Mimarisi

Sensör Sistemi:

- Yük Hücresi
- Motor Hız Sensörü
- Döner Enkoder

Güç ve Sürücü Katmanı:

- Motor Sürücü x2
- Batarya Güç Hattı
- Pil Modülü
- DC-DC Düşürücü

Motorlar:

- İlerleme Motoru
- Servo Motor
- Süpürge Motoru

Kontrol Birimi:

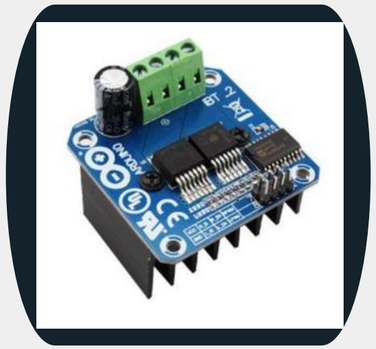
- Mikrodenetleyici (ESP32-S3)
- PID Tabanlı Hız Kontrolü
- HX711

11. Parçalar

ESP32-S3-N16R8
450,00 TL

20 Kg Ağırlık Sensör Seti
(Ağırlık Sensörü + HX711)
513,96 TL

DC Motor x 2
Çalışma Gerilimi: 12 - 24V
Çalışma Akımı: 0.5A
1000 TL



Motor Sürücü Kartı x 2
Çalışma Gerilimi: 5-28V/DC
Çalışma Akımı: 40A
473,96 TL

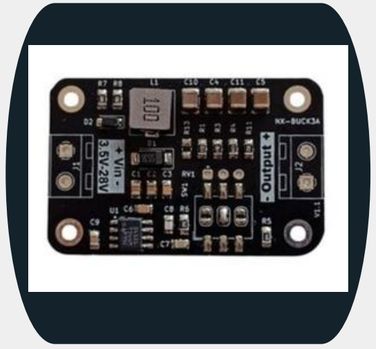
BLDC-VKT4546
Voltaj Aralığı: DC 11.1V
Güç: 100Watt
2000TL

Artımlı Optik Döner Enkoder
Çalışma Gerilimi: 5-24V/DC
Darbe Sayısı: 400 Darbe
486,00 TL

5V Röle Kartı - 1 Kanal
Çalışma Gerilimi: 5V
Çalışma Akımı: 42mA
38,30 TL

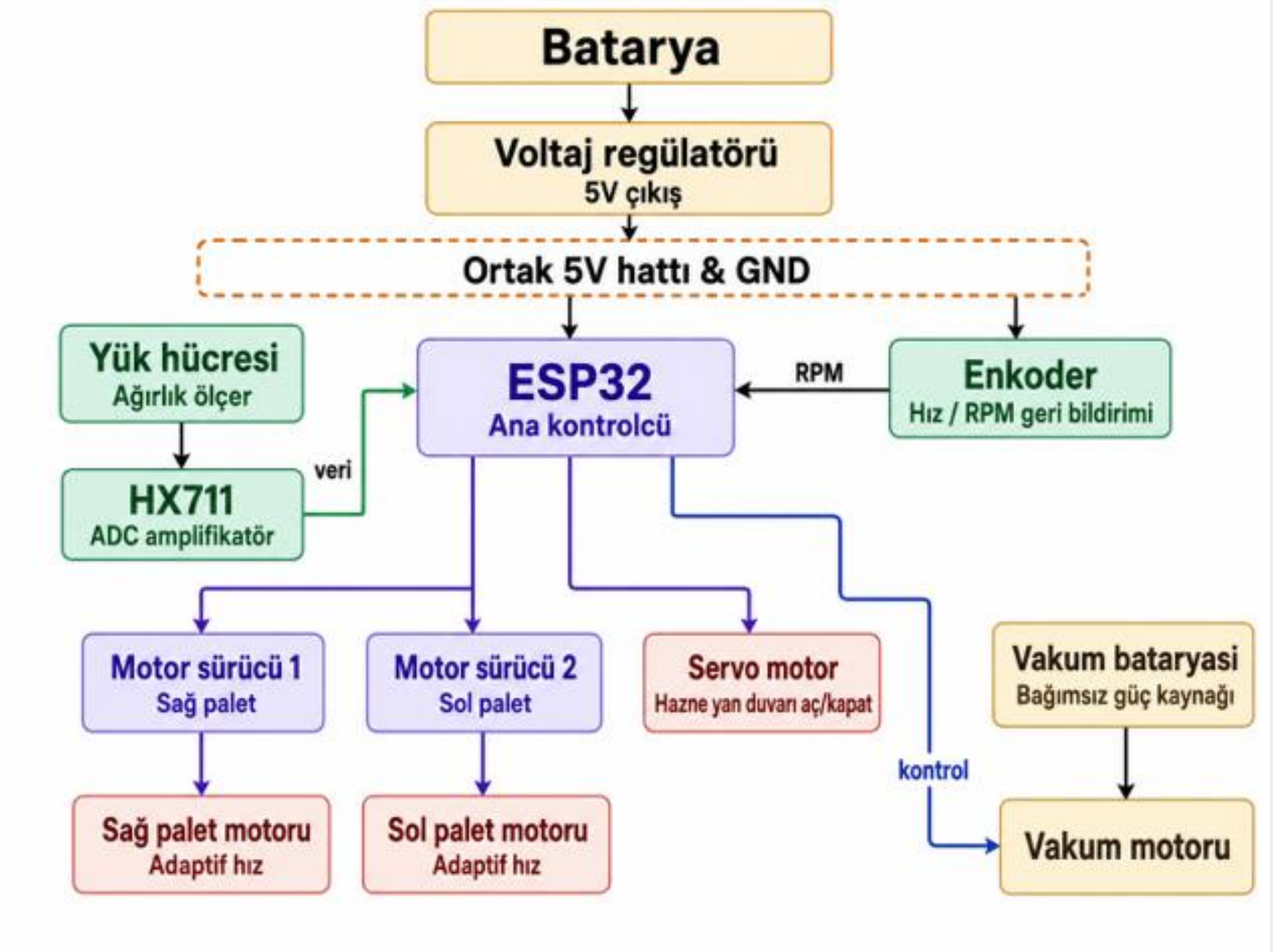
3.7V Pil x 9
1206TL

DS3218MG 20Kg Servo Motor
Tork: 20 kg-cm
Çalışma Gerilimi: 4.8V - 6.8V
Dönme Açısı: 0 - 180°
1500,00 TL



Düşürücü Voltaj Regülatörü
Giriş Voltajı: 5V - 28V
Çıkış Voltajı: 3.3V/5V/12V
156,60 TL

12. Bağlantı Şeması



13. Maliyet Tablosu

PARÇALAR	MALİYET
ESP32-S3-N16R8	450,00 TL
20 Kg Ağırlık Sensör Seti	513,96 TL
DC Motor x 2	1000 TL
Motor Sürücü Kartı x 2	473,96 TL
DS3218MG Servo Motor	1500,00 TL
Süpürge Motoru	2000TL
12.6V Batarya	1206TL
Artımlı Optik Döner Enkoder	486,00 TL

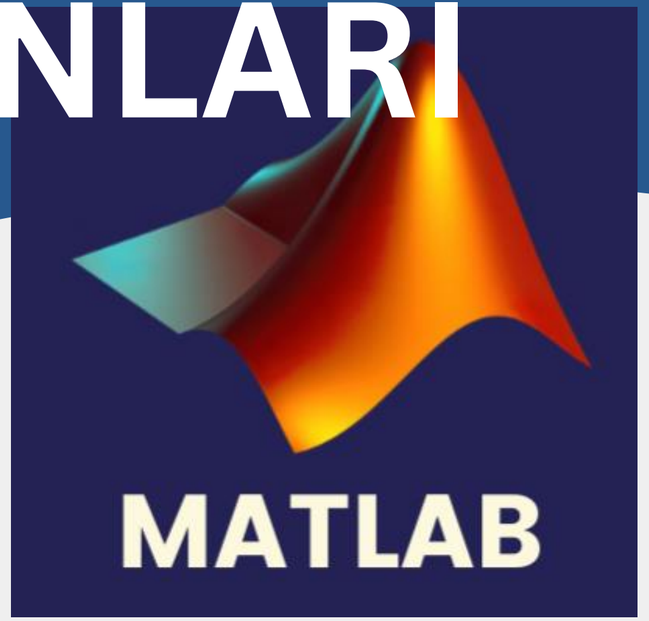
PARÇALAR	MALİYET
Düşürücü Voltaj Regülatörü	156,60 TL
5V Röle Kartı - 1 Kanal	38,30 TL
Pil Yuvası	32,83 TL
3D Baskı (Şasi + Paletler + Hazne)	25 000,00 TL

TOPLAM = 32.857,65 TL

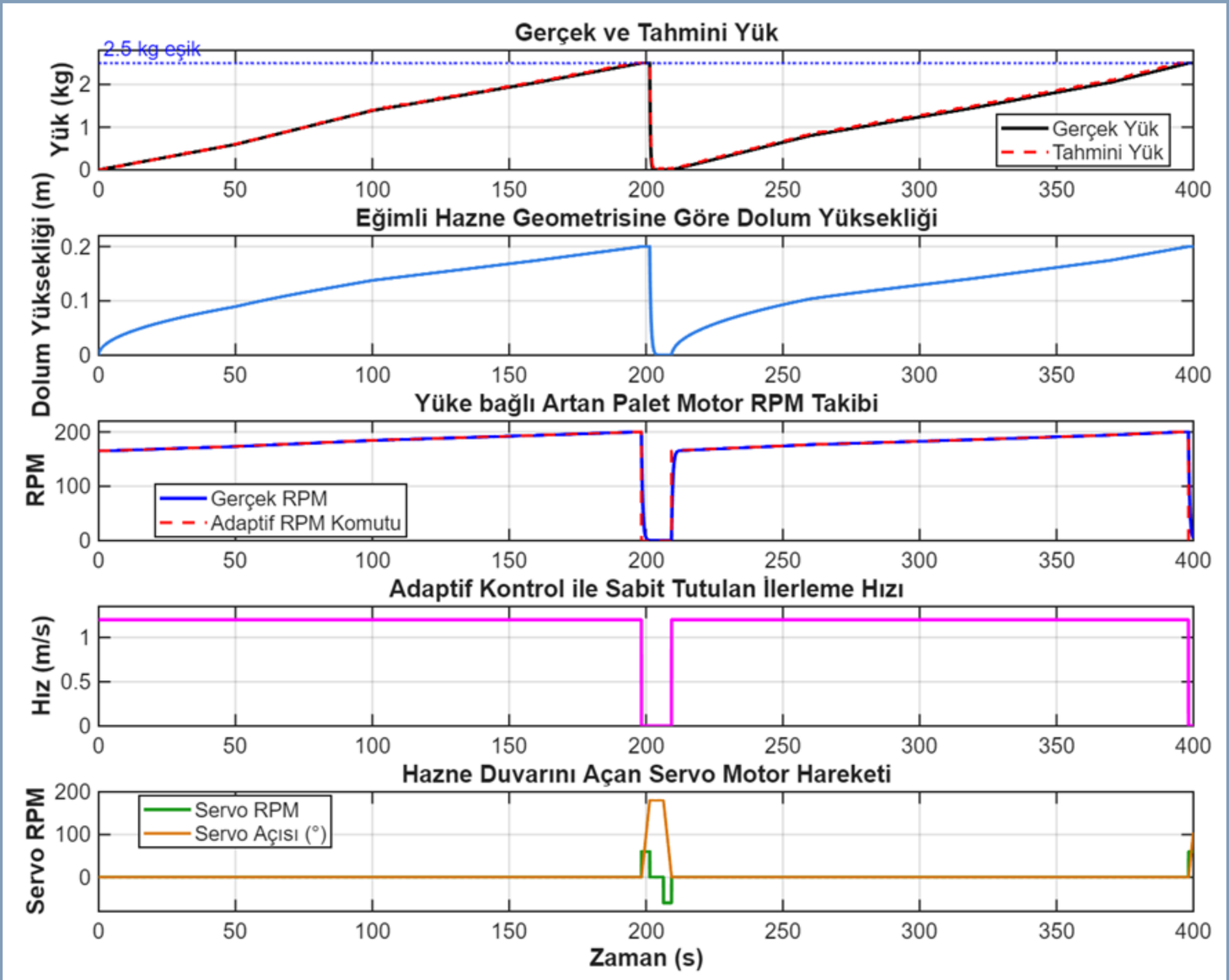
14. Risk Tablosu

EN ÖNEMLİ RİSKLER	ALINACAK TEDBİRLER	OLASILIK	ETKİ	RİSK SKORU	RİSK DÜZEYİ
Batarya grubunun yeterli gerilim veya akım sağlayamaması	3S3P lityum-iyon pil grubunun bağlantıları kontrol edilir, BMS/koruma devresi kullanılır ve yük altında gerilim düşümü test edilir.	%50	%90	45.00	YÜKSEK (Kırmızı)
Yük hücresinin hatalı ölçüm yapması veya dara değerinin kayması	Düzenli kalibrasyon yapılır, boş hazne darası başlangıçta alınır ve yazılımsal filtreleme uygulanır.	%40	%80	32.00	ORTA (Sarı)
Hazne 2.5 kg eşiğine ulaştığında boşaltma mekanizmasının çalışmaması	Servo motor bağlantıları ve açı sınırları test edilir, hazne duvarının sürtünmesiz açılması için mekanik toleranslar kontrol edilir.	%35	%85	29.75	ORTA (Sarı)
Vakum hattında çim birikmesi veya hortumun tıkanması	35 mm hortum hattı düzenli kontrol edilir, hortum giriş açısı uygun seçilir ve süpürge başlığı çevresinde birikme oluşmaması için test yapılır.	%45	%85	38.25	ORTA (Sarı)
Palet motorlarının yük altında yavaşlaması veya dengesiz ilerlemesi	Enkoder geri bildirimi kullanılarak motor RPM takibi yapılır, adaptif hız kontrol algoritması ile yük artışına göre motor komutu düzenlenir.	%40	%75	30.00	ORTA (Sarı)
ESP32 tabanlı web kontrol arayüzünde bağlantı kopması	Manuel kontrol alternatifi bırakılır, Wi-Fi bağlantı kararlılığı test edilir ve sistem komutları için güvenli varsayılan durumlar tanımlanır.	%30	%70	21.00	ORTA (Sarı)
Vakum motorunun beklenen emiş performansını sağlayamaması	Motor gücü, hortum uzunluğu, başlık konumu ve hava kaçakları test edilir; gerekli durumda hortum hattı kısaltılır veya sızdırmazlık iyileştirilir.	%35	%75	26.25	ORTA (Sarı)

MATLAB SİMÜLASYONLARI

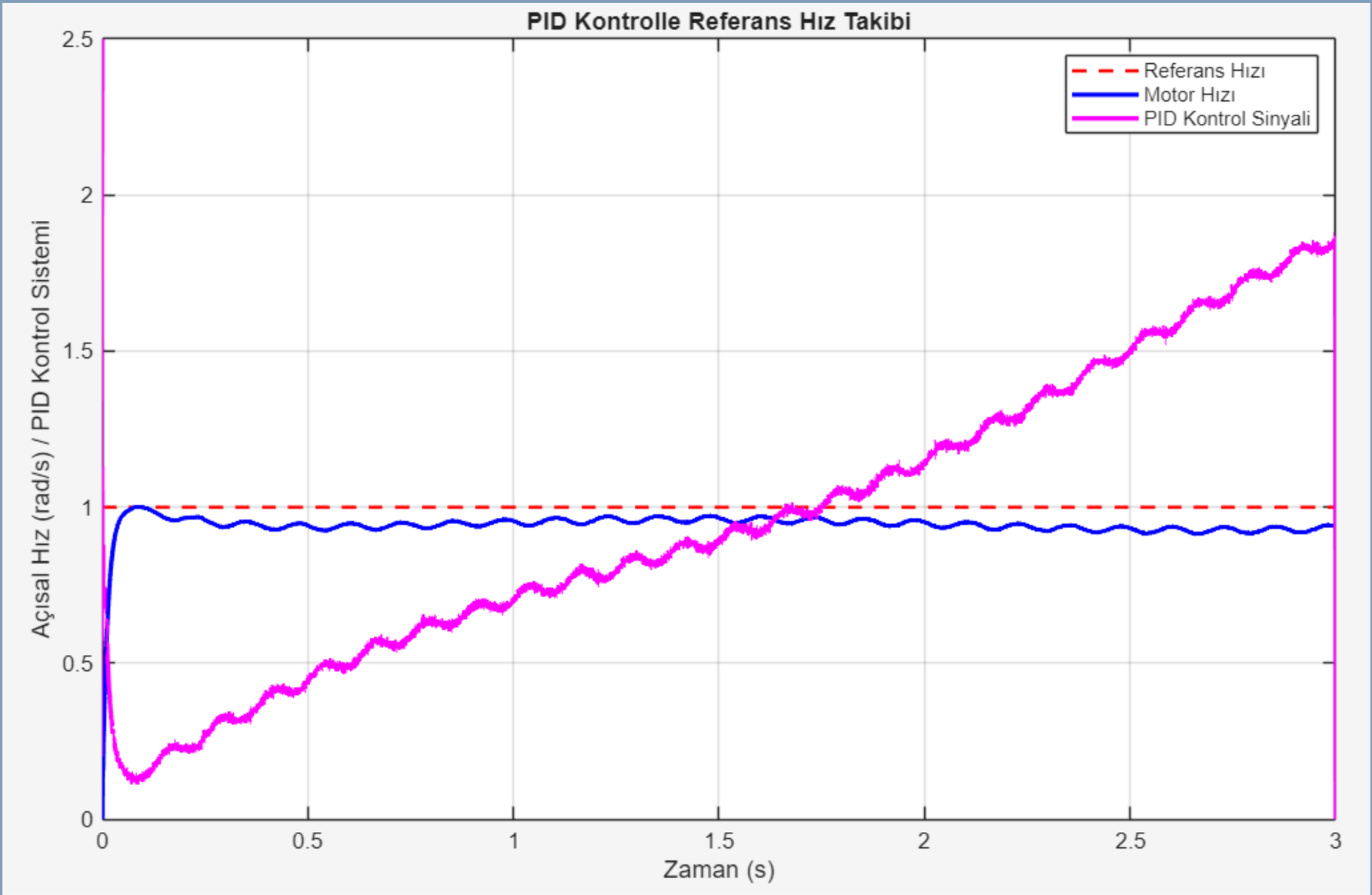


15. Adaptif Hız Grafikleri

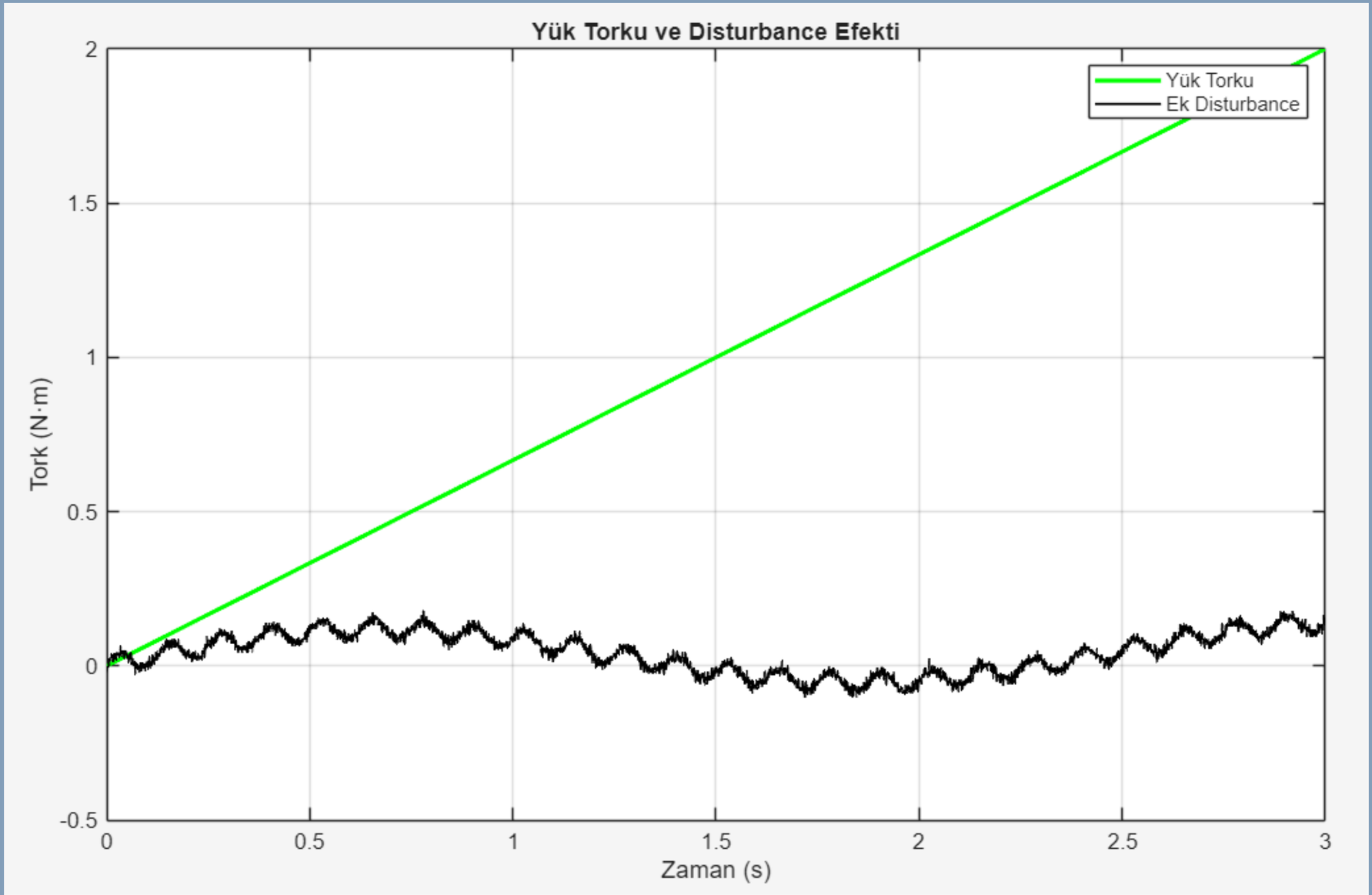


Yük Durumuna göre RPM ve Adaptif Hız Kontrollü İlerleme Hızı ve Boşaltmayı Gerçekleştiren Servo Motor Hareketi Grafikleri

16. PID Kontrol Grafikleri

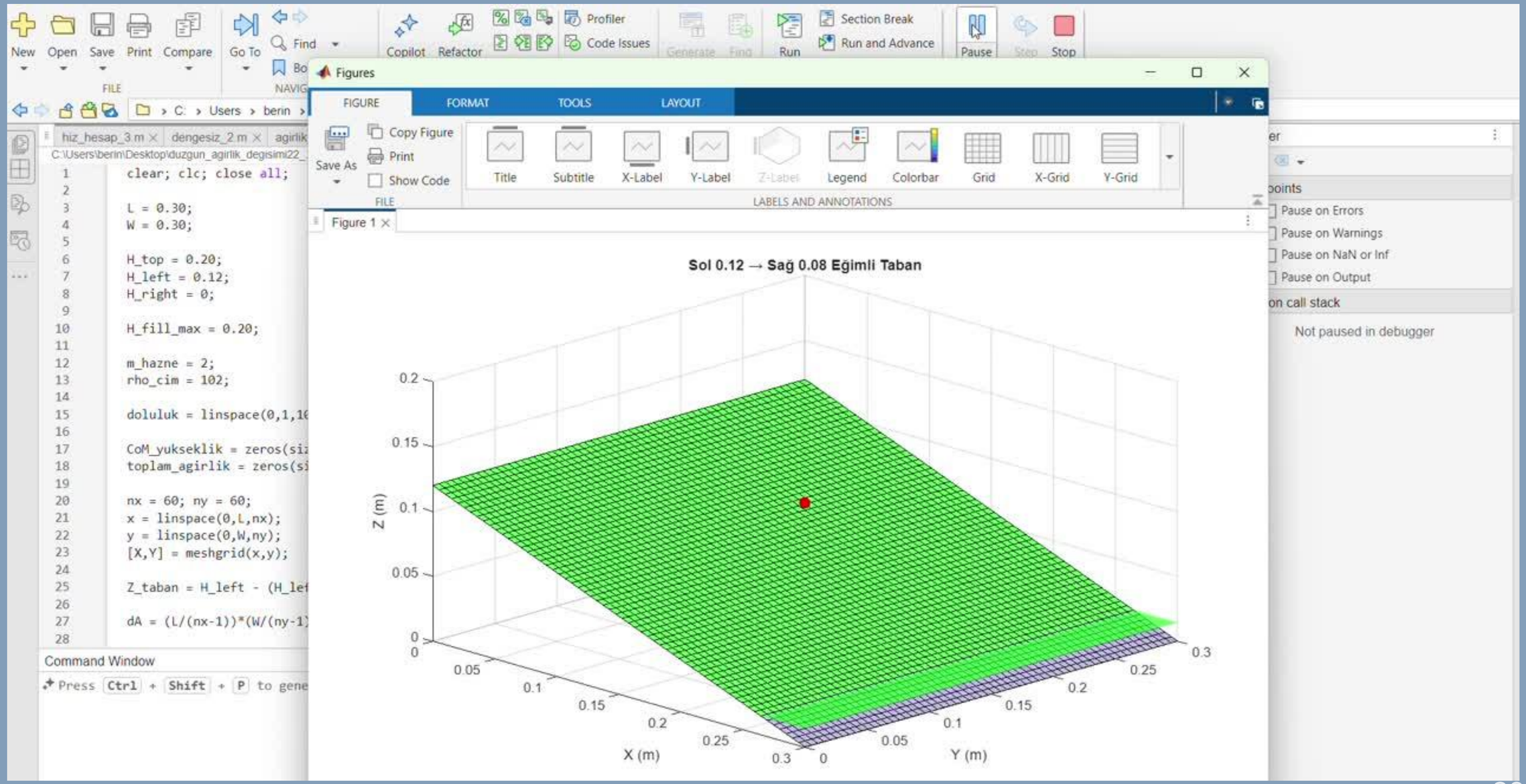


PID Kontrol ile Referans Hız Takibi Grafiği

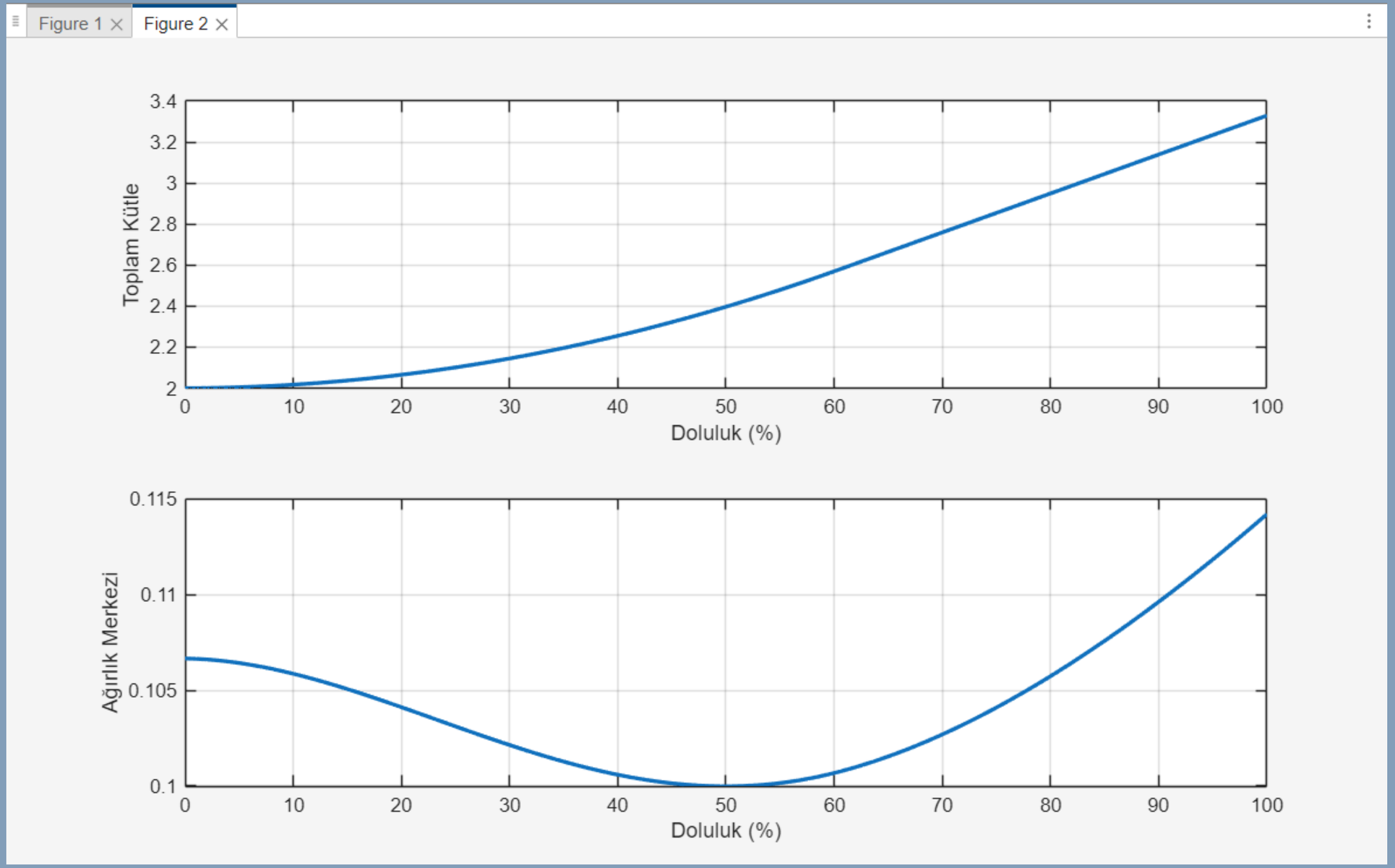


Yük Torku ve Bozucu Etkiler Grafiği

17. Ağırlık Merkezi Simülasyon ve Grafikleri

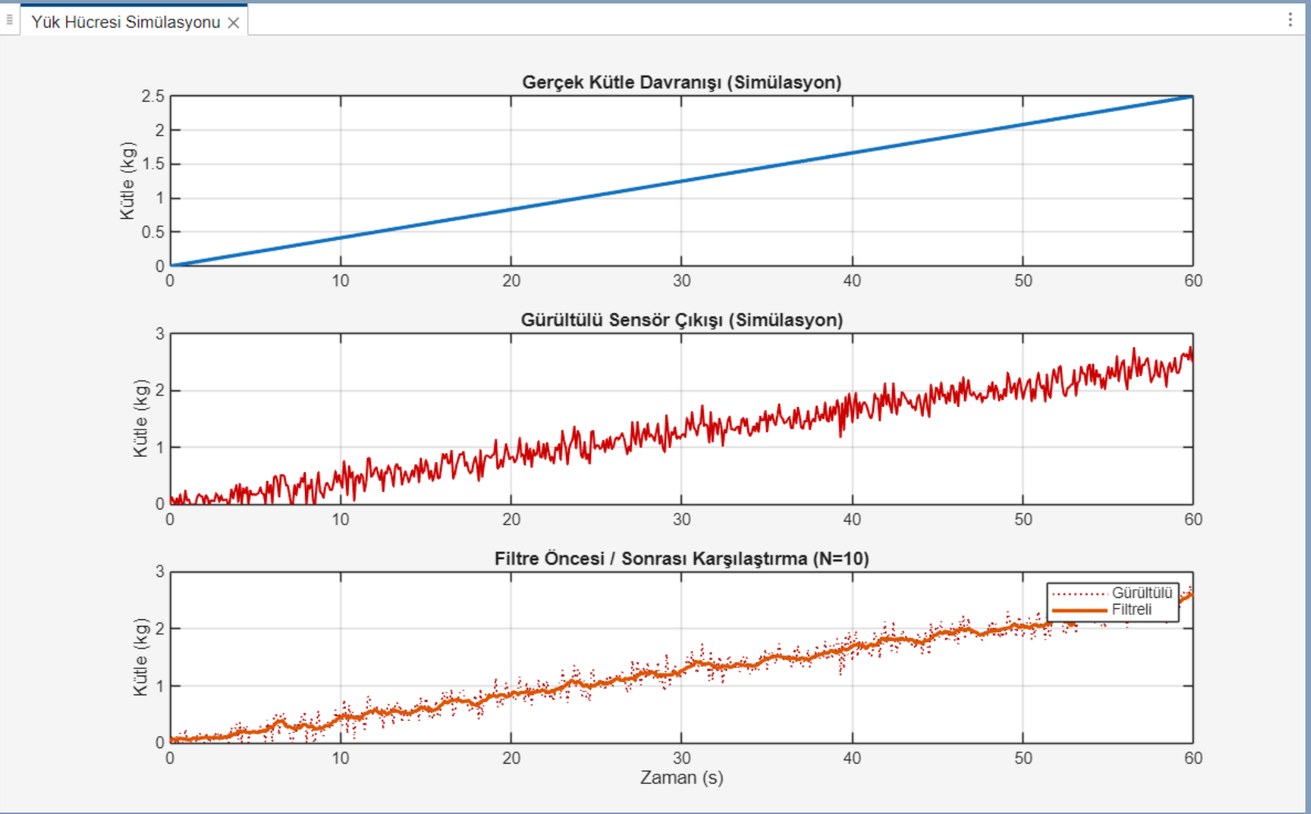


Hazne ve Çim Seviyesini Gösteren Animasyon



Ağırlık Merkezi Değişiklikleri Grafikleri

18. Filtreleme Grafikleri



Gerçek Kütle Davranışına göre Gürültü Simülasyonları

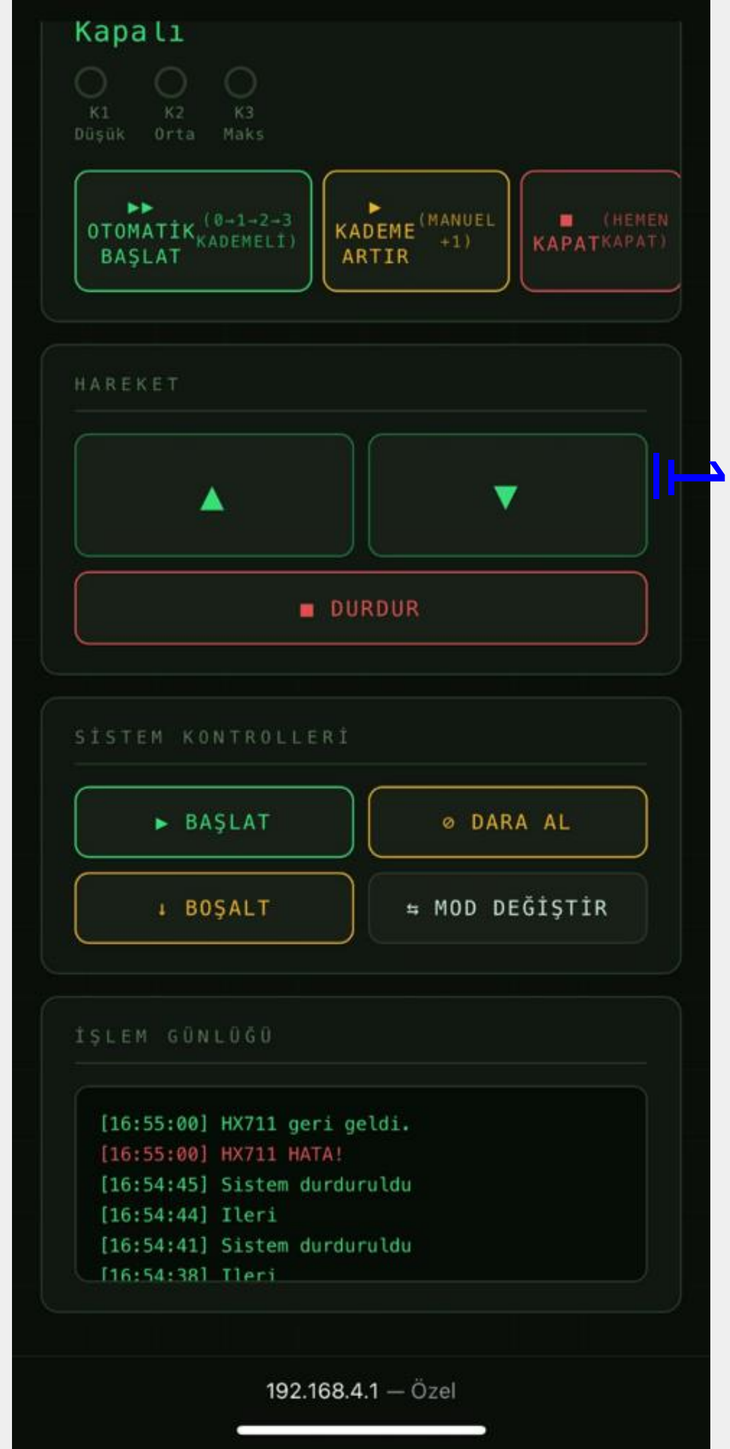
Hareketli Ortalama Filtresi:

Command Window

```
--- Simülasyon Sonuçları ---
Filtre Öncesi RMSE : 0.151 kg
Filtre Sonrası RMSE: 0.054 kg
>> ✨ Press Ctrl + Shift + P to generate code with Copilot
```

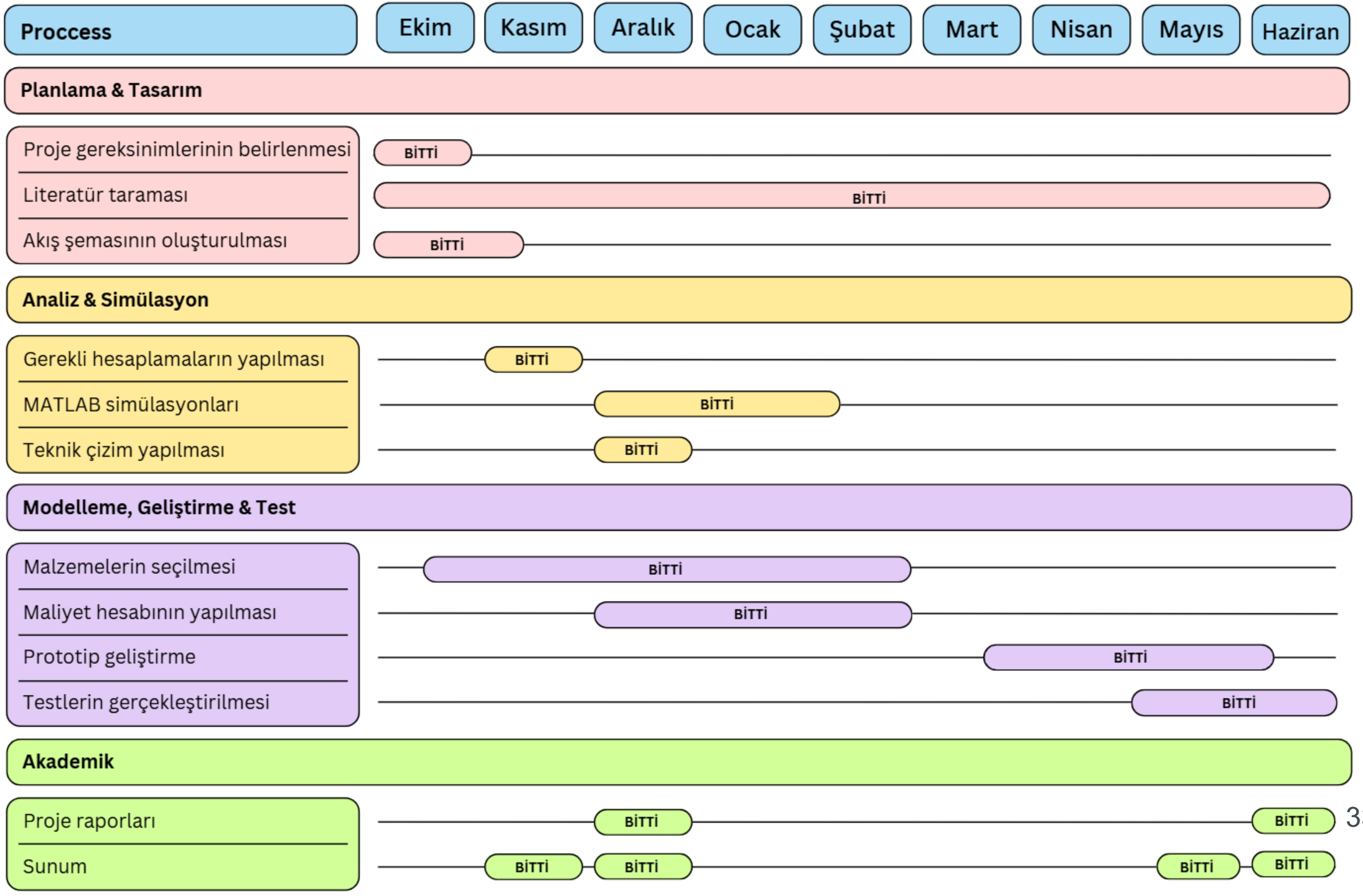
Simülasyon Çıktısı

19. Adaptif Hız Web Sitesi



https://192.168.4.1

20. Gantt Şeması



21. Kaynakça

[[1] R. Gupta and S. Kumar, “Autonomous Lawn Mower — A Comprehensive Review,” International Journal of Advanced Robotic Systems, vol. 42, no. 5, pp. 501–515, 2025.

[2] P. Santhoshini, K. H. Prabha, S. T. Jaibalaji, C. B. Krishna Vishwa, H. Ramesh Kumar, and S. Mano Sundar, “Implementation of Automatic Lawn Mower System for Smart Lawn Maintenance,” IEEE, 2024.

[3] H. Yang, Y. Zhao, and C. Ye, “Adaptive Double-Loop PID Control Method of DC Motor Based on GA-FNC Algorithm,” Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 43, no. 2, pp. 2271–2281, 2022.

[4] T. Wang, J. Chen, and Y. Liu, “A Novel PID Controller for BLDCM Speed Control Using Dual Fuzzy Logic Systems,” Scientific Reports, vol. 12, no. 10, pp. 1–12, 2022.

[5] A. Sharma, “The Development of Current, Speed and Torque Measurement Technique for Hub BLDC Motor,” International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), vol. 10, no. 6, pp. 145–150, 2021.

[6] U.S. Department of Energy, “Determining Electric Motor Load and Efficiency,” U.S. DOE Motor System Tip Sheet, Washington D.C., 2014.

[7] U.S. Patent US 11,716,931 B2, “Work equipment with autonomous collection container,” (discussing actuator-operated grass container dumping).

[8] European Patent Office, “Adaptive Engine Speed Control Method,” EP Patent 3871485B1, Aug. 2021.

TEŞEKKÜRLER