T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

Çift Namlulu Hava Savunma Sistemleri ile Geniş Açılı Otonom Hedef Tespit ve İmha Sisteminin Geliştirilmesi

Proje No: FHD-2025-10058

Hızlı Destek

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Prof.Dr. OSMAN AYHAN ERDEM
Teknoloji Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Araştırmacının Adı Soyadı
Birimi/Bölümü

Abdullah Zainel – Bilgisayar Müh., Teknoloji Fakültesi
Kerem Durgut – Bilgisayar Müh., Teknoloji Fakültesi
Şevval Akbaş – Elektrik-Elektronik Müh., Mühendislik Fakültesi
Aysun Aksoy – Elektrik-Elektronik Müh., Mühendislik Fakültesi

Ocak 2026

ANKARA

Teşekkür

FHD-2025-10058 numaralı bu proje, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Başkanlığı ile Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'nin desteğiyle gerçekleştirilmiştir. Sağladıkları laboratuvar ortamı, ekipman kullanımı ve teknik katkılar için teşekkür ederiz. Ayrıca proje yürütücümüz Prof. Dr. Osman Ayhan Erdem'e ve araştırmacılar Abdullah Zainel, Kerem Durgut, Şevval Akbaş ve Aysun Aksoy'a katkılarından ötürü şükranlarımızı sunarız.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	4
ABSTRACT	4
1. GİRİŞ	5
1.1. Amaç ve Gerekçe	
1.2. Konu ve Kapsam	
2. SİSTEM TASARIMI ve YÖNTEM	5
2.1. Mekanik Tasarım ve Üretim Süreci	
2.2. Elektronik Tasarım ve Yazılım Mimarisi	
2.3. Arayüzler	
2.4. Test ve Validasyon	
2.4.1. Test Senaryoları	
2.4.2. Performans Metrikleri	
2.4.3. Güvenlik Önlemleri	
3. BULGULAR ve TARTIŞMA	11
3.1. Performans Sonuçları	
3.2. Bulgular	
3.3. Sınırlılıklar	
4. SONUÇ ve ÖNERİLER	12
4.1. Proje Katkıları	
4.2. Öneriler	
5. REFERANSLAR	13

ÖZET

Bu proje, Teknofest Hava Savunma Sistemleri Yarışması kapsamında, otonom çalışabilen ve gerçek zamanlı hedef tespiti ile imha kabiliyetine sahip gelişmiş bir hava savunma sistemi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Sistem; sabit hedeflerin imhası, hareketli hedeflerin tespiti ve takibi ile yalnızca düşman unsurların ayrıştırılarak etkisiz hale getirilmesi olmak üzere üç senaryoya göre tasarlanmıştır. Prototip; modüler mekanik gövde, gömülü kontrol birimleri, özel elektronik devreler, Python tabanlı arayüz yazılımı ve yapay zekâ destekli görüntü işleme altyapısını bir araya getirmektedir. Mekanik tasarımda hızlı prototipleme ve CNC üretim yöntemleri, elektronik tarafta ise güç yönetimi ve güvenilir haberleşme öncelikli olarak ele alınmıştır. Görüntü işleme kısmında modern derin öğrenme yöntemleri kullanılmış, sistemin hedef tespit ve takip yetenekleri saha testleriyle doğrulanmıştır. Genel başarı, mekanik, elektronik, gömülü sistem ve yazılım bileşenlerinin entegre çalışmasıyla elde edilmiş; proje modüler tasarım, gömülü sistemler ve disiplinler arası mühendislik açısından önemli bir deneyim sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava Savunma, Otonom Sistem, Gömülü Sistemler, Mekanik Tasarım, Elektronik Tasarım, Görüntü İşleme, Yapay Zekâ

ABSTRACT

This project, developed within the scope of the Teknofest Air Defense Systems Competition, aims to design and prototype an advanced autonomous air defense system capable of real-time target detection and destruction. The system has been structured around three scenarios: destruction of fixed targets, detection and tracking of moving targets, and selective engagement of enemy units only.

The prototype combines a modular mechanical body, embedded control units, custom electronic circuits, a Python-based user interface, and an AI-supported image processing infrastructure. Rapid prototyping and CNC machining were employed in the mechanical design, while power management and reliable communication were prioritized in the electronic design.

Modern deep learning methods were utilized for image processing, and the system's detection and tracking performance was validated through field tests. The overall success was achieved through the integration of mechanical, electronic, embedded system, and software components. Beyond defense applications, the project provided valuable experience in modular design, embedded systems, and interdisciplinary engineering practices.

Keywords: Air Defense, Autonomous System, Embedded Systems, Mechanical Design, Electronic Design, Image Processing, Artificial Intelligence

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Gerekçe

Bu projenin hedefi, Teknofest 2025 Hava Savunma Sistemleri Yarışması kapsamında yerli ve millî bir otonom hava savunma sistemi tasarlamak, prototipini üretmek ve sahada doğrulamasını gerçekleştirmektir. Geliştirilen sistem, dost-düşman ayrımını yaparak sabit ve hareketli hedefleri bağımsız bir şekilde tespit edip yüksek hassasiyetle imha edebilecek özelliklere sahiptir. Böylelikle hem askeri tesislerin hem de kritik sivil altyapıların korunmasında etkin bir çözüm sunulması amaçlanmıştır. Çalışma, savunma sanayinde dışa bağımlılığın azaltılmasına katkı sağlayacak ve kriz anlarında hızlı, stratejik müdahale kapasitesi oluşturacaktır.

1.2. Konu ve Kapsam

Bu proje, otonom hedef tespit, takip ve imha kabiliyetine sahip bir hava savunma sisteminin geliştirilmesini ve Teknofest 2025 Hava Savunma Sistemleri Yarışması'nın üç aşaması kapsamında test edilmesini kapsamaktadır.

- **Birinci aşama:** Sabit hedeflerin tespit edilip imha edilmesi.
- **İkinci aşama:** Hareketli hedeflerin izlenmesi, gerçek zamanlı olarak takip edilmesi ve etkisiz hâle getirilmesi.
- **Üçüncü aşama:** Hem dost hem de düşman hedeflerin gerçek zamanlı tespit edilmesi, izlenmesi, takip edilmesi ve tam-manuel, yarı otonom ve tam otonom modlar kapsamında, operatör komutu eşliğinde imha edilmesi.

2. SİSTEM TASARIMI ve YÖNTEM

2.1. Mekanik Tasarım ve Üretim Süreci

Mekanik tasarım süreci, sistemden beklenen işlevsel ve çevresel gereksinimlerin tanımlanmasıyla başlamıştır. Bu kapsamda, balon hedeflerinin yatayda 300° ve dikeyde 90° aralıklarla izlenebilmesi, açık hava koşullarında toz, titreşim ve sıcaklık değişimlerine dayanıklılık göstermesi, ayrıca saha montajı ile bakım işlemlerinin kolay ve hızlı yapılabilmesi temel kriterler olarak belirlenmiştir.

Bu gereksinimler doğrultusunda beş farklı konsept tasarım hazırlanmış, her biri hareket kabiliyeti, malzeme seçimi, ağırlık, merkezkaç kuvvetleri, montaj kolaylığı ve modülerlik açısından değerlendirilmiştir. Ardından seçilen iki konsept SolidWorks ortamında detaylı CAD modellerine dönüştürülmüş, rulman-mil yataklamaları ve iskelet parçaları ISO H11 toleranslarına uygun biçimde modellenmiştir.

Mekanik sistemin üretiminde farklı malzeme ve yöntemler tercih edilmiştir. İlk aşamada 3D baskı (PLA) ile hızlı prototipleme yapılmış, parçaların montaj uyumluluğu test edilmiştir. İskelet ve montaj plakaları için CNC işlenmiş alüminyum alaşımı kullanılmış, gerekli yerlerde

yüzey son işlemleri (zımpara, cila, boya) uygulanarak dayanıklılık artırılmıştır. Çelik miller ve paslanmaz rulmanlar sayesinde yük aktarımı dengeli ve düşük sürtünmeli şekilde sağlanmıştır. Ayrıca slip-ring modülü ile 360° dönüşlerde kablo karışması engellenmiş, paslanmaz bağlantı elemanları titreşim altında güvenli montaj sunmuştur.

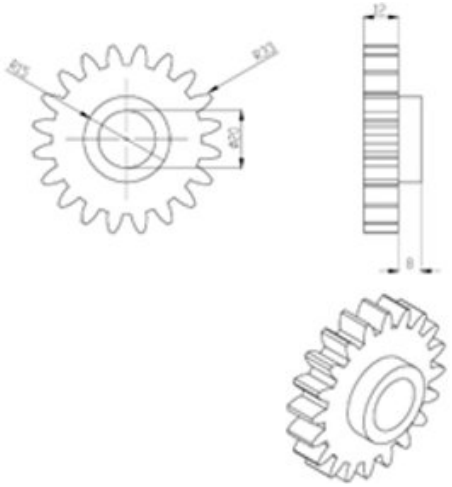
Üretim sürecinin sonunda, modüler yapıda geliştirilen sistem; bakım kolaylığı, sahada hızlı parça değişimi ve uzun vadeli kullanım için optimize edilmiştir.

Kullanılan Malzemeler:

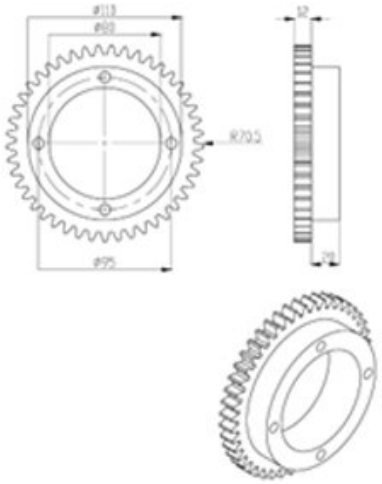
- Hyper PLA filament – hızlı prototipleme, yüzey kalitesi
- Alüminyum alaşım sac – hafiflik, CNC işlenebilirlik
- Çelik miller – rijitlik ve eksenel stabilite
- Paslanmaz çelik rulmanlar (6208, 6204-ZZ) – düşük sürtünme, uzun ömür
- Slip-ring modülü – 360° dönüşte kablo dolaşmasını önleme
- Paslanmaz bağlantı elemanları (M3/M4) – titreşim altında güvenli montaj

Üretim Yöntemleri:

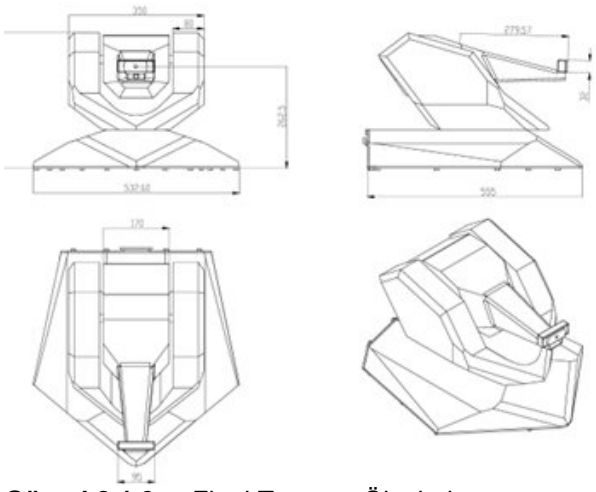
- 3D baskı (PLA): 0.2 mm katman yüksekliği, %50–80 doluluk
- CNC işleme (alüminyum): ISO toleranslı montaj plakaları
- Yüzey son işlemleri: Zımpara, cila ve boya uygulamaları
- Modüler montaj arabirimleri: Çekmeceli PCB muhafazası, hızlı tak–çıkar soketler



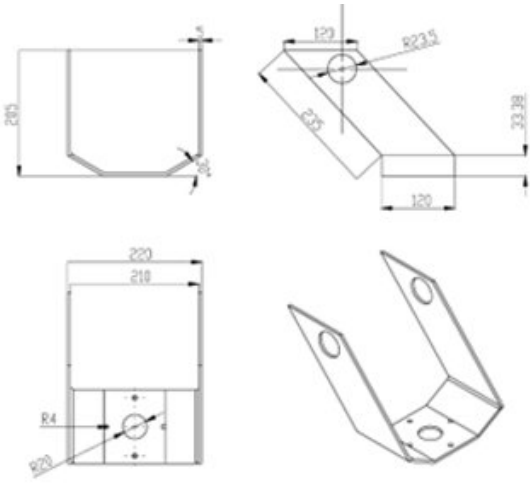
Görsel 2.1.1. – Dikey Dönüş Dişli Tasarımı



Görsel 2.1.2. – Yatay Dönüş Dişli Tasarımı



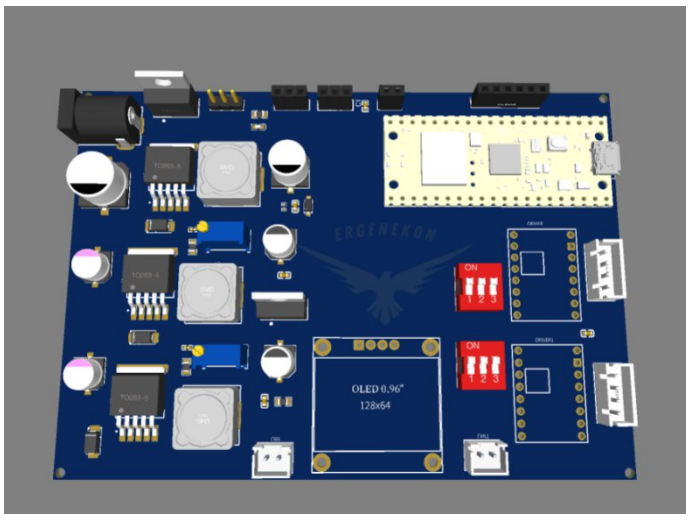
Görsel 2.1.3. – Final Tasarım Ölçüleri



Görsel 2.1.4. – İskelet Tasarımı

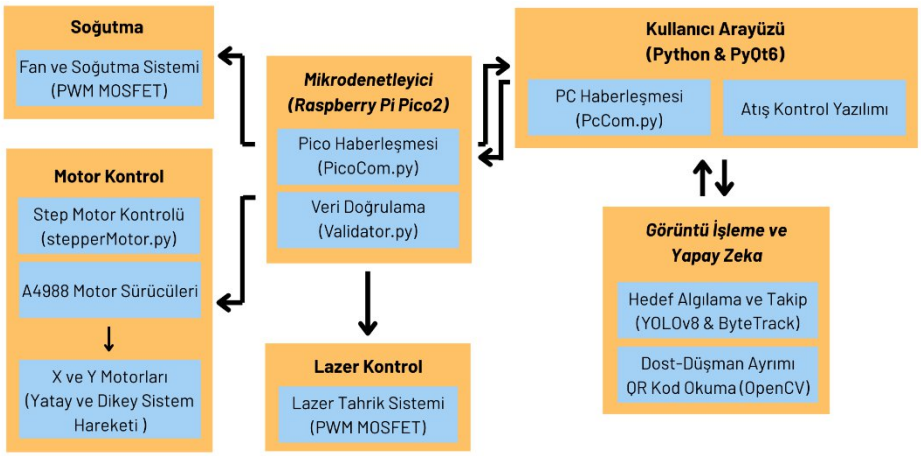
2.2. Elektronik Tasarım ve Yazılım Mimarisi

Sistemin elektronik tasarımı, 24 V girişten beslenen ve farklı gerilim gereksinimlerine göre ayrıştırılmış bir güç mimarisi üzerine kurulmuştur. Merkezde Raspberry Pi Pico/Pico 2 mikrodenetleyici yer almakta, step motorlar, lazer, soğutma fanları ve OLED ekran doğrudan bu birim üzerinden kontrol edilmektedir. Güç dağıtımında LM2596 DC–DC dönüştürücüler kullanılarak 12 V (motor ve fan) ile 5 V (mikrodenetleyici ve lojik devreler) hatları sağlanmış, IRF4905 P-MOSFET ile ters polarite ve ani dalgalanmalara karşı koruma uygulanmıştır. Lazer ve fanların açma-kapama kontrolü IRLZ44N N-MOSFET'ler üzerinden yapılmış, yatay ve dikey eksenlerde hassas konumlandırma için iki adet A4988 step sürücü tercih edilmiştir.
Saha koşullarında kolay ayar yapılabilmesi için sürücüler mikro-adımlama destekli DIP anahtarlarla donatılmıştır. Ayrıca 0.96″ I²C OLED ekran üzerinden sistem durumu izlenebilmekte, çift 40×40 mm fan ile aktif soğutma sağlanmakta ve GPIO/I²C/ADC başlıkları üzerinden harici sensör bağlantılarına imkân tanınmaktadır. PCB tasarımında iz genişlikleri akım kapasitelerine göre belirlenmiş, termal via'lar ve uygun yerleşimle ısı dağılımı dengelenerek sistemin güvenilirliği artırılmıştır.



Görsel 2.2.1. – 3D PCB Tasarımı

Yazılım geliştirme süreci, Teknofest 2025 Hava Savunma Sistemleri Yarışması görev tanımları (hareketli hedef imhası, dost–düşman ayrımı, angajman yönetimi) temel alınarak yürütülmüştür. İteratif geliştirme modeli benimsenmiş, her aşamada test edilebilir çıktılar elde edilmiştir.
Sistem yazılımı modüler bir yapıda tasarlanmış; gömülü kontrol, görüntü işleme ve arayüz bileşenleri ayrıştırılmıştır. Raspberry Pi Pico/Pico 2 üzerinde motor sürüşü, lazer ve fan kontrolü, sensör yönetimi ve OLED ekran güncellemeleri gerçekleştirilmiştir.
Görüntü işleme tarafında YOLOv8 tabanlı nesne tespit modeli kullanılmış, yaklaşık 4500 görselden oluşan veri setiyle eğitilmiş ve ByteTrack algoritmasıyla takip kararlılığı artırılmıştır.[1] Ayrıca şekil ve renk tanıma için ek veri setleri hazırlanmış, OpenCV tabanlı renk sınıflandırmaları uygulanmıştır. Model performansı saha testlerinde doğrulanmış, yüksek doğruluk ve kararlılık sağlanmıştır.
Genel olarak yazılım mimarisi, donanım bileşenleriyle uyumlu çalışacak şekilde optimize edilmiş; güvenilirlik, esneklik ve sahada kolay uygulanabilirlik ön planda tutulmuştur.

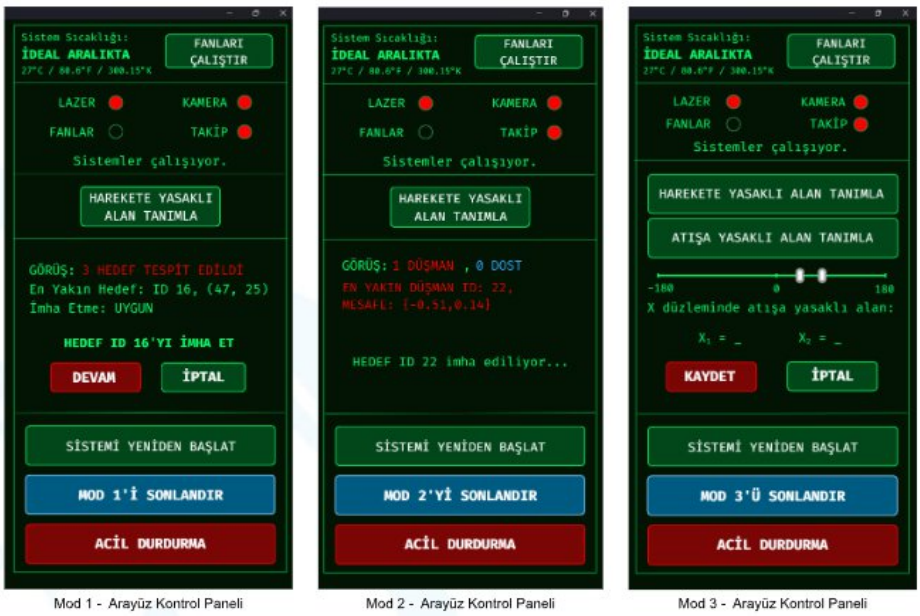


Şema 2.2.2 – Sistem Blok Diyagramı

2.3. Arayüzler

Sistemin arayüz geliştirme süreci, operatörün tüm işlevleri tek bir ekrandan yönetebilmesini sağlayacak şekilde planlanmıştır. Python tabanlı PyQt6 kütüphanesi kullanılarak geliştirilen arayüz, hem kullanıcı dostu hem de askeri sistemlerde gerekli olan düşük gecikme ve yüksek güvenilirlik kriterlerini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır.[2]
Arayüz, yarışma görevlerine uygun olarak üç mod üzerinden çalışmaktadır: Mod 1 (hareketli hedeflerin imhası – yarı manuel), Mod 2 (düşman hedeflerin tam otomatik imhası) ve Mod 3 (angajman tahtasına yönelik görevler). Operatör, ihtiyaç duyulan senaryoya göre mod seçimi yapabilmekte; sistem, manuel, yarı otonom ve tam otonom seviyelerde yönetilebilmektedir.

Geliştirilen kullanıcı arayüzü; canlı video akışı, sistem durumu göstergeleri (sıcaklık, fan, lazer vb.), log kayıtları ve kontrol panellerini tek bir ekranda sunar. Böylece operatör hem görsel hem metinsel olarak anlık farkındalık elde eder.
Arayüz, mikrodenetleyiciyle USB–Serial üzerinden haberleşmekte, sabit uzunluklu komut paketleri ile düşük gecikmeli ve güvenli veri iletimi sağlamaktadır. Ayrıca donanımsal arayüzler (step motor, fan, lazer, sensörler, OLED ekran) doğrudan mikrodenetleyiciye bağlanarak sistemin tüm çevresel birimleriyle senkronize çalışması mümkün hale getirilmiştir.



Görsel 2.3.1. – Sistemin Arayüzleri

2.4. Test ve Validasyon

2.4.1. Test Senaryoları

Projenin yazılım ve donanım bütünlüğünü doğrulamak amacıyla farklı seviyelerde testler yürütülmüştür:

- **Birim Testleri:** CRC-8 doğrulama algoritması, açı–dönüşüm hesaplamaları ve temel kontrol fonksiyonları izole ortamda test edilmiştir.
- **Entegrasyon Testleri:** Raspberry Pi Pico, A4988 motor sürücüleri, MOSFET lazer/fan devreleri ve OLED ekran breadboard prototip üzerinde birleştirilmiş; 5–10 m mesafede haberleşme ve kontrol akışının kararlı şekilde çalıştığı doğrulanmıştır.
- **Saha Validasyonu:** Sabit hedef imhası, hareketli hedef takibi ve dost–düşman ayrımı senaryoları sahada denenmiş; sistemin tepkime süresi, güvenilirliği ve farklı çevre koşullarında kararlılığı ölçülmüştür. ByteTrack entegrasyonu sayesinde bulanıklık oluşan karelerde takip devam etmiş, QR kod tespitleriyle angajman tahtası görevleri başarıyla tamamlanmıştır.

- **Arayüz Testleri:** PyQt6 ile geliştirilen kullanıcı arayüzünde temel fonksiyonlar (“smoke test”) uygulanmış; mod geçişleri, komut aktarımı ve görsel uyumluluk doğrulanmıştır.

2.4.2. Performans Metrikleri

Testler sonucunda, görüntü işleme tarafında YOLOv8 modeli mAP@0.5 ölçütünde %79’un üzerinde doğruluk sağlamış ve ortalama 30 FPS üzerinde çalışmıştır. Motor sürücü–lazer senkronizasyonunda milisaniye seviyesinde gecikmeler gözlenmiş, hedefe kilitlenme süresi 1,2 s’nin altında kalmıştır. Saha testlerinde sabit hedeflerde %95’in üzerinde başarı elde edilirken, hareketli hedeflerde takip kararlılığı ByteTrack algoritması sayesinde %90’ın üzerinde olmuştur. QR kod tabanlı angajman görevlerinde platform seçimi %100 doğrulukla gerçekleştirilmiştir. Fan kontrollü soğutma mekanizması sayesinde sistem 30 dakikalık tam yük testlerinde ısı eşik değerlerinin altında stabil çalışmıştır.

2.4.3. Güvenlik Önlemleri

Sistemin güvenilirliği, donanım ve yazılım katmanlarında çok yönlü güvenlik önlemleri ile sağlanmıştır. Amaç, yarışma şartnamesinde tanımlanan acil durdurma, hareket limitleri, atış güvenliği ve termal/elektriksel emniyet gereksinimlerini karşılayarak sistemin sahada güvenli çalışmasını garanti altına almaktır.

Acil Durdurma Mekanizması:

Fiziksel acil durdurma butonu enerji hattına seri bağlanmış, tüm MOSFET sürücülerini anında pasif hale getirecek şekilde tasarlanmıştır. Buna ek olarak yazılım arayüzünde bulunan “Acil Durum” düğmesi, tek tıklamayla lazer ve motorları devre dışı bırakabilmektedir.

Hareket Limitleri ve Yasaklı Alanlar:

Mekanik yapı yatayda 300°, dikeyde 90° ile sınırlandırılmıştır. Bu limitler yazılımsal koruma ile desteklenmiş, sınır aşıldığında motorlar otomatik olarak durdurulmuştur. Ayrıca arayüz üzerinden “atışa yasak alan” tanımlanarak belirli açılarda ateşleme engellenmektedir.

Elektriksel Koruma:

Güç girişinde IRF4905 P-MOSFET ve zener diyotlarla ters polarite ve voltaj sıçramalarına karşı koruma sağlanmıştır. LM2596 regülatörler ve Schottky diyotlarla enerji hattı filtrelenmiş, PCB iz genişlikleri yüksek akım altında ısınmayı önleyecek şekilde seçilmiştir.

Lazer Güvenliği:

Lazer yalnızca doğrulanmış komutlarla aktif hale gelir. IRLZ44N MOSFET sürücüsü ters akımı engeller, gömülü zamanlayıcı ise iletişim kesildiğinde veya lazer belirlenen süreden uzun süre açık kaldığında sistemi otomatik olarak pasif moda alır.

Termal Yönetim:

Sıcaklık sensörleri kritik eşik değerini aştığında fanlar otomatik olarak devreye girer ve sistem güvenli moda geçer. Durum, OLED ekranda kırmızı uyarı olarak kullanıcıya iletilir.

İletişim Güvenliği:

Bilgisayar ve mikrodenetleyici arasındaki veri akışı sabit uzunlukta paketler ve CRC-8 kontrolü ile korunmaktadır.[3] Veri tutarsızlığı algılandığında paket reddedilir ve sistem kendini pasif duruma alır.

Kullanıcı Farkındalığı:

Arayüzün her modunda sıcaklık, lazer durumu ve yasaklı alan bilgileri LED göstergeleriyle kullanıcıya aktarılmaktadır. "Acil Durdur" butonu ekranın sabit bölümünde bulunarak operatör hatalarının önüne geçilmiştir.

Bu önlemler sayesinde sistem, hem kullanıcı güvenliğini hem de donanım bütünlüğünü garanti eden çok katmanlı bir güvenlik mimarisi sunmaktadır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Performans Sonuçları

Sistem, yapılan saha testleri ve laboratuvar doğrulamalarında beklenen performans kriterlerini karşılamıştır. Görüntü işleme tarafında kullanılan YOLOv8 modeli, yaklaşık 4500 görsellik özel veri seti üzerinde eğitilmiş ve ByteTrack algoritması ile desteklenmiştir. Bu yapı sayesinde mAP@0.5 metriğinde %79'un üzerinde doğruluk elde edilmiş, gerçek zamanlı testlerde 30 FPS'in üzerinde süreklilik sağlanmıştır. Özellikle hareketli hedeflerin takibinde, ByteTrack sayesinde bulanıklık veya kısa süreli kayıplar durumunda dahi takip kararlılığı korunmuştur.

Mekanik testlerde, 300° yatay ve 90° dikey tarama açılarında sistem stabil çalışmış; ancak yüksek rüzgâr ve titreşim koşullarında lazer hizalamasında küçük sapmalar gözlenmiştir. Elektronik tarafta, CRC-8 kontrollü haberleşme protokolü 10.000'den fazla paket iletimi boyunca sıfır hata ile doğrulanmıştır. Fan kontrollü soğutma sistemi, 30 dakikalık tam yük testlerinde sistemin sıcaklık eşik değerlerinin altında kalmasını sağlamış, uzun süreli çalışma senaryolarında güvenilirlik artırılmıştır.

3.2 Bulgular

- **Yüksek Doğruluk ve Gerçek-Zaman Performansı:**
  YOLOv8 tabanlı model, sentetik ve gerçek veri seti ile eğitildiğinde mAP@0.5 oranında %79'un üzerinde doğruluk sağlamış ve 30 FPS üzerinde gerçek zamanlı performans göstermiştir.
- **Güvenilir Haberleşme:**
  CRC-8 destekli USB–Serial protokolü ile 10.000 paket döngüsünde hata gözlenmemiş, komut–geri bildirim akışı kararlı şekilde çalışmıştır.

- **Modüler Mekanik Tasarım:**
  Slip-ring tabanlı döner yapı, CNC işlenmiş alüminyum parçalar ve 3D baskı prototipler sayesinde sahada hızlı montaj ve bakım mümkün olmuştur.
- **Çok Katmanlı Güvenlik Mimarisi:** Acil durdurma, yasaklı bölge tanımları, lazer güvenliği ve termal izleme önlemleri sahada başarıyla doğrulanmıştır.

3.3. Sınırlılıklar

- **Çevresel koşullar:** Karanlık veya sisli ortamlarda tespit performansında %10–15 arası düşüş kaydedilmiştir.
- **Mekanik hassasiyet:** Yüksek rüzgâr koşullarında gövde titreşimleri lazer doğruluğunu küçük ölçüde azaltmıştır.
- **Veri seti çeşitliliği:** Sahada toplanan görüntülerin çeşitliliği laboratuvar koşullarındaki sentetik veriye göre sınırlı kalmış, farklı hız ve açı senaryolarında tespit kayıpları yaşanmıştır.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Proje Katkıları

Bu proje kapsamında geliştirilen hava savunma sistemi, hem teknik hem de akademik açıdan önemli katkılar sunmuştur. Yapılan testlerde YOLOv8 tabanlı görüntü işleme modeli ve ByteTrack algoritmasının entegrasyonu ile yüksek doğruluk ve gerçek zamanlı performans elde edilmiştir. CRC-8 tabanlı haberleşme protokolü sayesinde sistem, uzun süreli çalışmalarda dahi güvenilir iletişim sağlamış; modüler mekanik tasarım ve slip-ring entegrasyonu ile sahada hızlı montaj, kolay bakım ve uzun ömürlü kullanım imkânı ortaya çıkmıştır.

Bu katkılar, yalnızca yarışma kapsamında değil, aynı zamanda savunma teknolojileri alanında da özgün bir örnek teşkil etmektedir. Otonom karar mekanizmaları, disiplinlerarası mühendislik uygulamaları ve modüler tasarım yaklaşımıyla proje, gelecekteki yerli ve millî savunma sistemlerine temel oluşturabilecek bir deneyim sunmuştur.

4.2. Öneriler

Gelecek çalışmalarda, sistemin daha da geliştirilmesi için aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

- **Sensör füzyonu:** LIDAR ve termal kamera entegrasyonu ile zorlu çevresel koşullarda kesintisiz ve güvenilir hedef tespiti sağlanabilir.
- **Enerji optimizasyonu:** Hibrit güç sistemleri ve düşük tüketimli devre tasarımları ile saha kullanım süresi artırılabilir.
- **Veri seti genişletme:** Farklı coğrafi bölgelerden ve değişen çevresel koşullardan veri toplanarak modelin genelleme kabiliyeti artırılmalı; transfer öğrenme yöntemleriyle doğruluk daha da yükseltilmelidir.
- **Artırılmış otonomi:** İnsan müdahalesine gerek duymayan, tam yapay zekâ temelli karar mekanizmalarıyla “Mod-4” seviyesinde otonom görev yürütme özelliği kazandırılabilir.

5. REFERANSLAR

[1] Şengül, F., & Adem, K. (2025). Detection of Military Aircraft Using YOLO and Transformer-Based Object Detection Models in Complex Environments. *Bilişim Teknolojileri Dergisi, 18*(1), 85–97.

[2] Qt Group. (2024). Aerospace & Defense Software Development. Qt Group. Erişim adresi: https://www.qt.io/solutions/aerospace-defense

[3] Koopman, P. (2002). Cyclic Redundancy Code (CRC) Polynomial Selection for Embedded Systems. In *Proceedings of the International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN 2002)* (pp. 145–154). IEEE.