

ÇELİKKUBBE HAVA SAVUNMA SİSTEMLERİ YARIŞMASI ÖN TASARIM RAPORU

Takım Adı: SAS AEROSPACE

Takım ID: 752355

Başvuru ID: 4313044



İÇİNDEKİLER

1.	PROJE ÖZETİ	3
2.	TAKIM ŞEMASI.....	3
3.	SİSTEM ÖN TASARIMI	4
3.1.	Sistem Blok Şeması	4
3.2.	Mekanik Tasarım	5
3.2.2.	3D Baskı ile Üretilen Yapısal Parçalar	5
3.2.3.	Tetik Mekanizması Adaptörü	5
3.3.	Donanım Tasarım	6
3.4.	Yazılım Tasarım	8
4.	YÖNTEM.....	11
5.	ZAMAN VE BÜTÇE PLANLAMASI	12
6.	PROJE RAPOR DÜZENİ VE KAYNAKÇA.....	13

1. PROJE ÖZETİ

Bu proje kapsamında, **TEKNOFEST Çelik Kubbe Hava Savunma Sistemleri Yarışması** gereksinimlerini karşılayabilecek, otonom ve yarı otonom modlarda çalışabilen bir hava savunma sistemi geliştirilmektedir. Sistem; görüntü işleme tabanlı hedef tespiti ve sınıflandırması, çift kameralı algı mimarisi, Pan-Tilt mekanizması ile hassas yönelim kontrolü ve Airsoft tüfek tabanlı hedef etkisizleştirme yeteneklerini tek bir platformda birleştirmektedir.

Geliştirilen sistem, farklı hedef tiplerini **YOLOv8 tabanlı algılama altyapısı** ile tespit etmekte, **SORT algoritması** ile hedef takibi gerçekleştirmekte ve **PID kontrollü Pan-Tilt mekanizması** aracılığıyla hedefi merkezleyerek müdahale edebilmektedir. Ayrıca sistem mimarisi, dost/düşman ayrımı ve menzil doğrulaması gibi karar destek mekanizmalarını da içerecek şekilde tasarlanmıştır.

Sistemin tüm boyutlarının 60 cm sınırı altında tutulması hedeflenmiş ve bu tasarım kısıtı mekanik ile elektronik tasarım süreçlerine entegre edilmiştir. İşleme altyapısı başlangıç aşamasında **Raspberry Pi 5 (8 GB)** üzerinde konumlandırılmış olup, projenin ilerleyen aşamalarında **Jetson Nano** platformuna kademeli geçiş planlanmaktadır.

2. TAKIM ŞEMASI

SAS Takımı, 1 yazılım mühendisliği, 1 bilgisayar mühendisliği, 2 elektrik elektronik mühendisliği, 1 bilişim sistemleri mühendisliği, 1 endüstri mühendisliği ve 2 yönetim bilişim sistemleri olmak üzere 8 öğrenci tarafından oluşmaktadır. Üye rolleri; yazılım, elektronik, mekanik ve planlama olarak 4 kola dağıtılmıştır.

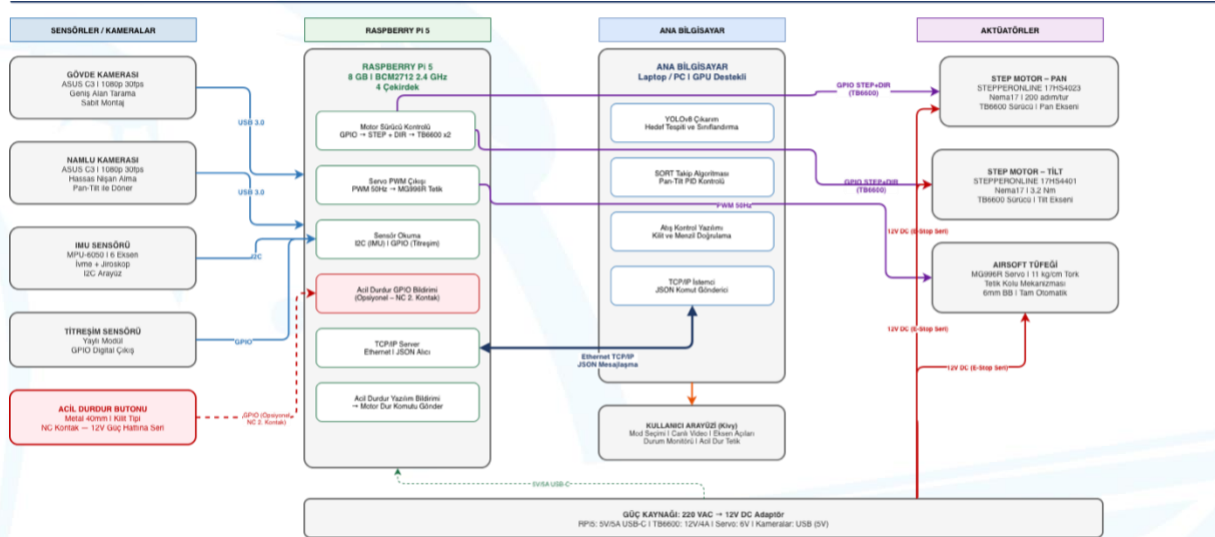
SAYI	TAKIMDAKİ GÖREVİ	EĞİTİM SEVİYESİ	SINIF	ÜYE ROLÜ
1	Görüntü işleme, YZ algoritmaları ve proje koordinasyonu	Lisans Öğrencisi	3	Kaptan
2	Haberleşme altyapısı ve Elektronik devre tasarımı	Lisans Öğrencisi	4	Üye
3	Kullanıcı arayüzü ve yazılım entegrasyonu	Lisans Öğrencisi	3	Üye
4	YZ model eğitimi ve Elektronik tasarım	Lisans Öğrencisi	3	Üye
5	Atış kontrol sistemi ve elektronik entegrasyon	Lisans Öğrencisi	3	Üye
6	Mekanik tasarım, Pan-Tilt mekanizması ve entegrasyonu	Lisans Öğrencisi	3	Üye
7	Proje zamanlaması, maaliyet ve bütçe hesaplanması	Lisans Öğrencisi	2	Üye
8	Atış kontrol sistemi ve yazılım entegrasyonu	Lisans Öğrencisi	3	Üye

3. SİSTEM ÖN TASARIMI

3.1. Sistem Blok Şeması

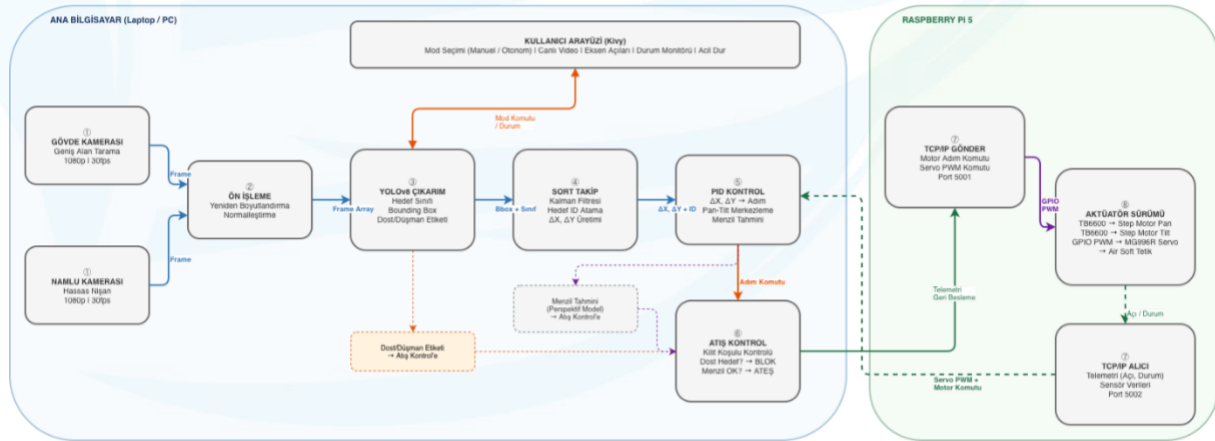
Sistem blok şeması iki tamamlayıcı diyagram olarak sunulmaktadır:

Kablo Bazlı Fiziksel Bağlantı Şeması, tüm donanım birimlerini, bağlantı tiplerini (USB 3.0, I2C, GPIO, PWM, Ethernet) ve güç dağıtımını göstermektedir.



1 Kablo Bazlı Fiziksel Bağlantı Şeması

Görüntü İşleme Pipeline ve Haberleşme Şeması ise verinin kameradan imha komutuna ulaşana kadar geçtiği yazılım aşamalarını ve iki platform arasındaki TCP/IP mesajlaşma katmanını göstermektedir.



2 Görüntü İşleme Pipeline ve Haberleşme Şeması

Sistemde iki ayrı işleme platformu kullanılmaktadır. Görüntü işleme hesaplamaları (YOLOv8 çıkarm, SORT takip, PID hesaplama ve atış kontrol kararı) işlemci ve GPU kaynak gereksinimleri nedeniyle ana bilgisayar üzerinde yürütülmektedir. Motor sürücü komutları, servo PWM sinyali üretimi, sensör okuma ve acil durdur butonu

kontrolü görevleri ise **Raspberry Pi 5** üzerinde konumlandırılmıştır. İki platform arasındaki tüm komut ve telemetri trafiği, Ethernet kablosu üzerinden **TCP/IP protokolü ve JSON mesaj formatı** kullanılarak sağlanmaktadır.

3.2. Mekanik Tasarım

Geliştirilen sistemde hedef doğrultulması ve atış mekanizmasının kontrolü için Pan-Tilt tabanlı bir yönelim mekanizması kullanılmaktadır. Bu mekanizma, yatay ve dikey eksenlerde bağımsız hareket sağlayarak hedefin görüş alanında merkezlenmesine imkân tanımaktadır.

3.2.1. Pan-Tilt Mekanizması

Pan-Tilt mekanizması iki bağımsız step motor ekseninden oluşan iki serbestlik dereceli bir mekanik sistemdir. Pan eksen, sistemin yatay düzlemde sürekli dönme hareketi gerçekleştirmesini sağlarken, Tilt eksen dikey düzlemde yaklaşık $\pm 45^\circ$ hareket aralığında hedef doğrultulmasına imkân tanımaktadır. Bu yapı sayesinde kamera ve atış sistemi hedefe hızlı ve hassas şekilde yönlendirilebilmektedir.

Mekanizma tasarımında taşınacak yük önemli bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Sistemde kullanılan Airsoft tüfek yaklaşık 800 g kütleye sahip olup, özellikle Tilt ekseninde moment yükü oluşturmaktadır. Bu nedenle Tilt eksen gövdesi ve mil bağlantı noktaları bu yükleri güvenli şekilde taşıyabilecek biçimde boyutlandırılmıştır. Yapısal dayanımı artırmak amacıyla PLA parçaların kesit kalınlıkları artırılmış ve kritik dönme noktalarında bilyalı rulman kullanımı tercih edilmiştir. Bu yaklaşım mekanik stabiliteyi artırırken aynı zamanda daha hassas konumlama yapılmasına olanak sağlamaktadır.

3.2.2. 3D Baskı ile Üretilen Yapısal Parçalar

Sistemin mekanik gövde bileşenleri 3D yazıcı teknolojisi kullanılarak Bambu Lab P1S yazıcı ile PLA malzemeden üretilmektedir. PLA malzeme, düşük maliyetli üretim, hızlı prototipleme ve tasarım değişikliklerinin kolay uygulanabilmesi açısından tercih edilmiştir. Sistem oda sıcaklığında çalıştığından PLA'nın mekanik dayanımı prototip aşaması için yeterli görülmektedir.

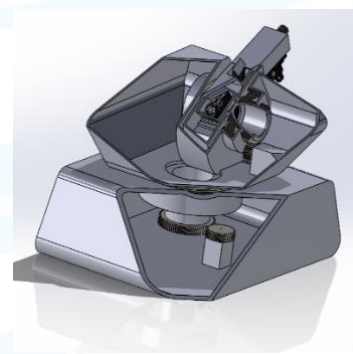
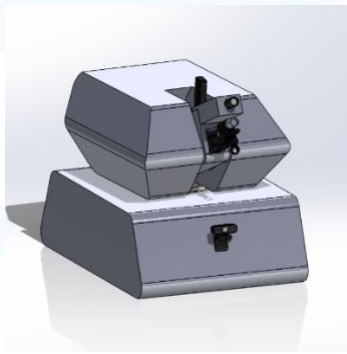
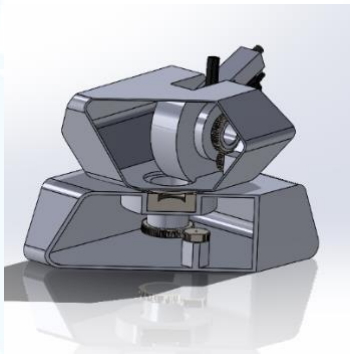
Tüm mekanik tasarım boyutları yarışma şartnamesinde belirtilen 60 cm sistem boyut sınırı dikkate alınarak planlanmıştır.

3.2.3. Tetik Mekanizması Adaptörü

Airsoft tüfeğin tetik mekanizmasının uzaktan kontrol edilebilmesi amacıyla servo motor tabanlı bir tetik adaptörü tasarlanmıştır. Bu mekanizma, servo motorun açısıl hareketini tüfek tetik kolunun mekanik hareketine dönüştürerek atışın elektronik olarak tetiklenmesini sağlamaktadır.

Adaptöre eklenen ayarlanabilir kol uzunluğu, farklı Airsoft tüfek modelleri ile mekanik uyumluluğun sağlanmasına olanak tanımaktadır. Böylece sistem farklı platformlarda kullanılabilecek modüler bir yapıya sahip olmaktadır.

BİLEŞENLER	ÜRETİCİ	MODEL	ÖZELLİKLERİ	FİYAT
MEKANİK				
Rulman	ORS	7220B	İç çap = 100mm, dış çap = 180mm, genişlik = 34mm	
Çark Sistemi	Özgün Tasarım		PLA ile %100 dolgu oranı ile üretim, halka dişli	
Taret Eksen Sistemleri	Özgün Tasarım		M = 2 Z = 80/40 dişliler, rulman ve step motor içermekte	
Airsoft Tüfek	ASG	MP 5 Serisi	Ağırlık = 800g, tam/yarı otomatik, mühimmat = 6mm BB	
Tetik Mekanizması	Özgün Tasarım		Servo motor bazlı fiziksel tetikleyici	
Yapısal Gövde Parçaları	Özgün Tasarım		Madde = PLA, ağırlık = 5kg(yaklaşık), boyut = 490X580mm	



3.3. Donanım Tasarım

Sistemin donanım mimarisi, görüntü işleme ve donanım kontrol görevlerinin birbirinden ayrıldığı modüler bir yapı üzerine tasarlanmıştır. Bu yaklaşım, sistemin geliştirme sürecinde esneklik sağlamakta ve farklı işlem platformlarının kullanılabilmesine olanak tanımaktadır.

Görüntü işleme işlemleri yüksek hesaplama gücü gerektirdiğinden dolayı sistemde kullanılan kameradan elde edilen görüntüler harici bir bilgisayar üzerinde işlenmektedir. Bu bilgisayar üzerinde çalışan görüntü işleme algoritmaları aracılığıyla hedef tespiti, hedef sınıflandırması ve hedef takibi gerçekleştirilmektedir. Görüntü işleme sonuçları daha sonra haberleşme katmanı üzerinden sistem kontrol birimine aktarılmaktadır.

Donanım kontrol birimi olarak Raspberry Pi 5 (8 GB ram) platformunun kullanılmasına karar verilmiştir. Raspberry Pi platformu, geniş giriş-çıkış arayüzleri (GPIO, PWM, I2C,

USB), düşük güç tüketimi ve gelişmiş geliştirici ekosistemi sayesinde sistemde yer alan motorlar, sensörler ve tetikleme mekanizmasının kontrol edilmesi için uygun bir altyapı sunmaktadır. Bu birim; pan-tilt mekanizmasını hareket ettiren servo motorların kontrolü, sensör verilerinin okunması ve atış kontrol sinyallerinin üretilmesi gibi görevleri yerine getirmektedir.

Sistemin geliştirme sürecinde kullanılan bu mimari, ilerleyen aşamalarda sistem işlem kapasitesinin artırılmasına olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu kapsamda sistem içerisinde NVIDIA Jetson Nano platformunun kullanılmasına yönelik bir yükseltme planı bulunmaktadır. Jetson Nano platformunun CUDA destekli GPU mimarisi, derin öğrenme tabanlı görüntü işleme algoritmalarının gömülü sistem üzerinde gerçek zamanlı olarak çalıştırılabilmesine imkan sağlamaktadır. Bu nedenle sistem mimarisi, ilerleyen geliştirme aşamalarında görüntü işleme işlemlerinin doğrudan Jetson Nano üzerinde çalıştırılmasına imkan verecek şekilde kurgulanmıştır.

Hedef tespit ve takip görevlerinin yerine getirilebilmesi amacıyla sistemde iki farklı kamera mimarisi benimsenmiştir. Gövde üzerine sabit olarak yerleştirilen geniş açı kamera çevredeki geniş görüş alanının sürekli olarak taranmasını sağlayarak ilk hedef tespitinin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu kamera sistemin erken uyarı ve geniş alan gözetleme görevini yerine getirmektedir.

İkinci kamera ise pan-tilt mekanizması üzerine yerleştirilen dar açı kameradır. Bu kamera hedef üzerine yönlendirilerek yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmesini sağlamakta ve hassas hedef takibi ile kilit doğrulama işlemlerinin gerçekleştirilmesine imkan tanımaktadır. Pan-tilt mekanizması iki eksenle hareket sağlayan step motorlar ve enkoderlar aracılığıyla kontrol edilmektedir. Bu sayede hedefin açısal konumunun hızlı bir şekilde takip edilmesi ve sistemin nişan doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir.

BİLEŞENLER	ÜRETİCİ	MODEL	ÖZELLİKLERİ	FİYAT
DONANIM				
Geliştirme Kartı	Raspberry	Pi 5	TCP/IP desteği, 8 GB LPDDR4X RAM, STEP/DIR ve geniş GPIO desteği	
Enkoder	Omron	E6B2-CWZ6C	600 PPR, Artımlı, Faz A-B-Z, 5-24V DC besleme	
Step Motor	Usongshine	17HS8401S	Adım açısı = 1.8, Tutma torku = 52N.cm, ağırlık = 400g	
Servo Motor	TowerPro	MG996R	Tork = 11kg/cm, dönme açısı = 0-180, tamamı metal dişli	
Gövde Kamerası	ASUS	Webcam C3	1080p 30fps, 90° geniş açı, USB 3.0 Bağlantı	

Taret Kamerası	Raspberry	HQ Camera	12.3 MP Sony IMX477 sensör, C/CS-Mount lens desteği, 4056 x 3040 piksel.	
Güç Kartı				

3.4. Yazılım Tasarım

Sistemin yazılım mimarisi, görüntü işleme, hedef takibi, karar verme ve donanım kontrol süreçlerinin birbirinden ayrıldığı modüler bir yapı üzerine tasarlanmıştır. Yazılım mimarisi iki ana işlem katmanından oluşmaktadır: görüntü işleme ve karar verme süreçlerinin yürütüldüğü ana bilgisayar katmanı ile donanım kontrol işlemlerinin yürütüldüğü Raspberry Pi tabanlı gömülü sistem katmanı. Bu iki katman arasında TCP/IP tabanlı bir haberleşme altyapısı kullanılarak komut ve telemetri verilerinin aktarılması sağlanmaktadır.

Ana bilgisayar üzerinde çalışan yazılım bileşenleri görüntü işleme, hedef tespiti, hedef takibi ve atış karar mekanizmalarını gerçekleştirmektedir. Raspberry Pi üzerinde çalışan yazılım ise aktüatör kontrolü, sensör verilerinin okunması ve düşük seviyeli donanım kontrol görevlerini yerine getirmektedir. Böylece yüksek hesaplama gücü gerektiren işlemler ile gerçek zamanlı donanım kontrol işlemleri birbirinden ayrılarak sistemin daha kararlı çalışması hedeflenmiştir.

3.4.1. Görüntü İşleme Pipeline

Sistemde hedef tespiti ve takibi işlemleri çok aşamalı bir görüntü işleme pipeline yapısı içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu süreç Şekil 2’de gösterilen mimari doğrultusunda aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

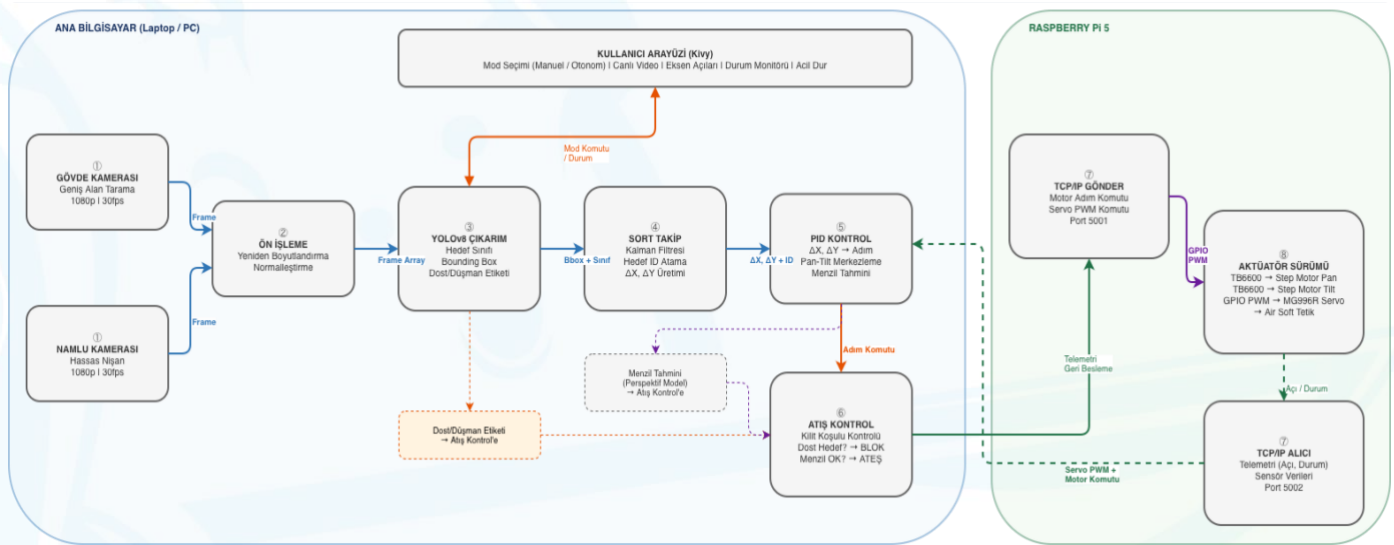
İlk aşamada gövde kamerası ve namlu kamerasından elde edilen görüntü akışları sisteme aktarılmaktadır. Kamera görüntüleri ön işleme aşamasından geçirilerek yeniden boyutlandırma ve normalize etme işlemleri uygulanmaktadır. Bu işlem, görüntülerin derin öğrenme modeli için uygun giriş formatına dönüştürülmesini sağlamaktadır.

Ön işleme aşamasından sonra görüntüler hedef tespit modülüne aktarılmaktadır. Bu aşamada YOLOv8 tabanlı nesne tespit algoritması kullanılarak görüntü içerisindeki potansiyel hedeflerin konumları ve sınıf etiketleri belirlenmektedir. YOLO algoritması, görüntü içerisindeki nesnelerin sınıf bilgilerini ve sınır kutularını (bounding box) gerçek zamanlı olarak üretmektedir. Bu sayede sistem, sahada bulunan hedefleri hızlı bir şekilde algılayabilmektedir.

Tespit edilen hedefler daha sonra hedef takip modülüne aktarılmaktadır. Bu aşamada SORT (Simple Online Realtime Tracking) algoritması kullanılarak hedeflerin zamansal olarak takip edilmesi sağlanmaktadır. SORT algoritması Kalman filtresi tabanlı bir yaklaşım kullanarak hedeflerin hareketlerini tahmin etmekte ve her hedef için benzersiz bir takip kimliği üretmektedir. Bu sayede sistem, aynı hedefi ardışık görüntü kareleri

boyunca takip edebilmekte ve hedef hareketine ilişkin hız ve yön bilgilerini elde edebilmektedir.

Hedef takip modülü tarafından elde edilen konum verileri pan-tilt kontrol algoritmasına aktarılmaktadır. Bu aşamada hedefin görüntü merkezine olan konumsal hatası hesaplanmaktadır. Hedefin görüntü düzlemindeki x ve y eksenlerindeki sapmaları kullanılarak pan ve tilt eksenleri için gerekli açısal düzeltme değerleri hesaplanmaktadır. Bu düzeltme işlemi PID kontrol algoritması kullanılarak gerçekleştirilmektedir. PID kontrol algoritması sayesinde pan-tilt mekanizmasının hedefi görüntü merkezinde tutacak şekilde sürekli olarak konumlandırılması sağlanmaktadır.



3.4.2. Atış Karar Mekanizması

Hedefin takip edilmesinden sonra sistem tarafından atış karar süreci yürütülmektedir. Atış kontrol modülü, hedefin sınıf bilgisi, konum bilgisi ve menzil tahmini gibi parametreleri değerlendirmektedir. Bu aşamada dost hedefler ile düşman hedeflerin ayrıştırılması yapılmakta ve dost hedeflere yönelik herhangi bir atış komutu oluşturulmamaktadır.

Sistemde ayrıca perspektif model tabanlı bir menzil tahmin mekanizması kullanılmaktadır. Hedefin görüntü içerisindeki boyutuna ve kamera parametrelerine bağlı olarak hedefin yaklaşık uzaklığı hesaplanmaktadır. Hesaplanan menzil değeri belirlenen operasyonel menzil sınırları içerisinde ise ve hedef doğrulaması yapılmışsa atış komutu oluşturulmaktadır.

Atış komutu oluşturulduğunda ilgili kontrol mesajı TCP/IP haberleşme altyapısı üzerinden Raspberry Pi sistemine gönderilmektedir.

3.4.3. Donanım Kontrol Katmanı

Raspberry Pi üzerinde çalışan yazılım sistemi ana bilgisayardan gelen kontrol komutlarını almakta ve donanım seviyesinde gerekli işlemleri gerçekleştirmektedir. Ana bilgisayar ile Raspberry Pi arasındaki haberleşme TCP/IP protokolü üzerinden JSON tabanlı mesajlaşma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Raspberry Pi üzerinde çalışan yazılım, alınan komutları yorumlayarak pan ve tilt eksenlerini kontrol eden step motor sürücülerine gerekli STEP ve DIR sinyallerini üretmektedir. Bu sayede pan-tilt mekanizmasının hedef doğrultusunda yönlendirilmesi sağlanmaktadır.

Sistemde ayrıca servo motor kontrollü tetik mekanizması kullanılmaktadır. Ana bilgisayardan gönderilen atış komutu doğrultusunda servo motor PWM sinyalleri kullanılarak tetikleme mekanizması çalıştırılmaktadır. Böylece airsoft tüfeğinin kontrollü bir şekilde ateşlenmesi sağlanmaktadır.

Raspberry Pi aynı zamanda sistemde yer alan sensörlerden veri toplamaktadır. IMU sensörü aracılığıyla sistem titreşimleri ve yönelim bilgileri okunabilmekte, titreşim sensörü aracılığıyla sistem stabilitesi izlenebilmektedir. Ayrıca acil durdurma butonundan gelen sinyaller yazılımsal/donanımsal interrupt(kesme) ile takip edilmekte ve acil durum algılandığında tüm step motor hareketleri durdurulmakta ve tetik mekanizmasına bağlı bulunan servo motor güvenli açığa alınıp beklemektedir.

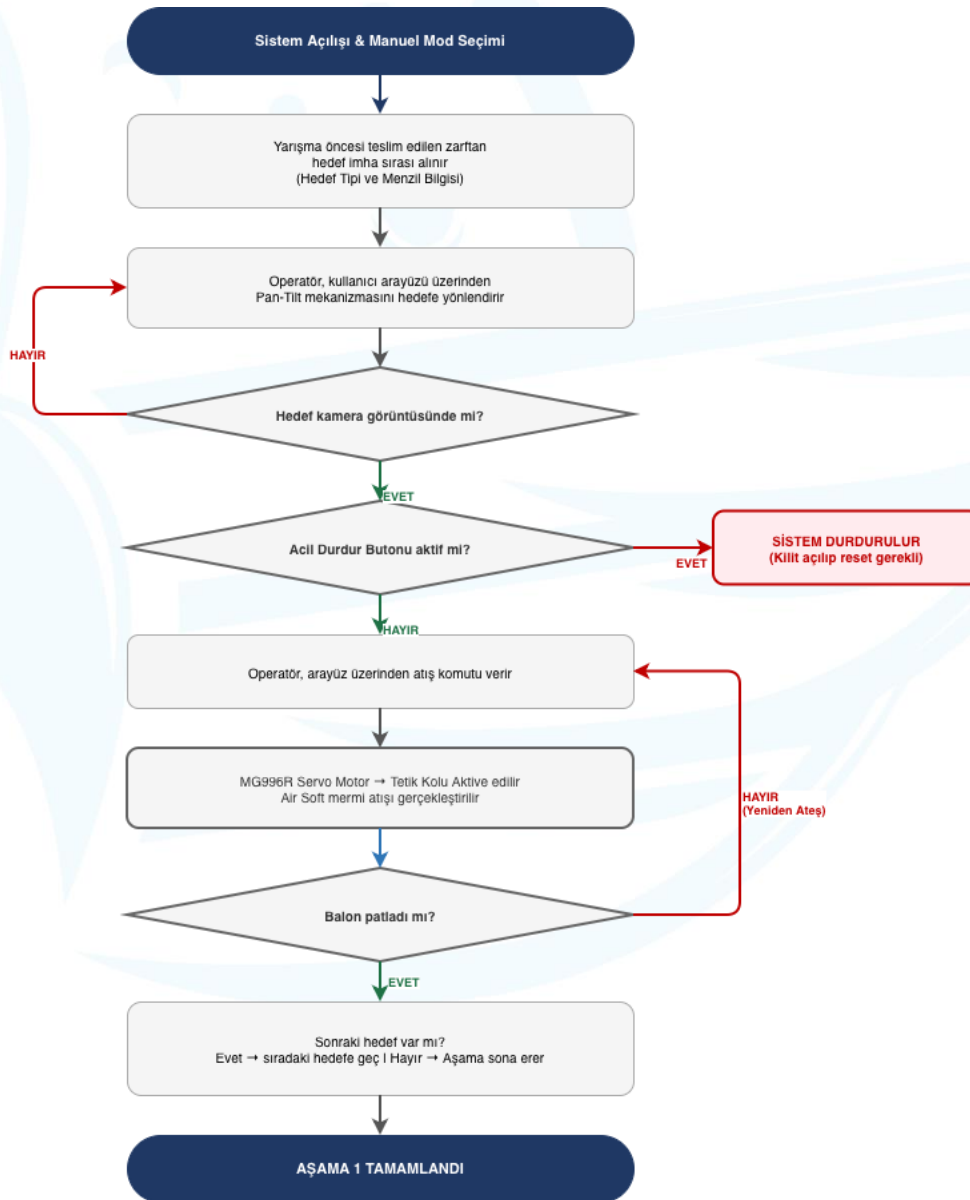
3.4.4. Kullanıcı Arayüzü

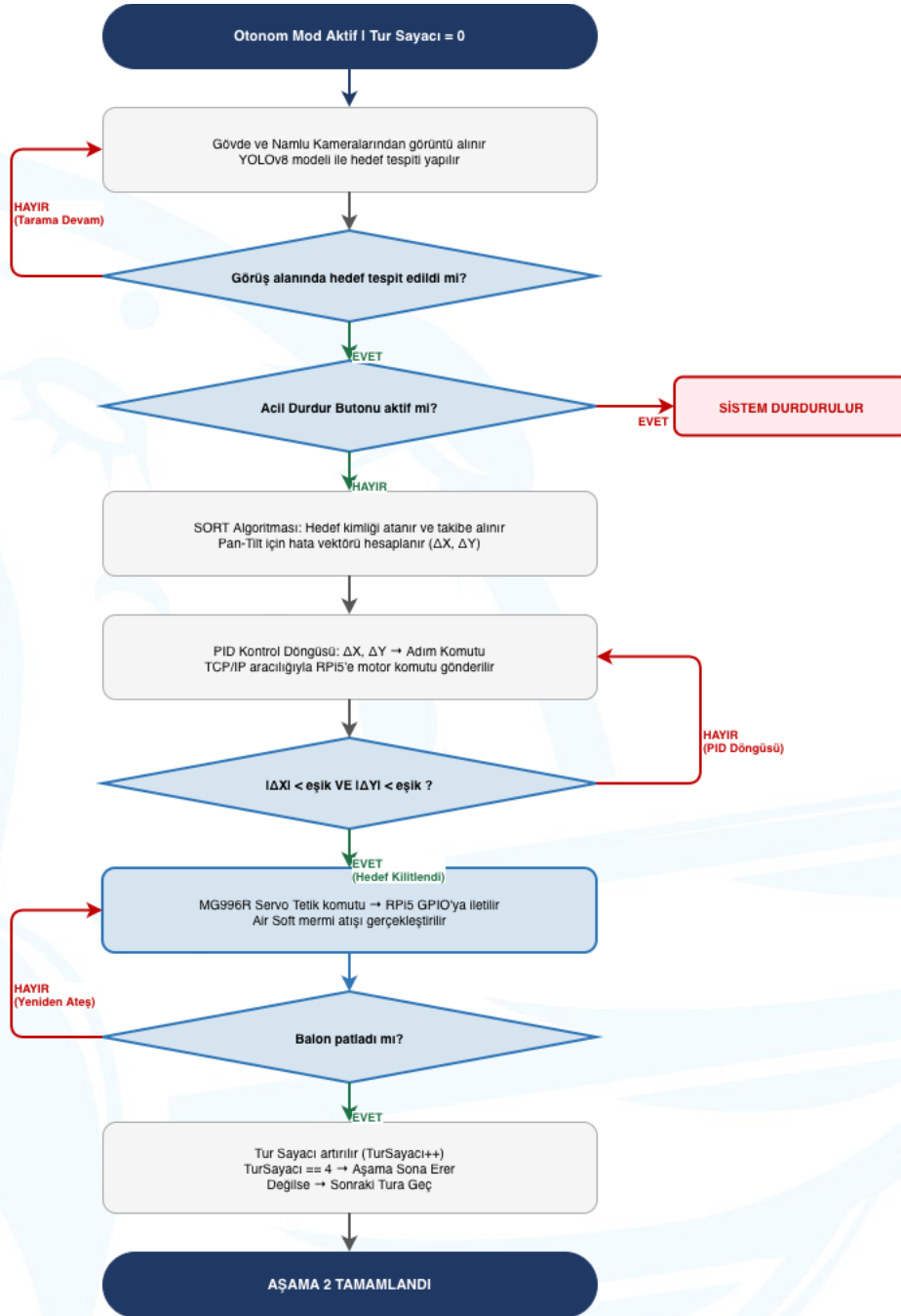
Sistemde operatörün sistemi izleyebilmesi ve kontrol edebilmesi amacıyla bir kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. Bu arayüz üzerinden sistem çalışma modu seçilebilmekte, canlı kamera görüntüsü izlenebilmekte ve pan-tilt eksenleri manuel olarak kontrol edilebilmektedir. Ayrıca sistem durumu ve sensör verileri arayüz üzerinden izlenebilmekte, gerekli durumlarda acil durdurma komutu gönderilebilmektedir.

BİLEŞENLER	ÜRETİCİ	VERSİYON	ÖZELLİKLERİ
Atış Kontrol Yazılımı	Özgün Tasarım	V1.0	Menzil doğrulaması, kilit koşulu kontrolü ve tetik mekanizması aktivasyonu.
Hedef Tespiti	Ultralytics	YOLOv8	Gerçek zamanlı nesne tespiti, sınıflandırma ve sınır kutusu (bounding box) üretimi.
Hassas Takip	SORT	V1.0	Kalman filtresi ile hedef kimliklendirme ve zamansal takip.
Sınıflandırma	Özgün Tasarım	V1.0	Tespit edilen hedeflerin dost/düşman olarak ayrıştırılması.
Hedef Takibi ve PID	Özgün Tasarım	V1.0	Delta X, Delta Y sapma verileriyle Pan-Tilt yönelim hata hesabı ve düzeltme.
Kullanıcı Arayüzü	Özgün Tasarım	V1.0	Mod seçimi (Manuel/Otonom), canlı görüntü izleme, acil durdurma ve sistem durum monitörü.

Donanım Kontrol Katmanı	Özgün Tasarım	V1.0	Raspberry Pi üzerinde motor sürücü sinyalleri (STEP/DIR) ve sensör okuma süreçleri.
Kamera Sürücüsü	Raspberry	Libcamera -rpicam	Raspberry Pi 5 üzerinde HQ Camera donanım hızlandırmalı sürücü desteği.
Kamera Sürücüsü	Linux / UVC	V4L2	USB 3.0 tak-çalıştır desteğiyle standart görüntü yakalama arayüzü.

4. YÖNTEM





5. ZAMAN VE BÜTÇE PLANLAMASI

Bu kısımda sistemin tahmini üretim ve test süreçlerini içeren bir zaman planlaması, tahmini bütçe planlaması yapılır. Bu planlamalarda izlenecek yöntemin açıklanması beklenmektedir (Proje Takip Aracı seçimi/kullanımı).

[illegible]

6. KAYNAKÇA

