








ROBOTİK CASUS KUŞUN TASARIMI, İMALATI VE GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ İLE KONTROLÜ

*Seydi TUTAR¹, Abdülhamit POLAT¹, Murat ÖZTÜRK¹ Davut KILINÇ¹ Koray ÖZSOY²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü,
Isparta

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta OSB MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü,
Isparta

(Geliş/Received: 06.07.2024, Kabul/Accepted: 10.09.2024, Yayınlanma/Published: 31.12.2024)

ÖZ

Bu çalışmada, askeri ve sınır ötesi operasyonlarda kullanılmak üzere geliştirilen bir robotik casus kuşun tasarımı ve üretimi ele alınmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan insansız hava araçlarının yerine, kuşlardan ilham alınarak geliştirilen robotik kuşların kullanımı, daha iyi kamufle olma, sessiz ve verimli uçuş sağlama avantajları sunulmuştur. Türkiye'nin sınır güvenliğini artırmak amacıyla gözetim ve izleme sistemleriyle entegre edilebilecek bir robotik kuş tasarımı yapılmıştır. Robotik casus kuşun prototipi mekanik sistem tasarımı ve imalatı, elektrik-elektronik sistem tasarımı ve kontrol yazılımı olmak üzere üç ana aşamada gerçekleştirilmiştir. Mekanik sistem tasarımı ve imalatında, Solidworks programı kullanılarak ana gövde, kanatlar ve diğer parçalar tasarlanmış ve FDM yazıcı ile üretilmiştir. Elektrik-elektronik sistem tasarımında, Raspberry Pi 4, WiFi Model B kamera, Lipo batarya ve A2212 1400KV drone motoru gibi bileşenler kullanılmıştır. Kontrol yazılımı olarak Python dili kullanılarak, yüz tarama ve hedef tespiti gibi işlevler gerçekleştirilmiştir. Robotik casus kuş, uzaktan kumanda ile kontrol edilip ses ve görüntü kaydı yapabilmekte, etrafındaki nesnelerin görüntü işlemlerini gerçekleştirerek kontrol paneline verileri aktarılmıştır. Robotik Casus Kuşun yapılan on adet uçuş testlerinden stabil uçuş, gözetim görüntü kalitesi ve skor değerleri ve pil tüketim performans değerleri istenilen aralıkta elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Robotik, Tasarım, FDM İmalat, Yüz Tarama, Hedef Tespiti.

DESIGN, MANUFACTURING AND CONTROL OF ROBOTIC SPY BIRD

ABSTRACT

In this study, the design and production of a robotic spy bird for use in military and cross-border operations is discussed. The advantages of using robotic birds inspired by birds, better camouflage, silent and efficient flight instead of the widely used unmanned aerial vehicles are presented. A robotic bird that can be integrated with surveillance and monitoring systems to enhance Turkey's border security is designed. The prototype of the robotic spy bird was realized in three main stages: mechanical system design and manufacturing, electrical-electronic system design and control software. In mechanical system design and manufacturing, the main body, wings and other parts were designed using Solidworks program and manufactured with FDM printer. In the electrical-electronic system design, components such as Raspberry Pi 4, WiFi Model B camera, Lipo battery and A2212 1400KV drone motor were used. Functions such as face scanning and target detection were realized using Python language as the control software. The robotic spy bird can be controlled by remote control, can record audio and video, perform image processing of the objects around it and transfer the data to the control panel.

Keywords: Robotic, Design, FDM manufacturing, Face Scanning, Target Detection.

1. Giriş (Introduction)

Kanat çırparak uçan hava aracı (Ornithopter), doğadaki kuşların uçuş mekanizmalarından ilham alınarak tasarlanan ve uzun bir geçmişe dayanan hava araçlarıdır. Autar ve Walker (2007), ornithopterlerin tasarımı ve optimizasyonu konusundaki zorlukları ve ilerlemeleri detaylı bir şekilde ele almıştır. Çalışmada, ornithopter araçların aerodinamik özelliklerini, uçuş stabilitesini ve kontrol sistemlerini optimize etmiştir [1]. Akan ve Murphy (2010) çalışmasında, mikro kanat çırpma hava aracının geliştirilmesinde pratik uygulamalar yapmıştır. Çalışmada özellikle, kanatların çırpma hareketi esnasında aerodinamik kuvvetlerin nasıl yönetildiği ve bu sürecin tasarım sürecine etkileri üzerine odaklanılmıştır [2]. Shyy ve diğerleri (2008), biyolojiden ilham alarak tasarlanan ornithopterlerin ilerlemelerini ve karşılaşılan zorlukları incelemiştir. Doğadaki kuşların uçuş tekniklerini taklit eden bu araçların aerodinamik verimliliklerini artırmak ve stabilite sorunlarını çözmek için öneriler sunmuştur [3].

Wang (2005), kanat çırpma uçuşunun aerodinamiğini ve mikro hava araçlarına nasıl uygulandığını ve ornithopter teknolojinin gelecekteki potansiyelini göstermiştir. Çalışmada, ornithopterlerin manevra kabiliyetini ve hava koşullarına karşı direncini artırmak için yapılan aerodinamik optimizasyon sağlamıştır [4]. Perez ve diğerleri (2015), ornithopterlerin tasarım ve inşası üzerine bir çalışma sunmuştur. Ornithopter hava araçlarının malzeme seçimlerinden, kanat yapılarına kadar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Doğada bulunan kuşların uçuş tekniklerinden esinlenerek yapılan bu tasarımların pratik uygulamaları literatür ile tartışmıştır [5].

3B baskı teknolojisi günümüzde sanayi sektöründe özellikle prototip üretiminde kullanılması ile büyük inovasyonlardan birisi olmuştur. 3 Boyutlu baskı teknolojisi, plastik veya metalik malzemelerin birbirleri üzerine eklenerek tasarımın ihtiyacı doğrultusunda katmanlar oluşturulması yolu ile 3B modellerin üretilmesini sağlayan bir teknolojidir [6]. 3B yazıcı teknolojileri, ürünü katman katman oluşturan eklemeli imalat yöntemidir [7]. Tasarımı hazırlanan parçalar, bilgisayar destekli tasarım (BDT) yazılımları ile oluşturulan 3B katı modellerden üretilirler [8]. Bu süreçte malzemenin katman katman eklenmesi ve dolayısıyla israf olan malzeme miktarının düşürülmesi, diğer yöntemlerle kıyaslandığında bu teknolojiyi daha verimli kılar [9]. Bu teknoloji, polimerleri kullanarak fiziksel modellerin prototiplerini olabildiğince hızlı bir şekilde üretmek için geliştirilmiştir [10]. Yeni ürün geliştirmedeki hataları ve devir sürelerini büyük oranda azaltarak ürünlerin piyasaya sürülmesini hızlandırır. Robotik çırpınan kanatlı mikro hava aracı eklemeli imalat teknolojileri ile imalatı enjeksiyon kalıplama ve tel erazyon kesme imalat yöntemlerine alternatif olarak mikro mekanizma bileşenleri üretmek için kullanılabileceğini göstermiştir [11,12].

Günümüzde askeri amaçlarla insansız hava araçları (İHA) kullanımı, özellikle sınır güvenliği ve istihbarat toplama operasyonlarında kritik bir öneme sahiptir. Bu tür teknolojik araçlar, yüksek hassasiyetli gözetim, keşif ve hedef tespit görevlerini etkin bir şekilde yerine getirebilmektedir [13]. Ancak, geleneksel İHA'lar bazı durumlarda yeterli kamuflaj sağlayamayarak görev alanında dikkat çekmektedirler. Ayrıca, bu tür hava araçlarının operasyon sırasında yaydıkları gürültü, görevin gizliliğini tehlikeye atmaktadır. Bu bağlamda, doğadan ilham alarak geliştirilen robotik casus kuşlar, yeni nesil gözetim ve izleme sistemleri olarak öne çıkmaktadır. Gerçek kuşların uçuş mekanizmalarını ve görünümünü taklit eden bu robotlar, doğal çevre içinde fark edilmeden daha sessiz çalışma özellikleriyle operasyonların gizliliğini artırma yeteneğine sahiptir [14].

İHA, SİHA ve Ornithopterlerin uçuşunda kontrolü sağlayan ana beyin Raspberry pi'dir. Raspberry pi uzaktan kontrol esnasında yüksek seviyeli grafik işlemleri, düşük güç tüketimi, yüksek doğruluk ve hız ihtiyaçlarına en iyi karşılık veren bir bilgisayardır [15]. Raspberry pi'ye bağlanan modül kamera ise hem RGB bandında hem de NIR bandında veri aktarımı sağlar. Modül kamera sisteminin avantajları düşük maliyet, hafiflik, geniş veri aktarımı ve montaj kolaylığıdır. Sistem gerçek zamanlı konum, veri toplamak ve veri işlemek için Raspberry pi üzerinden kurulup bağlanmıştır [16].

Raspberry pi, Raspbian adı verilen Linux tabanlı bir işletim sistemi kullanmaktadır. Raspberry pi Pardus ARM, Arch Linux ve Windows 10 IoT Core sistemlerini de desteklemektedir. Python, BBC Basic, C ve Perl programlama dilleri ile programlanmaktadır [17]. Raspberry'e yazılan yazılımın aktarılması; TTL seri kabloyla bağlantı, SSH ile bağlantı ve VNC ile uzaktan bağlantı kurularak aktarılabilir [18,19]. Rasperry'nin programlanmasında en çok kullanılan dil Python'dır. Python, Raspberry Pi üzerinde programlama için ideal bir seçenek sunar [20]. Python'un etkin kaynak kullanımı, performans

optimizasyonu sağlarken, gelişmiş veri işleme yetenekleri Raspberry Pi projelerinde güçlü analiz ve kontrol imkanı sunar. Ayrıca, aktif topluluk desteği ve modüler yapısıyla harici bileşenlerin entegrasyonu kolaylaştırır, projelerin hızlı bir şekilde geliştirilmesini sağlar [21]. Fotoğraf makineleri ve kameralar gibi cihazlardan elde edilen dijital görüntülerin, bilgisayar yazılımları ile işlenmesi veya analiz edilmesi, görüntü işleme olarak tanımlanır[22]. Srigrarom vd. (2015), çalışmasında dijital kamera kullanarak robotik kuş uçuşunun çarpınma hareketini taklit eden bir ornitopter prototipi geliştirilmiş ve farklı kanat tasarımlarının kaldırma ve itme gücü oluşturma özellikleri değerlendirmiştir [23]. Bermudez (2009) çalışmasında, optik akış fizibilitesini değerlendirmek için ornitopter gövdesi kamera, CPU modülü, pil ve görüntü işleme kartı ile kablosuz arayüzü ile 10 gr bir robot casus kuşu donatılmıştır [24].

Bir iç mekan kanat çırpan uçağı kontrol etmek için optik akışın fizibilitesini değerlendirmek amacıyla, ticari olarak temin edilebilen 7 gram ağırlığındaki bir ornitopter gövdesi, yerleşik bir kamera, 2.5 gram ağırlığında bir CPU modülü ve 2.6 gramlık bir pil ile donatılmıştır

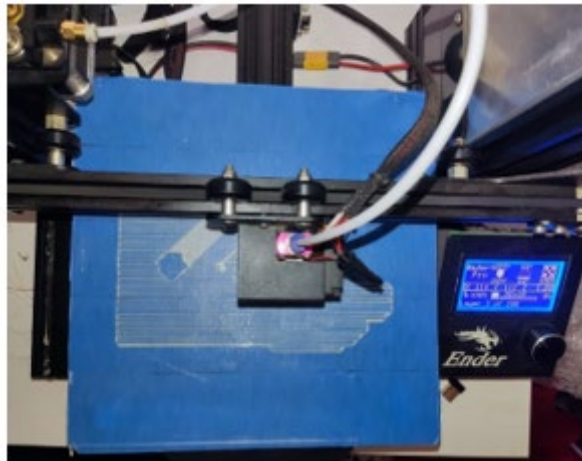
Çalışma, mekanik sistem tasarımı, elektrik-elektronik sistem tasarımı ve kontrol yazılımı gibi temel bileşenleri kapsar. Robotik kuşun mekanik tasarımı ve robotik kuşun aerodinamik özelliklerini maksimize ederek optimal uçuş performansı sağlamak amacıyla Solidworks yazılımları ile modellenmiş ve 3D yazıcı (FDM) ile üretilmiştir. Elektrik-elektronik sistem tasarımı ise, kuşun gözetleme ve kontrol yeteneklerini artırmak üzere Raspberry Pi 4 gibi güçlü bir bilgisayar, WiFi Model B kamera, fırçasız motorlar ve servo motorlar gibi yüksek teknoloji bileşenler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kontrol yazılımı ise, kuşun otonom ya da uzaktan kumanda ile yönetilmesini sağlayacak şekilde Python programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Elde edilen bulgular literatür ile kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

2.1.1. FDM 3D yazıcı (FDM 3D printer)

Çalışmada, Şekil 1’de görüldüğü gibi Polilaktik Asit (PLA) malzemeden açık kaynaklı FDM tipi yazıcı kullanılarak üretilen numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Tablo 1’de 3 boyutlu yazıcının teknik özellikleri ve sabit parametreleri sunulmaktadır. Ayrıca Tablo 2’de PLA filamentin teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 1: Açık kaynak kodlu Creality Ender 3 Pro FDM Yazıcı (Open source Creality Ender 3 Pro FDM Printer)

Tablo 1. 3B Baskı Yazıcı Özellikleri (3D Printer Features)

İsim	Birim	Boyutlar
İnşa Alanı	Mm	220x220x250
Katman kalınlığı	Mikron	18
Malzeme		PLA
Baskı Teknolojisi		Fused filament fabrication (FFF)
Filament çapı	Mm	1.75
Nozul Çapı	Mm	0,40
İmalat Boyutları	Mm	220x220x250 mm
İnşa Tabla Sıcaklığı	°C	80°C heated glass build plate (max)
Nozzle Sıcaklığı	°C	225°C
Cihaz Boyutları	mm	440x440x465 mm

Tablo 2. PLA Filamentin Özellikleri (Properties of PLA Filament)

Printing temperature (°C)	Density (g/cm ³)	Distortion temperature (°C,0.45 MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Bending Strength (MPa)	Impact resistance (kJ/m ²)
205-225	1.24	52	60	29	87	7

2.1.2. Fırçasız DC motor ve sürücüleri (Brushless DC motors and drivers)

Elektrikli hız kontrol cihazı (ESC), fırçasız DC motorun hızını kontrol eden ve akımı düzenleyen elektronik kontrol cihazıdır. Çalışmada Skywalker 30A ESC (Elektronik Hız Kontrol Cihazı), elektrik motorlarının hızını kontrol etmek ve yönetmek için kullanılmıştır. Skywalker 30A ESC, 30 amperlik bir akım kapasitesine sahip olan bir modeldir. Çalışmada fırçasız DC motorun akım grafikleri incelendiğinde 30A ESC kullanımı uygun görülmüştür. ESC'ler, motorlara güç sağlayan LiPo (Lityum Polimer) veya diğer batarya türlerinden gelen elektrik sinyallerini alır ve bu sinyalleri motorun hızını kontrol etmek için düzenlenmiş bir şekilde motorun üzerine aktarır.

LiPo (Lityum Polimer) pil, elektronik cihazlar için güç kaynağı sağlayan bir tür bataryadır. LiPo piller, hafif, yüksek enerji yoğunluğuna sahip ve yüksek deşarj oranlarına ulaşabilen batarya teknolojisidir. Bu özellikler, drone'lar, uzaktan kumandalı araçlar, RC uçaklar ve diğer taşınabilir elektronik cihazlar gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmalarını sağlamaktadır. Çalışmada, Leopard Power 1000 mAh 7.4V 2S 25C marka modelli 7.4 volt nominal gerilimde çalışan ve 2 hücreden oluşan (2S), 25C deşarj oranına sahip ve 1000 mAh akım şarj kapasiteye sahip LiPo pil kullanılmıştır. Fırçasız DA motorlar çok yüksek rpm ile ulaştıklarından dolayı doğru enerji LiPo pil ile çalışmalarını gerekmektedir.

A2212 model1400KV teknik özelliklerle sahip fırçasız DC Motoru, drone, ornithopter ve uzaktan kumandalı hava araçları için özel olarak tasarlanmış bir fırçasız elektrik motorudur. Model numarası A2212 ve 1400KV değerine sahiptir. "KV" değeri, her volt başına motorun dönüş hızını RPM cinsinden ifade eder. Bu motor, yüksek manevra kabiliyeti ve hız için tercih edilmiştir. Özellikle, Leopard Power 1000 mAh 7.4V 2S 25C LiPo pil ve Skywalker 30A ESC gibi komponentlerle kullanılarak, senkron bir birliktelik sunarak güç ihtiyacını karşılar ve hızını kontrol eder. A2212 1400KV Drone Motoru gibi fırçasız DC motorlar, genellikle Lipo piller ve uygun ESC'lerle güçlendirilir, bu da hava araçlarının performansını artırır. Bununla birlikte, mini servolar da kanatçıkların veya kuyrukların hareketini sağlamak için kullanılır.

Mini servo motorlar, genellikle küçük boyutlarda ve hassas kontrol gerektiren uygulamalar için tasarlanmış motorlardır. Bu motorlar; RC araçlar, robotlar, dronelar, model uçaklar gibi uzaktan kontrollü projelerde yaygın olarak kullanılır. Mini servo motorlar kuyruk, kanat, atış hareketlerini hassas bir şekilde kontrol etmek için idealdir. Genellikle 4.8V ile 6V arasında çalışırlar, bu da Leopard Power LiPo pillerinin sağladığı uygun güç seviyesine uygundur. Mini servo motorlar, PWM (Pulse Width Modulation - Darbe Genişliği Modülasyonu) sinyalleriyle kontrol edilir. Bu sayede mikrodenetleyiciler

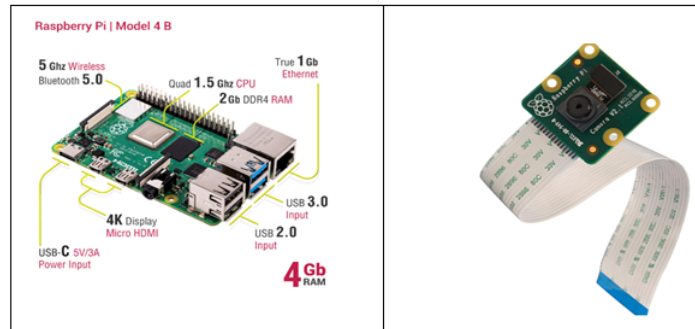
veya Raspberry Pi gibi cihazlar tarafından sağlanan darbe genişliği, motorun belirli bir açı veya konuma hassas bir şekilde hareket etmesini sağlar. Şekil 2’de fırçasız DA motorları ve bileşenlerin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2. Fırçasız DA Motor ve Sürücülerini a) ESC, b) LiPo pil, c) Fırçasız DA motoru, d) Mini servo motor görüntüleri (Brushless DC Motor and Drivers a) ESC, b) LiPo battery, c) Brushless DC motor, d) Mini servo motor images)

2.1.3. Raspberry Pi ve Cihaz Kontrol Yazılımı (Raspberry Pi and Device Control Software)

Şekil 3’te gösterildiği gibi Raspberry Pi 4 Model B, geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından desteklenen ve birçok projeye uygun olan popüler bir mikro bilgisayardır. Bu cihaz, dört çekirdekli ARM Cortex-A72 CPU’ya sahiptir ve 2GB, 4GB veya 8GB RAM seçenekleri sunar. Ayrıca çift ekran desteği için iki adet mikro HDMI portu, Gigabit Ethernet, USB portları ve dahili Wi-Fi ve Bluetooth desteği gibi özellikler sunar. Raspberry Pi 4 Model B’ye düşük maliyetle yüksek çözünürlüklü görüntü ve video kaydı yapabilmeyi sağlayan bir modül kamera entegre edilmiştir. Raspberry Pi 4 Model B’nin Wi-Fi özelliği ve bir kamera modülü kullanılarak görüntüleme ve hedef tespit sistemi oluşturulmuştur. Kamera modülü, Raspberry Pi tarafından kontrol edilerek alınan görüntüleri işlemek ve bir kontrol merkezine iletmek için Wi-Fi bağlantısını kullanmıştır. Bu sistem, Raspberry Pi’nin sağladığı işlem gücü ve bağlantı özellikleri sayesinde esnek ve özelleştirilebilir bir yapıya sahiptir. Görüntüler, Raspberry Pi tarafından işlenerek belirli bir hedef tespit algoritması kullanılarak analiz edilmiştir. Kontrol merkezi, hedef tespiti sonuçlarını alarak gerekli aksiyonları veya bildirimleri gerçekleştirerek ilgili yerlere veri akışı sağlamıştır.

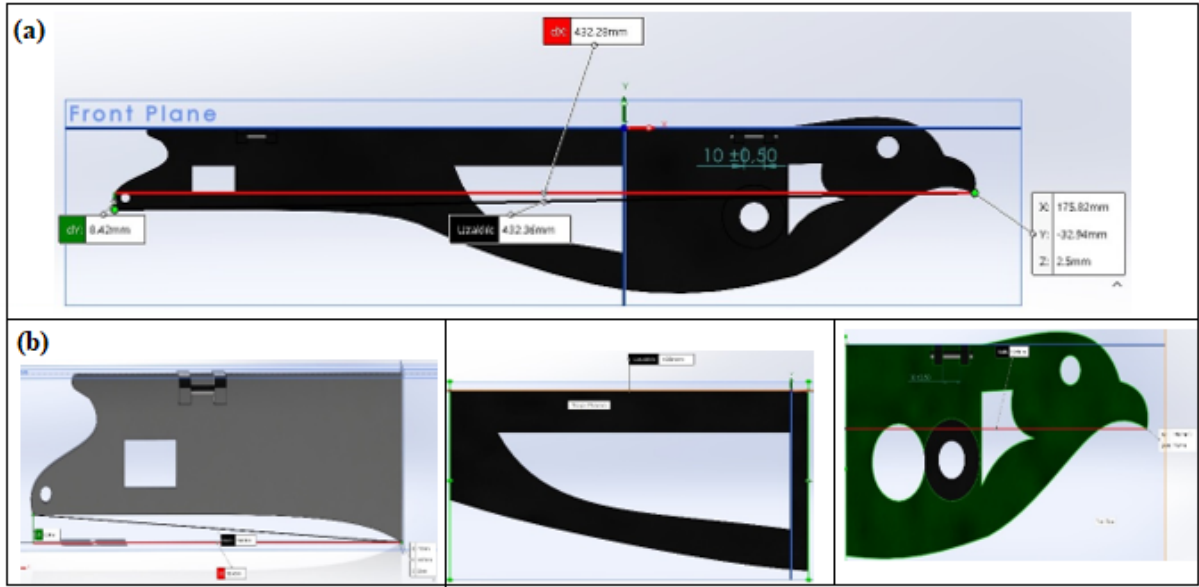


Şekil 3. Raspberry Pi ve Cihaz Kontrol Yazılımı (a) Raspberry Pi 4 Model B (b) Wifi Modül Kamera (Raspberry Pi and Device Control Software (a) Raspberry Pi 4 Model B (b) Wifi Module Camera)

2.2. Metot (Method)

2.2.1. Mekanik sistem tasarımı ve imalatı (Mechanical system design and manufacturing)

Çalışmada tüm materyalleri üzerinde barındıracak ve robotik casus kuşun yükünü taşıyacak şekilde tasarlanan ana gövdenin mekanik tasarımı Solidworks programı kullanılarak Şekil 4.a’da gösterildiği gibi 3 boyutlu modelleme yapılarak çizilmiştir. Şekil 4.b’de teknik çizimde gösterildiği gibi robotik casus kuş prototipinin ana gövdesi yazıcı tablasının sınırlarından ötürü üçe bölünerek imal edilmiştir. Robotik casus kuşun kafa kısmı 170.48 mm, orta kısmı 105 mm, kuyruk kısmı ise 156.46 mm olacak şekilde imal edilmiştir.



Şekil 4. a) Kuşun ana gövde görüntüsü (main body of the bird) b) Kuyruk kısmı, Orta kısmı, Baş kısmı (Tail part, Middle part, Head part)

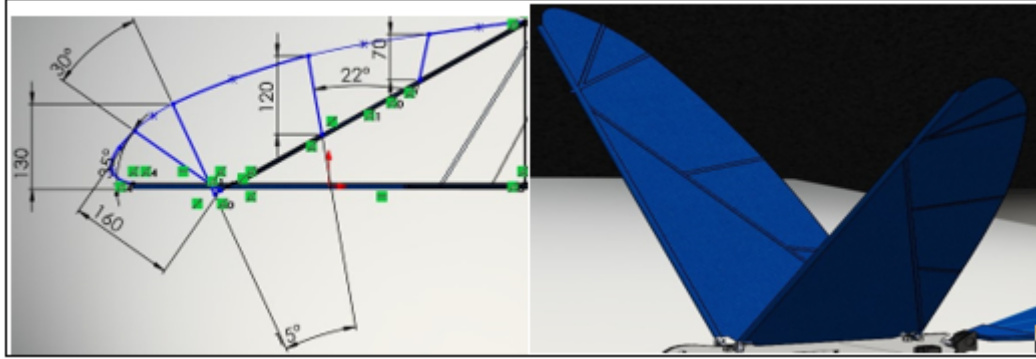
Ana gövde mekanik ve elektronik parçaların yükünü taşıyacak kalınlıkta imal edilmiştir. Kuşun baş kısmında bulunan büyük çembere A2212 1400 KV fırçasız DA motoru yerleştirilmiştir. Motorun çapı 27.5 mm olduğu için gövdede açılan çemberin çapı da bu ölçüde açılmıştır. Motorun içine yerleştirileceği bu çember gövdenin diğer tarafına doğru çıkıntı yapmaktadır. Motorun tüm boyu 38 mm, mil uzunluğu ise 3.17 mm'dir. Motordan çıkan mile çark bağlanacağı için dışarı verilen çıkıntı tarafına motor sabitlenecektir ve diğer kısımdan mil görünecektir. Buna uygun olacak şekilde gövdenin et kalınlığı da hesaba katılıp dışarı çıkma payı verilmiştir. Yan taraftaki çembere ise rulman konularak kanata hareket verilmiştir. Böylece motorun miline bağlanan çark büyük çarkı çevirmiş olacaktır. Büyük çarka bağlı olan kanat bağlantı elemanları ve kranklar dişliden alınan hareketle kanatlara çırpma hareketi yapmış olacaktır. Bu hareketin her iki kanatta senkronize olarak yapılabilmesi için rulmanın içinden geçen krank kolu bağlantı elemanını hareket ettirmiş olması ve eş zamanlı olarak kanat çırpması sağlanmıştır. Göz tarafındaki boşluğa ise görüntü işleme yapılabilmesi için Wifi Model B kamera takılmıştır.

Orta gövde kısmına ise Raspberry pi 4 ve güç kaynağı olan Lipo pil bağlanmıştır. Bağlanan parçalar ağırlık denge merkezini bozmaması için karşılıklı olarak montaj edilmiştir. Kuşun kuyruk kısmı gövdesinde uç kısmında ise motor bağlantısı yapılmıştır. Kuyruğun gövdeye bağlanabilmesi ve aerodinamik olarak uçuşa olanak sağlaması adına servo motor ve aparatı takılmıştır. Bu aparat alttan gövdedeki deliğe, üstten ise diğer servo motora sabitlenmiştir. Servo motor kuyruğa sağ sol ve yukarı aşağı hareket vererek havadayken manevra kabiliyeti sağlamış olacaktır. Servo motor aparatı ise gövdeyle kuyruğu birbirine bağlayacak ve içinde servo motoru bulunduracaktır. Aparata bağlanan servo motor yukarı aşağı hareket, aparatlı servo motor ise sağa sola hareket verecektir. Şekil 5'te robotik casus kuşun ana gövdenin FDM 3B yazıcı imalat sonrası montaj edilmiş görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5. Ana gövdenin imalat sonrası görüntüsü (Post-manufacturing image of the main body)

Ana gövdenin tasarımı ve imalatı tamamlandıktan sonra Şekil 6’da gösterildiği gibi robotik casusu kuşu uçuracak olan kanatların tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Robotik kuşun tüm mekanik ve elektronik parçalarının montajı yapıldıktan sonraki ağırlığı 535 gramdır. Bu ağırlığı kaldırabilecek kapasitede motor ve dişliler hesaplandıktan sonra kanat açıklığının ne kadar olacağına hesabı yapılmıştır. Kanatların kaldırması alanlarıyla orantılıdır, bu nedenle ağırlık ne kadar fazla olursa kanat alanı o kadar büyük olmalıdır.



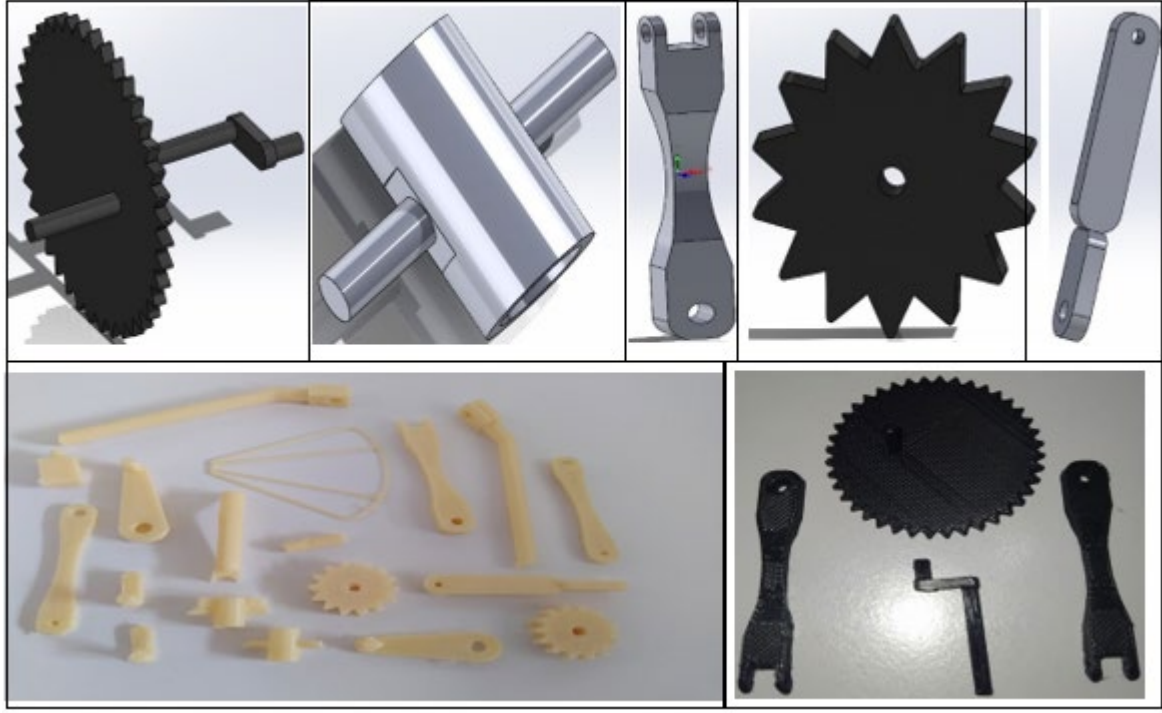
Şekil 6. Kanat parçası (Wing part)

Robotik kuşun ağırlık ve fırçasız DA motorun RPM’i ve buna uygun dişlilerin hepsi hesaba katılınca robotik kuşu uçuracak kanat açıklığının her kanat için 646.74 mm olması gerektiği hesaplanmıştır. Kanatın uzunluğunun 248.5 mm olması gerektiği saptanmıştır. Robotik kuşun kanatlarının gövdeye sabitlenmesi için ise çıkarılıp takılabilen pim mekanizması tasarlanmıştır. Baş ve kuyruk kısmının merkezlerinin arası buna göre hesaplanarak 248.5 mm olacak şekilde imal edilmiştir. Şekil 7’de kanatın açıklığını sağlayan ve çarktan gelen bağlantı elemanı gösterilmiştir. Kanatın orta kısımlarının hava akışına dayanabilecek kadar sağlam olması için destek parçaları atılmıştır.



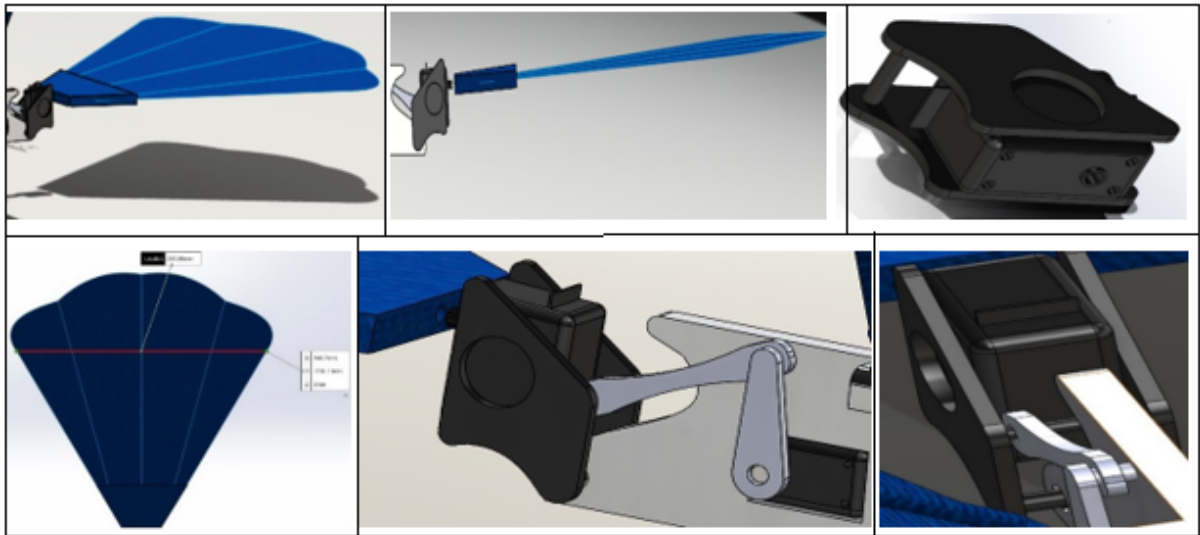
Şekil 7. Kanat parçasının imalat sonrası görüntüsü (Image of the wing part after manufacturing)

Ana gövde ve kanatların tasarımı ve imalatı gerçekleştirildikten sonra diğer mekanik bileşenlerine geçilmiştir. Şekil 8’de gösterildiği gibi kanadı çevirecek olan motorun miline bağlı olan dişli, bu dişliden alınan hareketi kanatlara aktaracak olan büyük dişli, kanatın kanat açıklığı iskeletine bağlı olan parçaya hareketin iletilmesini sağlayan krank ve bağlantı parçalarının tasarımı Solidworks programından yapılarak FDM 3B yazıcı ile imal edilmiştir.



Şekil 8. Dişli ve bağlantı elemanları tasarım ve imalat sonrası görüntüleri (Design and post-manufacturing images of gears and fasteners)

Robotik kuşun gövdesi, kanadı ve diğer mekanik aksamları tasarlanıp imal edildikten sonra Şekil 9’da gösterildiği gibi havada aerodinamik akışa karşı sağa sola ve yukarı aşağı hareketi sağlayacak olan kuyruğun imal edilmiştir. Kuyruk parçası gövdeye servo motorun bağlantı elemanı ile bağlanarak servo motor ile hareket ettirilmiştir. Alt kısımdan ise kuyruk gövdesindeki deliğe montajı yapılmıştır. Kuyruğun iç kısmının daha sağlam olması ve hava akışına dayanabilmesi için arasına destek parçaları atılmıştır. Uzaktan kontrol ile sağa istenirse kuyruk sağa, sola istenirse kuyruk sola hareket ettirilerek robotik kuşun kontrolü yapılacaktır.



Şekil 9. Kuyruk, servo motor bağlantı parçaları ve aparatı tasarım (Tail, servo motor fittings and apparatus design)

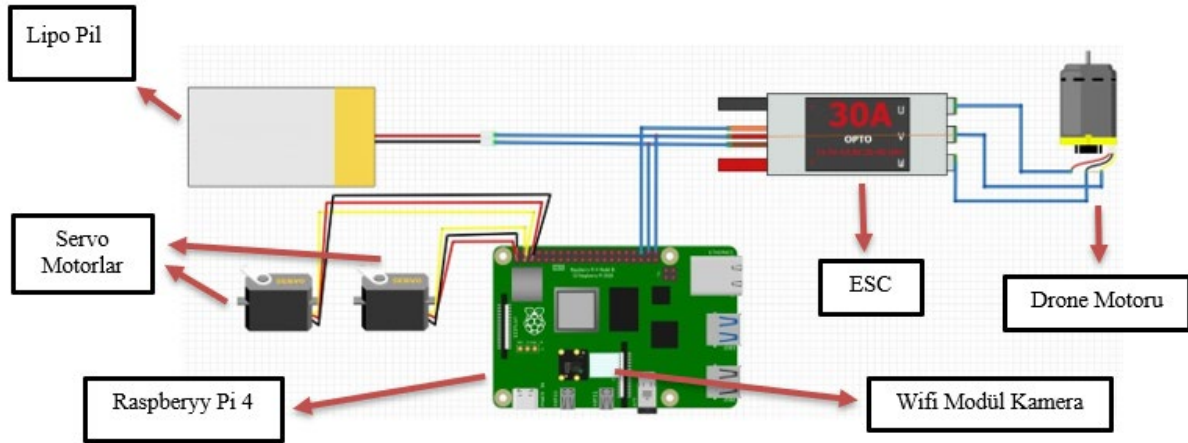
Robotik kuşun FDM 3B yazıcı ile imal edilmiş görüntüsü Şekil 10’da verilmiştir. Böylece robotik kuşun gövdesi, kanatları, bağlantı elemanları, kuyruk kısmı ve kanadı döndüren dişliler vb. birçok parçanın birleştirilerek robotik casus kuşun mekanik anlamda imalatı tamamlanmıştır.



Şekil 10. Mekanik kısmın bitmiş hali (Finished version of the mechanical part)

2.2.2. Elektrik-elektronik sistem tasarımı (Electrical-electronic system design)

Çalışmada LiPo pil, servo motor, Raspberry Pi 4, ESC, fırçasız DA motor ve Wifi modül kameradan oluşan elektrik elektronik bağlantıları devre şema çizimi Şekil 11’de gösterilmiştir.



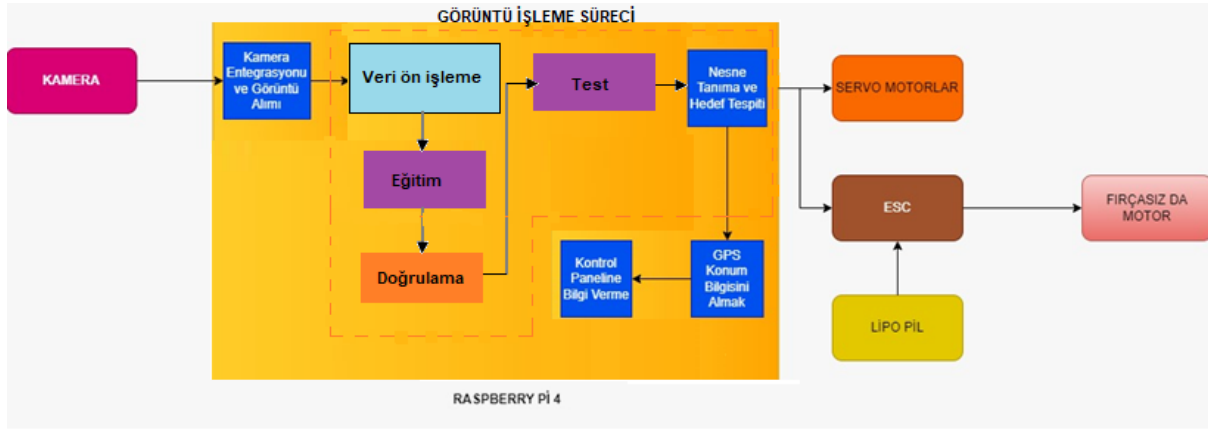
Şekil 11. Elektrik-elektronik devre şeması (Electrical-electronic circuit diagram)

Robotik casus kuşun baş kısmında bulunan göz deliğine Raspberry’ye uyumlu olan Wifi Model B kamera montajı gerçekleştirilmiştir. Kamera sayesinde havada uçan robotik kuş görüntü verisi olarak kontrol ekranına yüz taraması yapıp hedefi belirtmesini sağlamıştır. Raspberry’den bilgisayar üzerinden sinyal gönderilerek kanat çırpma hareketi gerçekleştirilmiştir.

2.2.3. Cihaz kontrol yazılımı (Device control software)

Çalışmada robotik casus kuşun kontrolü için Python yazılım programı kullanılmıştır. Python programında yazılan kod Raspberry ile uyumlu bir şekilde çalıştırılmıştır. Python yazılım programı aracılığıyla yazılan program robotik casus kuşun yüz taraması yaparak hedefi gördüğünde kontrol ekranında uyarı vermesidir. Böylelikle dikkat çekmeden kullanılacak robotik casus kuş hedefleri tespit etmiş olacaktır. Çalışmada geliştirilen özgün yazılım ile robotik casus kuşun tehlikeli nesnelere ve tanımlanamayan yüzleri tespit etmesini sağlayan bir görüntü işleme sistemi ve otomatik navigasyon mekanizmasıdır.

Robotik casus kuşun kuyruğuna uçuş sırasında hareket verecek mini servo motorlara Raspberry üzerindeki pinlerden sinyal gönderilmiştir. Giden sinyal üzerine servo motora 45 derecelik açıyla hareket yapmıştır. 45 derecelik hareketi yaptıktan sonra sinyal verilerek tekrar eski konumuna gelmekte ve bir daha sinyal verildiğinde ters yönde 45 derecelik hareket yapmış olacaktır. Böylece periyodik olarak robotik casus kuş kuyruk manevra hareketi gerçekleştirilmiştir. Şekil 12’de çalışmanın iş akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 12. İş akış diyagramı (Workflow diagram)

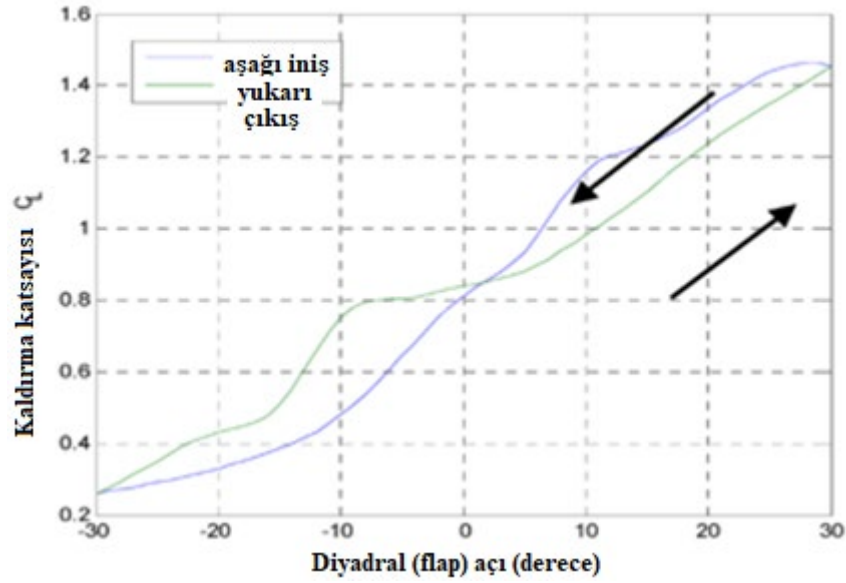
Şekil 13'te gösterildiği gibi robotik casus kuşun tanımlanmayan yüzleri tespit eden görüntü işleme yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Burada daha önceki veri seti fotoğrafların sayısal formata çevirip veri seti oluşturulmuştur. Daha önce eğitilmiş veri seti ile robotik casus kuş ile çekilen görüntüde tehlikeli nesnelere ve yüzleri tespit edilmiştir. Model test sonucunda eğitim veri setinden fotoğrafları çekerek tespit ettiği hedefin doğru olup olmadığını test eder. Eğer görüntüde herhangi bir tehlike algılanırsa, sistem kullanıcıya uyarı vererek robotik casus kuş olay yerinden hızlıca uzaklaşacaktır.



Şekil 13. Görüntü işleme teknikleri ile yüz tespiti (Face detection with image processing techniques)

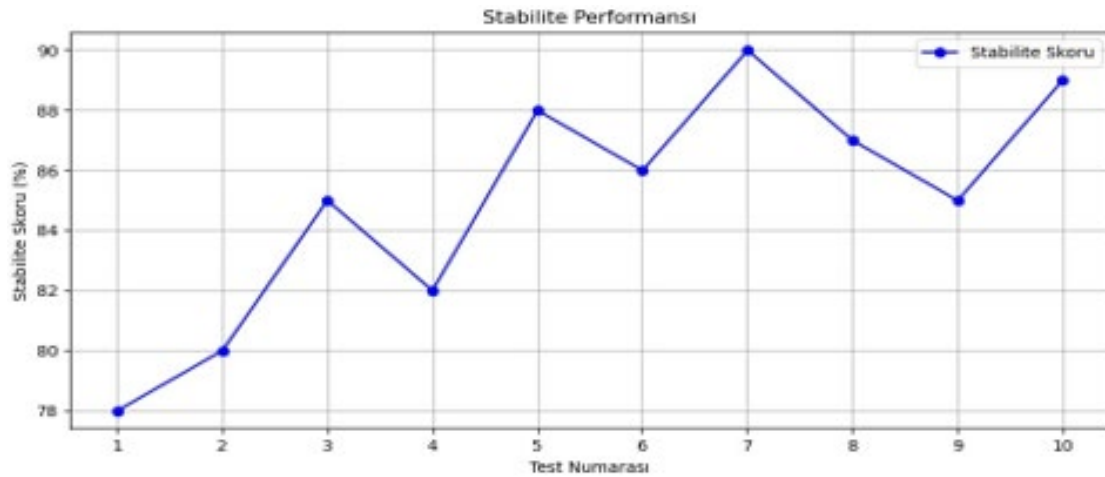
3. Araştırma Bulguları (Research Findings)

Çalışmada Robotik Casus Kuş Tasarımı ve İmalatı gerçekleştirilmiştir. Robotik kuş havalandığında Wifi Modül Kamerasından görüntü alarak kontrol ekranına hedef tespiti yapmıştır. Mekanik, Elektrik-Elektronik ve Cihaz Kontrolü aşamalarının bitirilmesinin ardından Robotik Casus Kuşun yapılan uçuş testlerinden stabil uçuşları gerçekleştirme, gözetim görüntü kalitesi ve skor değerleri, doğal ortamlara uyum sağlama, pil tüketim performans testlerinden elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir. Robotik casus kuşun kanadın aşağı yukarı hareketi sırasında elde edilen kaldırma katsayısı değerleri Şekil 13'te verilmiştir.



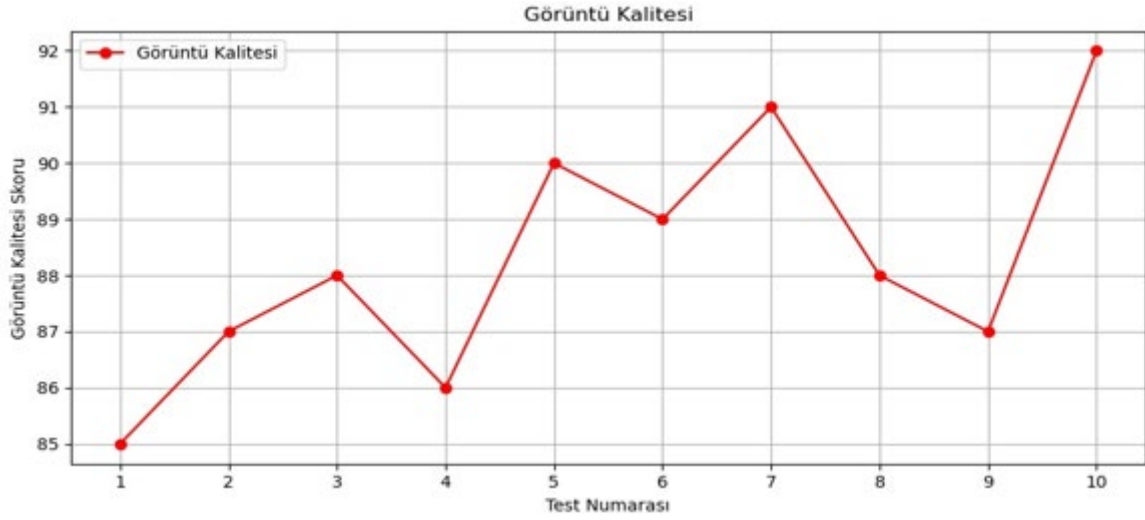
Şekil 13. Kanadın aşağı ve yukarı vuruş hareketi anında kaldırma katsayısı (Lift coefficient at the moment of up and down stroke movement of the wing)

Robotik casus kuşun kanadın 10 adet performans test aşamasında havada kalma yüzdelik değer olarak stabilite performansı Şekil 14’te verilmiştir.



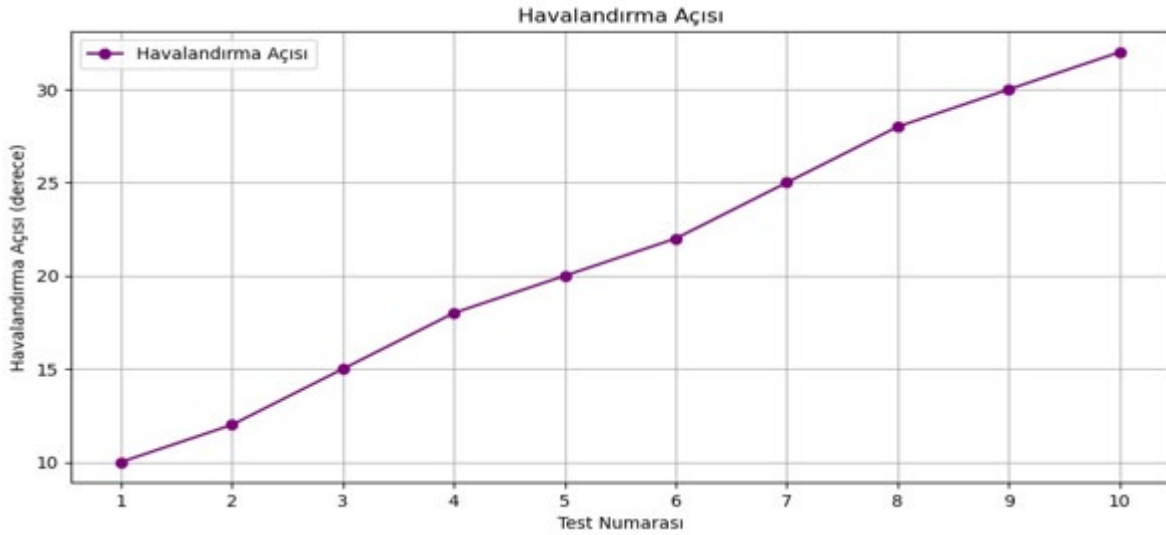
Şekil 14. 10 adet test sonucunda kuşun havadaki stabilite performansı (Stability performance of the bird in the air as a result of 10 tests)

Robotik casus kuşun uçuş esnasında 10 adet performans test aşamasında kameradan alınan görüntülerin kalitesi ve skor değerleri Şekil 15’te verilmiştir.



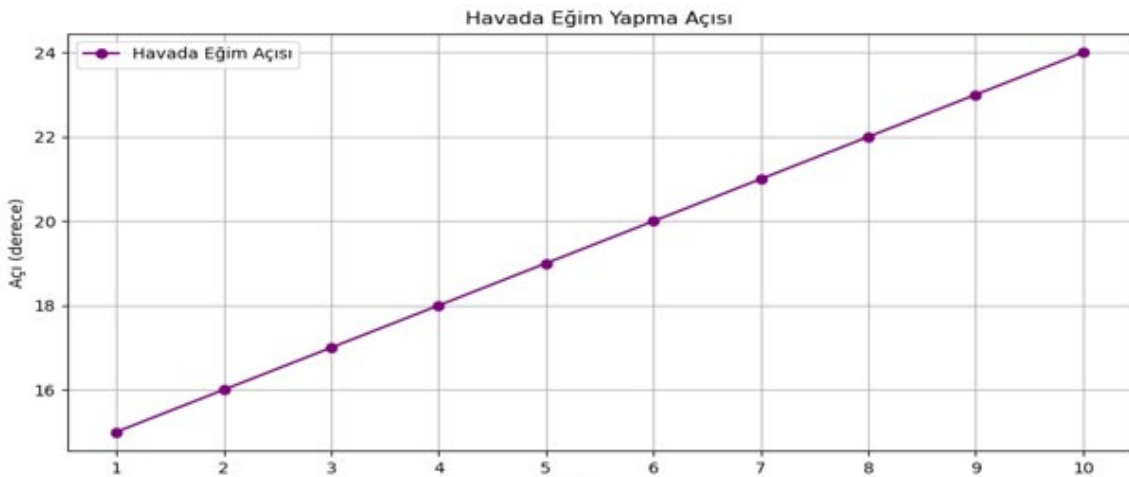
Şekil 15. Kameranın uçuş sırasında aldığı görüntü konsantrasyonu (Image concentration taken by the camera during flight)

Robotik casus kuşun uçuş esnasında 10 adet performans test aşamasında kanatların havalandırma açısı değerleri Şekil 16’da verilmiştir.



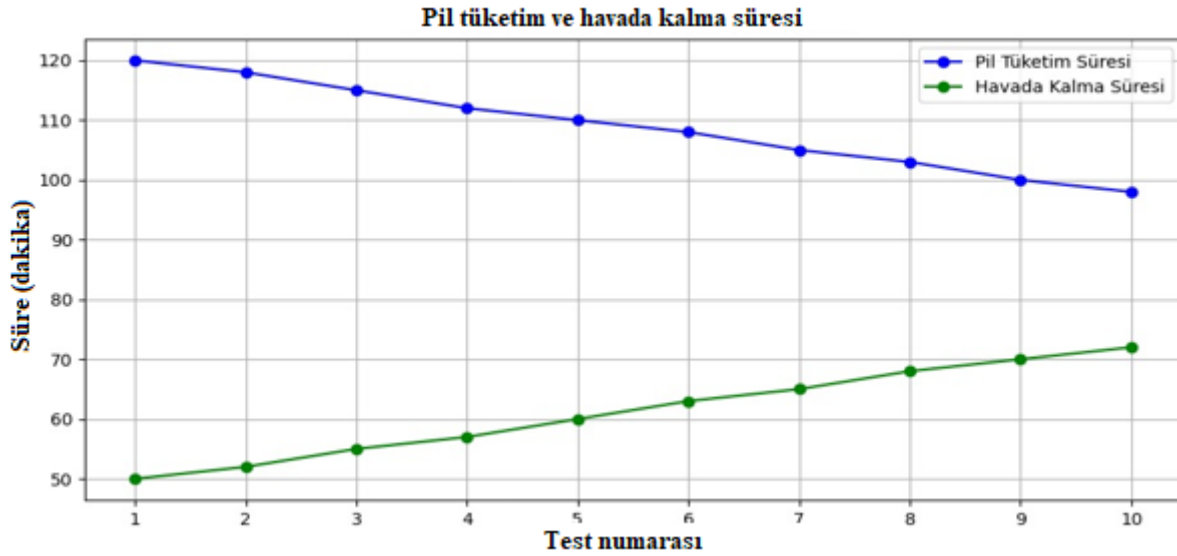
Şekil 16. Uçarken kanatın havalandırma açısı (Ventilation angle of the wing while flying)

Robotik casus kuşun uçuş esnasında manevra sırasında 10 adet performans test aşamasında sağa sola dönerken kanadın havada eğim yapma açısı değerleri Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 17. Manevra sırasında sağa sola dönerken kanadın havada eğim yapma açısı

Robotik casus kuşun uçuş esnasında 10 adet performans test aşamasında pil tüketim miktarı değerleri Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. Uçuş esnasında pil tüketim miktarı (Battery consumption during flight)

4. Tartışma ve Sonuç (Results and Discussion)

Robotik Casus Kuş Tasarımı ve İmalatı yapılan Robotik Kuş prototipinin gövde, kuyruk, çark ve bağlantı elemanları imalatı 3B Yazıcı ile Raspberry Pi 4 ile de cihaz kontrol yazılımı yapılan çalışma ile sınır ötesi operasyonlarda kullanılabilir bir hedef tespit sistemi yapılabilmektedir. Bu hedef tespit sistemi Raspberry Pi 4 ile yapılmaktadır. Böylece ortaöğretim ve yükseköğretim öğrencilerine yönelik eğitim amaçlı kullanılabilirliği gösterilmiştir. Uçuş aşamasında kameranın aldığı görüntüler kontrol ekranına verilerek başarılı bir şekilde takip yapılabilmektedir. Böylece askeri personel çıkarmadan istenilen şekilde hedef tespit ve takibi yapılabilmektedir. Gerçekleştirilen Robotik Casus Kuş prototipinde 3B baskı teknolojisinin kullanımı ile öğrencilerde 3B düşünebilme kabiliyeti, analitik düşünme becerilerin geliştirilmesi ve proje tabanlı öğrenim kazanımları elde edilmiştir.

Bundan sonraki yapılacak olan İHA, Drone ve Ornihopter projelerinde yapılan çalışmamız diğerlerine bir yol açacaktır. Robotik Casus Kuşun kamufler olup gerçek bir kuşu andırması sınırlarımızı korumak için bir gözetim ve izleme sistemi yapılabileceğini göstermiştir. Robotik Casus Kuş İHA/SİHA ve dronlara göre daha sessiz çalışarak daha iyi kamufler olabilmektedir. Buda diğer benzeri projelerden farklı ve operasyonlarda kullanılabilirliğini göstermiştir. Robotik casus kuşun uçuş kontrol algoritmalarının optimizasyonu, stabil uçuşlar için kritik önem taşımaktadır. Yapılacak ilerleyen çalışmalarda, farklı hava koşullarında ve değişken rüzgâr şartlarında daha güvenilir performans için algoritmaların daha fazla geliştirilmesi gerekmektedir. Robotik casus kuşun operasyonel menzilin genişletmek, gözetim ve keşif operasyonlarında etkinliği artırabilir. Kuşun doğal ortamlara uyum sağlaması olumlu bir özellik olsa da farklı iklim ve çevresel koşullar göz önünde bulundurulmalıdır. İleriye yönelik olarak, küçük boyutlu kameraların ve enerji depolama çözümlerinin daha fazla geliştirilmesi, kuşun performansını ve görev süresini artırabilir.

5. Teşekkür (Acknowledgements)

Çalışma 1919B012304230 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK’a teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar (References)

- [1] R. Autar, J. Walker, Design and optimization of flapping wing mechanisms, Journal of Aircraft 44 (4) (2007) 1155–1165.
- [2] C. Akan, P.C. Murphy, Development of a flapping wing micro air vehicle: From concept to demonstration, Journal of Field Robotics 27 (3) (2010) 335–347.

- [3] W. Shyy, H. Aono, C.K. Kang, Recent progress in flapping wing aerodynamics and aeroelasticity, *Progress in Aerospace Sciences* 44 (3) (2008) 214–232.
- [4] Z.J. Wang, Aerodynamics of flapping flight with application to insects and micro air vehicles, *Journal of Fluids and Structures* 20 (4) (2005) 491–509.
- [5] J.M. Perez, L.G. Torres, P.H. Oosthuizen, Design and construction of an ornithopter, *IEEE Transactions on Robotics* 31 (2) (2015) 432–445.
- [6] P. Mahouti, 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ile bir mikroşerit yama antenin maliyet etkin üretimi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 7 (3) (2019) 473–479.
- [7] N. Hopkinson, R. Hague, P. Dickens, Introduction to rapid manufacturing, in: *Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age*, first ed., John Wiley & Sons, Hoboken, 2006, pp. 1–2.
- [8] G.N. Levy, R. Schindel, J.P. Kruth, Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (im) technologies: State of the art and future perspectives, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 52 (2) (2003) 589–609.
- [9] J.P. Kruth, M.C. Leu, T. Nakagawa, Progress in additive manufacturing and rapid prototyping, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 47 (2) (1998) 525–540.
- [10] E.C. Santos, M. Shiomi, K. Osakada, T. Laoui, Rapid manufacturing of metal components by laser forming, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 46 (12) (2006) 1459–1468.
- [11] E. Balasubramanian, G. Surendar, L.J. Yang, W.C. Wang, C.Y. Jen, S. Salunkhe, Fabrication of flapping wing mechanism using various polymer-based 3D printing techniques and aerodynamic performance evaluation, *Journal of Materials Engineering and Performance* 32 (4) (2023) 1856–1873.
- [12] S. Ganesan, B. Esakki, L.J. Yang, D. Rajamani, M. Silambarsan, K. Raghunath, Fabrication of flapping-wing micromechanism assembly using selective laser melting and aerodynamic performance measures, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications* 14644207211035422 (2021).
- [13] A. Özlek, İnsansız hava araçlarında elektro-optik sistem seçimi için bütünlük kaba küme tabanlı BWM-COPRAS yaklaşımı, Master's thesis, Necmettin Erbakan University, Turkey, 2023.
- [14] G.B.A. Ronconi, T.J. Batista, V. Merola, The utilization of unmanned aerial vehicles (UAV) for military action in foreign airspace, *UFRGS Model United Nations Journal* 2 (2014) 137–180.
- [15] M. Peker, B. İnci, E. Musaoğlu, H. Çobanoğlu, N. Kocakır, Ö. Karademir, İnsan sayma sistemi için gömülü cihazlarda derin öğrenme mimarilerinin performans analizi.
- [16] M. Piras, N. Grasso, A. Abdul Jabbar, UAV photogrammetric solution using a Raspberry Pi camera module and smart devices: Test and results, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 42 (2017) 289–296.
- [17] T. Kara, A. Yönetken, Robot arm design and control with Raspberry Pi.
- [18] D. Molloy, *Exploring Raspberry Pi: Interfacing to the Real World with Embedded Linux*, John Wiley & Sons, 2016.
- [19] N. Djema, Security and home automation based on Raspberry Pi, Arduino Uno and Node MCU.
- [20] R. Krauss, Real-time Python: Recent advances in the Raspberry Pi plus Arduino real-time control approach, in: *2020 American Control Conference (ACC), IEEE, 2020*, pp. 2088–2093.
- [21] J.Á. Ariza, S.G. Gil, RaspyLab: A low-cost remote laboratory to learn programming and physical computing through Python and Raspberry Pi, *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje* 17 (2) (2022) 140–149.
- [22] B. Aksoy, M. Yücel, H. Sayın, N. Aydın, Ö. Ekrem, Hurma meyvesindeki kalite kontrol işlemlerinin yapay zeka ile tahminlenmesi, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 9 (4) (2023) 70–81.

- [23] S. Srigrarom, W.L. Chan, Ornithopter type flapping wings for autonomous micro air vehicles, *Aerospace* 2 (2) (2015) 235–278.
- [24] F.G. Bermudez, R. Fearing, Optical flow on a flapping wing robot, in: 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IEEE, 2009, pp. 5027–5032.