

Kritik görevlerin gözetimini yapan yer ve hava sistemlerinin tasarım, analiz ve uygulaması: Örnek sistem orman yangını

Design, analysis, and application of ground and air systems monitoring critical missions: Example system forest fire

Hikmetcan ÖZCAN^{1*}, Enes KESEN¹, Suhap ŞAHİN¹

¹Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye.
hikmetcan.ozcan@kocaeli.edu.tr, eneskesenn@gmail.com, suhapsahin@kocaeli.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 26.06.2023
Kabul Tarihi/Accepted: 26.05.2024

Düzeltilme Tarihi/Revision: 06.04.2024

doi: 10.5505/pajes.2024.90167
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışma, orman yangınlarıyla mücadele için literatürde sunulan çeşitli planlama stratejileri, haberleşme ağı sistemleri ve yangın söndürme teknolojilerini analiz ederken, bu sistemlerin gerçek dünya koşullarında sınanma ve değerlendirilme ihtiyacını ortaya koymaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda minimum gereklilikler tespit edilerek bir insansız hava aracı (İHA) tasarlanmış ve üretilmiştir. Tasarımın üç boyutlu katı modellenmesi SOLIDWORKS ve CATIA programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Orman yangınları gibi kritik görev süreçleri de dikkate alınarak İHA da bulunması gereken performans özellikleri; maksimum kalkış ağırlığı, menzil, uçuş süresi, seyir hızı, stall hızı, kanat açıklığı, uzunluk, iletişim mesafesi ve itki kullanılarak ANSYS analiz programında değerlendirilmiştir. İHA'nın inşası, bir lazer kesim makinesi ve tutkal kullanılarak, yapısal montaj yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. İHA'nın elektronik sistemleri için belirlenen gereklilikler doğrultusunda uçuş kontrol kartı ve güç kontrol kartının tasarımı yapılmış ve PCB üretimi gerçekleştirilmiştir. Alt elektronik birimler olarak ise uçuş kontrol birimi, görüntü işleme ve haberleşme birimi ve güç kontrol ve tahrik birimi entegre edilmiştir. Ayrıca İHA'nın sistem durum bilgisini gözlemlemek ve görevlendirmek için de bir yer kontrol istasyonu geliştirilmiştir. İHA'nın gerçek dünya koşullarında kritik görevlerdeki performansını değerlendirmek amacıyla bir orman yangını senaryosu için detaylı bir prosedür hazırlanmıştır. Senaryo sonucunda İHA tüm prosedürü tamamlamış ve kritik görevlerde başarılı olabileceğini kanıtlamıştır.

Anahtar kelimeler: Güç kontrol kartı, İnsansız hava aracı, Kablosuz haberleşme, Uçuş kontrol kartı

Abstract

While this study analyzes various planning strategies, communication network systems, and fire extinguishing technologies presented in the literature for combating forest fires, it reveals the need to test and evaluate these systems in real-world conditions. As a result of the literature review carried out in this context, an unmanned aerial vehicle (UAV) was designed and produced to determine the minimum requirements. Three-dimensional solid modeling of the design was performed using SOLIDWORKS and CATIA programs. Considering critical mission processes such as forest fires, the performance features of the UAV are maximum take-off weight, range, flight time, cruise speed, stall speed, wingspan, length, communication distance, and thrust were evaluated using the ANSYS analysis program. The construction of the UAV was carried out by structural assembly method, using a laser cutting machine and glue. In line with the requirements determined for the electronic systems of the UAV, the flight control card and power control card were designed, and PCB production was carried out. The flight control unit, image processing and communication unit, and power control and propulsion unit are integrated as sub-electronic units. In addition, a ground control station has been developed to observe the system status information of the UAV and to assign the UAV. A detailed procedure has been prepared for a forest fire scenario to evaluate the performance of the UAV in critical missions in real-world conditions. As a result of the scenario, the UAV has completed the entire procedure and has proven that it can be successful in critical missions.

Keywords: Power control board, Unmanned aerial vehicle, Wireless communication, Flight control board

1 Giriş

Ekolojik çevre için en yıkıcı felaketlerden bir olan orman yangınının kontrolü dünya devletleri tarafından gün geçtikçe daha fazla ilgi görmektedir [1]. Son yıllarda ormanlık alanlarda çok büyük yangınlar ortaya çıkmakta ve bu yangınların geleneksel yöntemlerle söndürmesi neredeyse imkânsız olmaktadır. Dolayısıyla itfaiyeciler, bu yangınları kontrol etmek ve izlemek için teknolojiye daha fazla yararlanmaktadırlar [2],[3]. Kontrol noktasından uzaktaki alanlarda ortaya çıkan büyük yangınlara müdahaledeki en büyük zorluklardan biri yangın alanlarının boyut ve görüntü bilgilerinin eksikliğidir [4]. Günümüzde ormanları izlemek için yüksek teknoloji araçları arasında ilk sırada insansız hava araçları gelmektedir. İHA teknolojisi hızlı bir şekilde gelişmekte ve hem askeri hem de sivil görevlerde kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bununla

birlikte coğrafi mekânsal veri elde etme ve değişiklikleri gözlemleme, mekânsal modelleme gibi çalışmalarda kullanılan en önemli araçlardan biri haline gelmiştir. Günümüzde İHA'ların çok yönlülük ve etkinlik özellikleri sayesinde tarımsal bakım, trafik gözetimi ve teslimat hizmetleri gibi özel ve ticari alanlarında kullanımı büyük ölçüde artmıştır [5]-[7]. İHA'nın havadan gözlem ve hareket kabiliyeti sebebiyle yüksek oranda zemin bilgisi alması daha kolaydır [8],[9]. İHA sistemleri alçak irtifa seyir ile hızlı ve kolay yönelimli hareket kabiliyetine sahiptir. Bunlarla beraber İHA'lar kara araçları tarafından kolay ulaşılamayan uzak ormanlarda erken teşhis ve orman yangınlarının değerlendirilmesi için yangın söndürme ekipleri adına değerli bir araçtır [10]. Son yıllarda özellikle İHA aracılığıyla yangınları tespit ve kontrol altına alma alanında yapılan birçok akademik çalışma bulunmaktadır. Xiwen Chen ve arkadaşları İHA'dan elde edilen RGB/IR resimlerinden oluşan veri seti ile yangın tespiti yapmışlardır. Çalışmadaki

*Yazışılan yazar/Corresponding author

RGB/IR resimlerinden alınan hızlı haritalama işlemi ve gerçek zamanlı yangın izleme yeteneği sayesinde yangın söndürmede başarılı sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir [10].

Tingjuin ve arkadaşları, büyük orman yangınlarında acil müdahale planlaması için çoklu İHA'ları kullanmışlardır. Bu İHA'lar arasında çarpışmayı önlemek için de algoritmalar geliştirmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, yangın müdahalesinde çarpışmaları engelleyebilen ve sürü İHA'lar arasında çoklu görevlerin atanabildiği başarılı bir sistem geliştirildiğini ifade etmişlerdir [11].

Hao Zhang ve arkadaşları orman yangınlarını tespit etmek için ormanda yangın için yüksek riskli noktalara çoklu, kablosuz temelli algılama sistemleri yerleştirmişlerdir. Geliştirdikleri İHA'nın görevi, bu sistemlerden veri toplamak ve yer istasyonuna iletmektir. Çalışmalarının sonucunda Elde ettikleri verileri analiz ederek yangını kontrol altına alabilmek için gerekli müdahale planını oluşturabildiklerini belirtmişlerdir [12].

Xiange Tian ve arkadaşları, yangına direk müdahale için bir polimer jel yangın bombasından bahsetmişlerdir. Tasarladıkları bomba ateş yangın bölgesine bırakıldığında ateşi söndürebilmek adına fayda sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu tasarımda dikkat ettikleri en kritik nokta İHA tarafından taşınabilecek yapıda olmasıdır [13].

Liyana Adila ve arkadaşlarının İHA'lar arası görüntü transferi için yeni bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistemde yer istasyonu ile iletişim halinde olan, yüksek rakımda uçan ve mobil baz istasyonu olarak görev yapan bir İHA'nın görüntüleme görevindeki İHA'lar ile haberleşerek tüm verileri aktarımının gerçekleşmesini sağlamışlardır [4].

Joshue ve arkadaşları, sensör cihazlarının yerleştirilemeyeceği kırsal orman yangınlarını söndürebilmek için müdahale planı geliştirmişlerdir. Bu plan, yangınla mücadele İHA'larından alınacak verilere göre hazırlandığını belirtmişlerdir. Müdahale planını hazırlarken yangının büyüklüğü, en yakın su alanlarının konum bilgileri, rüzgârın hızı ve yönünü ve yangını söndürebilmek için gerekli su ihtiyacı bilgilerini kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda orman yangınlarının kontrolü için çözüm önerileri sunduklarını belirtmişlerdir [14].

Önerdiğimiz sistem, literatürdeki diğer çalışmalardan önemli bir farkla ayrılır: Yangınlarla mücadelede kullanılacak varsayım ve tahminlere dayalı, henüz gerçek ortamda test edilmemiş algoritmalar geliştirmek yerine, geliştirdiğimiz algoritmaları gerçek dünya koşullarında deneme odaklıdır. İnsansız Hava Araçları ve yangınla mücadele alanındaki teorik literatür çalışmaları incelendiğinde yangında etkili olabilecek altı farklı görev alanı belirlenmiştir. Bunlar; yangın için çoklu İHA görevlendirme, görüntülerden yangın tespiti, yangın bilgi toplama sistemlerinden İHA aracılığı ile haberleşme, menzil ve bağlantı problemleri için İHA'lar arası görüntü aktarımı, yangın söndürme için kullanılan ürünlerin İHA tarafından kullanılması ve orman yangınınun gidişatının değerlendirilmesidir. Bu kapsamda elektronik, mekanik, yazılım ve sistem ihtiyaçları belirlenerek verilen görevleri yerine getirebilecek bir insansız hava aracı tasarımı, üretimi ve testi gerçekleştirilmiştir.

Makalenin bundan sonraki bölümleri şu şekilde işlenecektir. İkinci bölümde İHA'nın tasarım ve üretim aşamalarından detaylıca bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde İHA'nın orman yangını örnek senaryosu üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Dördüncü bölümde ise İHA'nın tasarım, üretim ve test sonuçları

değerlendirilerek geliştirilebilir yönleri için önerilerde bulunulmuştur.

2 Tasarım ve üretim

Çalışma kapsamında tasarlanan ve üretilen İHA beş başlık altında incelenmiştir. Bunlar; İHA mekaniği, uçuş kontrol birimi, güç kontrol ve tahrik birimi, yer kontrol istasyonu ve görüntü işleme ve haberleşme birimidir. Bundan sonraki kısımda bu başlıklar detaylı olarak anlatılmıştır.

2.1 İHA mekaniği

İHA'nın üç boyutlu katı modellemesi SOLIDWORKS ve CATIA tasarım programları kullanılarak yapılmıştır. Kritik görev süreçleri de dikkate alınarak İHA da bulunması gereken performans özellikleri; maksimum kalkış ağırlığı, menzil, uçuş süresi, seyir hızı, stall hızı, kanat açıklığı, uzunluk, iletişim mesafesi ve itki kullanılarak ANSYS analiz programında değerlendirilmiştir. ANSYS, mühendislik alanında geniş bir yelpazede simülasyon ve analiz işlemlerini gerçekleştirmek için kullanılan kapsamlı bir yazılımdır. Bu yazılım, fiziksel olayların dijital bir ortamda modellenmesi ve simülasyonunu yapmak amacıyla tercih edilir. Analizler sonucunda belirlenen değerler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. İHA'nın performans özellikleri.

Table 1. Performance characteristics of the UAV.

Performans özelliği	Değer
Maksimum kalkış ağırlığı	6 kg
Menzil	25 km
Uçuş süresi	25 dk
Seyir hızı	20 m/s
Stall hızı	11 m/s
Kanat açıklığı	1.9 m
Uzunluk	1.2 m
İletişim mesafesi	40 km
İtki	5.5 kg

Tasarım gerçekleştirilirken aerodinamik yapı ve görev istekleri dışında yapısal imalat ve entegrasyon süreçleri de dikkate alınmıştır. Yapısal imalat sürecinde detaylı konstrüksiyon yapı ve simetrik üretim dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Entegrasyon süreçlerinde ise kolay kurulum ve modüler yapılar kullanılmıştır. Gerçekleştirilen tasarım aşamaları Şekil 1'de gösterilmiştir. İHA'nın iskelet yapısının sert kuvvetlere karşı maksimum dayanıklılık gösterebilmesi için dikkatli bir planlama gerekmektedir. Bu amaçla, iskelet yapısında 14 adet giriş, özellikle kanat bağlantı noktaları, yük taşıma bölgesi ve kuyruk bağlantı noktası gibi kritik alanlarda yerleştirilmiş ve bu bölgelerdeki dayanıklılık önceliklendirilmiştir. İskeletin boyuna destek sağlayan 6 adet dikme ve ek olarak 8 adet parçalı dikme entegre edilmiştir. Kanat ve kuyruk bölümlerinde ise, her biri 7 cm aralıklı iki dikme kullanılarak ek destek sağlanmıştır. Kanat ve kuyrukların daha da güçlendirilmesi için, birbirine geçme şeklinde düzenlenmiş 1 metre uzunluğunda karbon çubuklar kullanılmıştır; bu çubuklar dış katmanda üçe bölünerek, ikisi kanatlara ve birisi gövdeye sabitlenmiştir. İç katmandaki çubuk ise yapısal bütünlüğü desteklemekte ve hizalama sağlamaktadır. İskelet tasarımı, birkaç ANSYS analizi sonucu optimize edilmiş ve bu analizler sonrasında son şeklini almıştır. Nihai olarak, iskelet üzerine kaplama ve ek donanımlar eklenerek tasarım aşaması tamamlanmıştır. Tasarımın tamamlanmasının ardından üretim aşamasına geçilmiştir. Üretim sürecinde minimum maliyeti sağlamak amacıyla balsa, ayous ve huş ağaçları kullanılmıştır.



Şekil 1. İHA'nın üç boyutlu tasarımı.

Figure 1. 3D design of the UAV.

İHA'nın üretimi beş aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; iskelet oluşturulma, balsa kaplama, polyester film kaplama, elektronik entegrasyon ve mekanik entegrasyondur. İskelet oluşturma aşamasında üç boyutlu tasarlanan İHA konstrüksiyon imalat yöntemi için iskelet oluşturmak adına yeniden tasarlanmaktadır. Yapının en büyük dayanımı iskeletten gelmektedir. Bu sebeple tasarım yapılırken sınırların konumları iyi düşünülmelidir. Balsa kaplama aşamasında eğimli yüzeyler veya daha dayanım isteyen bölgeler dikkate alınır. Polyester film kaplama aşamasında eğimli yüzeylerin kırılmaması için kenarlardan tutturulur ve sıcak hava tabancası ile filmin İHA'nın gövdesine oturması sağlanır. Mekanik entegrasyon aşamasında sistem 7 parçadan oluşmaktadır. Bunlar; iki kanat, iki kuyruk, bir gövde, bir burun ve bir iniş takımıdır. Elektronik entegrasyon aşamasında kolay entegrasyon en önemli özelliktir. Bu özellik için elektronik sistem 4 temel takılıp çıkarılabilen parçadan oluşmaktadır. Birincisi, görüntüleme birimi; burun kısmındadır. İkincisi, kontrol ve güç birimi; ön kapağınan yerleştirilen ve ileri itilerek yerine oturan sistemden oluşmaktadır. Üçüncüsü, haberleşme birimi; arka kapaktan yerleştirilmektedir. Dördüncüsü ise servo motorlar ve itki motoru; servo motorlar kanat ve kuyrukta, itki motoru ise arka kısmında bulunmaktadır.

Tasarım aşamasında bahsedilen işlemlerin üretim süreçleri, Şekil 2'de detaylı bir şekilde görselleştirilmiştir. Üretim aşamalarının tamamlanmasının ardından uçuş kontrol biriminin geliştirilme işlemine başlanmıştır.

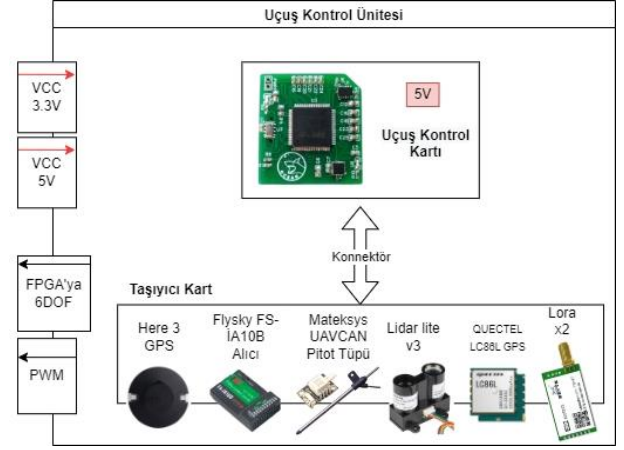


Şekil 2. İHA'nın üretim aşamaları.

Figure 2. Production stages of the UAV.

2.2 Uçuş kontrol birimi

Uçuş kontrol birimi, İHA'nın yaşamsal faaliyeti olan dengede kalabilme ve kritik görevleri yerine getirebilme işlevlerini sağlamaktadır. Bu işlevleri üzerinde bulunan sensörler ve uçuş kontrol kartı ile yürütmektedir. Uçuş kontrol biriminin blok diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir. Uçuş kontrol kartı, uçuş kontrol biriminin temel yapı taşıdır. Bu kart, İHA'nın güvenli bir şekilde uçuşunu sağlamak üzere geliştirilmiştir. Ayrıca belirlenen işlevleri yerine getirebilmek için gerekli elektronik özelliklere de sahiptir. Bu işlevler, sensörlerden verilerin okunması, yer istasyonuna veri gönderilmesi, İHA'nın uçurulması için gerekli olan algoritmanın yürütülmesi ve tüm verilerin kaydının yapılmasıdır.



Şekil 3. Uçuş kontrol ünitesi.

Figure 3. Flight control unit.

Uçuş kontrol ünitesinde kullanılan tüm sensörler temel görevleri verilerek açıklanmıştır. Bu kapsamda İHA'nın havada kalabilmesi için dünyanın merkezine göre hangi açıda konumlandığı bilgisine ihtiyacı bulunmaktadır. Bu bilgi ivme ölçer ve düz döner sensörlerinden alınarak sensör fusion algoritmasından geçirilir ve 6DOF bilgisi elde edilerek İHA'nın dengede kalması için kullanılır [15]. Bu sensörler, doğru veri alınmaması durumuna karşın yedekli olarak kullanılmıştır.

İHA'nın yaşamsal faaliyetlerinden biri de yön bilgisidir. Yön bilgisi, pusuladan dünyanın manyetik alanına göre veya geçmiş konum bilgisine bakılarak elde edilebilir. Çalışmamızda manyetik alana göre elde edilebilmesi için HMC kullanılmıştır [16].

İHA'nın dünya üzerinde hangi konumda olduğu bilgisi, belirlenen konuma gidilebilmesi için gereklidir. Konum bilgisi, küresel konumlama uydu sistemi (GNSS) kullanılarak elde edilmektedir [17].

İHA'nın hassas iniş yapabilmesi için lazer mesafe ölçer sensöre ve belirlenen yüksekliğe çıkıp inebilmesi için ise barometreye ihtiyaç duyulmaktadır [18].

Bu doğrultuda barometre olarak 1.5 mbar hassasiyette MS5611 basınç sensörü seçilmiştir. Lidar olarak 40 metre mesafede 2.5cm hassasiyete sahip Lidar Light-V3 modülü kullanılmaktadır.

Pitot tüpü, hava akış hızını ölçmek için kullanılan bir cihazdır. İHA'ların havada stall etkisine yakalanmaması ve itki gücünün dinamik olarak ayarlanması için gereklidir. Rüzgâr hızı bilgisi, pitot tüpü kullanılarak ölçülür ve bu bilgi, İHA'nın itki gücünün dinamik olarak ayarlanmasında önemli bir rol oynar. Bu nedenle, pitot tüpü kullanımı İHA'nın güvenliği ve stabilitesi için hayati önem taşır [19].

İHA'nın durumu hakkında bilgilerin yer kontrol istasyonuna iletilmesi ve yer kontrol istasyonu tarafından atanan görevlerinde İHA'ya gönderilebilmesi için Lora haberleşme modülü [20] kullanılmıştır. İHA ve yer kontrol istasyonu arasındaki haberleşmede kullanılan veriler, bant genişliğinin minimum kullanımının sağlanabilmesi için anlamlı en küçük bilgiyi içerecek şekilde paketlenmiştir. Yer Kontrol istasyonuna gönderilecek verilerin frekansına göre iki gruba ayrılmıştır. Birinci grupta 5 byte uzunluğunda ve 10 Hz frekansına sahip roll (yatma açısı), pitch (dikelme açısı) ve header (pusula) bilgisi yer almaktadır. İkinci grupta ise 7 byte uzunluğunda ve 1 Hz frekansına sahip barometre, sıcaklık, enlem ve boylam

bilgisi bulunmaktadır. Birinci ve ikinci grup mesaj paketi yapısı Şekil 4'te gösterilmiştir. Güvenlik açısından veri paketleri AES algoritması kullanılarak şifrelenmiştir [21].

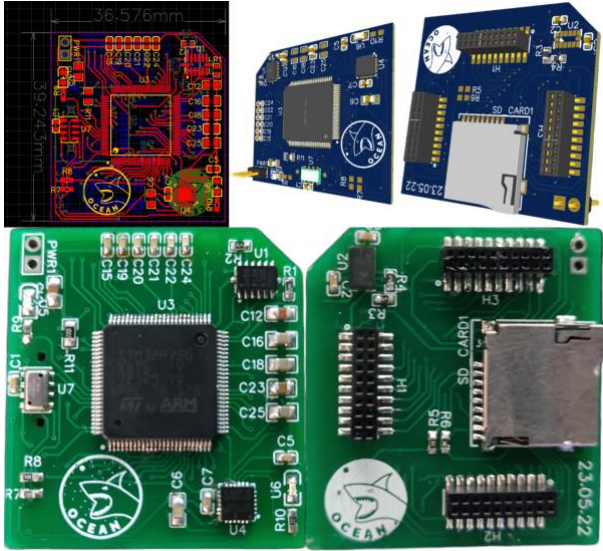
Birinci ve ikinci grup mesajların nasıl paketlendiği Şekil 4'te yer alan görselde gösterilmiştir.



Şekil 4. Yer kontrol istasyonu haberleşme paket yapısı.

Figure 4. Ground control station communication packet structure.

Uçuş kontrol kartında kullanılacak sensörler tercih edildikten sonra PCB çizimi yapılmıştır. Çizimler ve nihai hali Şekil 5'te gösterilmiştir. Endüstriyel üretim tesisine sahip olan bir fabrikada üretilen PCB, stencil, sıvı lehim ve sıcak yüzey uygulaması yapılmış ve İHA'ya montajı gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen uçuş kontrol kartı 4x4 cm boyutlarında üretilerek İHA testleri için hazır hale getirilmiştir. İHA'nın uçurulması için gerekli olan algoritmanın yürütülmesini sensörlerden verilerin okunması, yer istasyonuna gönderilmesi ve veri kaydı yapılma görevlerini STM32H750 işlemcisi sağlamaktadır [22].



Şekil 5. Uçuş kontrol ünitesi PCB tasarımı ve üretimi.

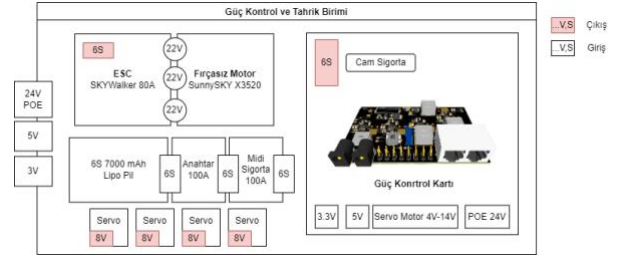
Figure 5. Flight controller PCB design and manufacturing.

Çalışma kapsamında İHA'nın görevlendirmesinin de manuel mod, yarı otonom mod ve tam otonom mod üzere 3 temel farklı uçuş modu geliştirilmiştir. Manuel Mod; İHA, pilot tarafından kontrol edilir. Bu modda, pilot İHA'nın uçuş yönünü, hızını ve yüksekliğini kontrol eder. Yarı-Otonom Mod; İHA, önceden belirlenmiş bir rota takip eder, ancak pilot İHA'nın rotasını veya yüksekliğini manuel olarak ayarlayabilir. Tam Otonom Mod; İHA, belirli bir görevi tamamlamak üzere tamamen programlanır ve pilot tarafından kontrol edilmez. İHA, önceden belirlenmiş bir rota takip eder veya başka bir görev gerçekleştirir. İHA'ya ait tüm bu uçuş algoritmalarının öz tasarımları yapılmış ve geliştirilmiştir.

2.3 Güç kontrol ve tahrik birimi

Güç kontrol ve tahrik birimi, İHA'nın ve İHA'yı oluşturan birimlerin çalışması için gerekli olan gerilimleri sağlayan

sistem olarak tanımlanabilir. Şekil 6'da gösterilen bu sistem, itki ve yönlendirme sistemi ve güç kontrol kartı olmak üzere ikiye ayrılmıştır.



Şekil 6. Güç kontrol ve tahrik birimi.

Figure 6. Power control and drive unit.

2.3.1 İtki ve yönlendirme sistemi

Motor seçiminde kritik olan parametreler, motorun itki miktarı, pervanesi ve ihtiyaç duyduğu maksimum akım miktarıdır. Motorun itki miktarı, İHA'nın ağırlığına göre seçilir. Çalışmamızda tasarlanan İHA'nın maksimum kalkış ağırlığı 6 kg olarak belirlenmiştir. Kısa kalkış mesafesi, İHA'nın stall'a yakalanmaması ve ağırlık oluşturup yüksek güç tüketmemesi amacıyla itki kuvveti 5.5 kg seçilmiştir. İtki kuvvetinin İHA'nın ağırlığına oranı %91.7 değerindedir. Tasarım ve üretimde kullanılan motorun teknik dokümantasyonu [23] doğrultusunda maksimum itki miktarının sağlanabilmesi için belirlenen motor pervanesi 15x6 inç olarak seçilmiştir. Tasarlanan motorun itki miktarı ve pervanesinin çalıştırılabilmesi için gerekli ESC, akım güvenlik payı ile birlikte 100 A olarak seçilmiştir.

Yönlendirme sisteminde yatma, yönelme ve dikeme kuvvetlerini oluşturacak kanatçıklar yer almaktadır. Bunları hareketlendirecek olan ise servo motorlardır. Servo motor seçilirken dikkat edilen hususlar, servo motorun dijital olması, torkun yeterli olması, hızlı, dayanıklı ve hafif olmasıdır. Bu hususlara dikkat edilmesinin sebepleri, servo motora gönderilen sinyalin hatasız olarak sürülmesi, kanatçıklara etki eden kuvvetlerin karşılanması, komutların uygun hızda çalıştırılması, darbelerle karşı dayanıklı olması ve uçuş süresinin uzaması için hafif olmasıdır.

2.3.2 Güç kontrol kartı

Çalışma kapsamında, İHA da kullanılacak alt sistemler olan servo motorlar, haberleşme modülü, görüntü işleme ünitesi ve uçuş kontrol kartının çalışması için gerekli olan enerjiji karşılamak amacıyla güç kontrol kartı tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Güç kontrol kartı ve alt sistemlerin çalışabileceği maksimum enerji ve geliştirilen kartın sağladığı enerji değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Ek olarak güç kontrol kartına ters kutuplama koruma devresi konulmuş ve yüksek akımdan korumak için de kartın girişine cam sigorta yerleştirilmiştir.

Tablo 2.'de güç kontrol kartı ve alt sistemlerin çalışabileceği maksimum enerji ve geliştirilen kartın sağladığı enerji değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2. Güç kontrol kartı ve alt sistemlerin çalışabileceği maksimum enerji ve geliştirilen kartın sağladığı enerji değerleri.

Table 2. The maximum energy that the power control card and subsystems can operate, and the energy values provided by the developed card.

Birim	Maksimum enerji değeri	Geliştirilen kartın sağladığı enerji değeri
Güç kontrol kartı	24V DC	12~30V DC
Servo motorlar	Dayanıklılık 110W	Dayanıklılık 120W
Haberleşme modülü	8V DC 2A	4~14V DC 3A
Uçuş kontrol kartı	24V DC 1A	24 DC 1.5A
Görüntü işleme ünitesi	3.3V DC 2A	3.3V DC 3A
	5V DC 4A	5V DC 5A

2.4 Görüntü işleme ve haberleşme birimi

Tasarlanan İHA sisteminde önemli bir rol oynayan görüntü işleme ve haberleşme birimi aşağıdaki temel işlemleri yerine getirmektedir.

1. Görüntü alımı: İHA üzerindeki kamera veya kameralardan görüntü elde edilmesi ve kaydedilmesi.
2. Görüntü işleme: Elde edilen görüntülerin, Raspberry Pi veya FPGA (Field-Programmable Gate Array) geliştirme kartları üzerinde işlenmesi. Bu işleme adımında, görüntülerdeki nesnelerin tanınması, takibi ve sınıflandırılması gibi işlemler gerçekleştirilebilir. Görüntü işleme algoritması ve donanımının yeteneklerine bağlı olarak, daha karmaşık işlemlerde uygulanabilir.
3. Haberleşme: İşlenmiş görüntülerin ve diğer önemli bilgilerin, yer kontrol istasyonuna kablosuz olarak iletilmesini sağlamak için gerekli haberleşme protokollerinin ve donanımlarının kullanılması. Bu adım, İHA'nın gerçek zamanlı görüntü aktarımı sağlaması ve operatörlerin aracı daha etkili bir şekilde kontrol etmelerine yardımcı olması açısından önemlidir.

Şekil 7'de gösterilen görüntü işleme ve haberleşme birimi, İHA sistemlerinin farklı uygulama alanlarında kullanılmasına olanak tanır. Bu alanlar arasında askeri keşif, arama-kurtarma operasyonları, tarım, haritalama, altyapı denetimi ve çevre izleme gibi pek çok önemli uygulama bulunmaktadır. Bu nedenle, bir İHA sistemi tasarlarken, görüntü işleme ve haberleşme biriminin doğru şekilde çalışması büyük önem taşır.

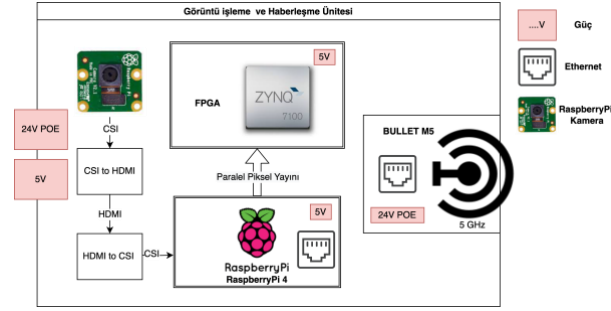
İHA ve yer kontrol istasyonu arasındaki haberleşmeyi sağlamak için Bullet AC kullanılmıştır. Bullet AC, Ubiquiti Networks tarafından üretilen, airMAX AC teknolojisine sahip bir radyo cihazıdır. Bu cihaz, kablosuz ağ bağlantılarını güçlendirmek ve optimize etmek için kullanılır. Çalışmamızda haberleşme kalitesini arttırmak için kullanılan Bullet AC'nin özellikleri ve avantajları aşağıda sıralanmıştır.

1. Çift bantlı airMAX AC: 2.4 GHz ve 5 GHz frekans bantlarında çalışan, airMAX AC teknolojisine sahip Bullet AC, daha hızlı ve daha verimli kablosuz ağ bağlantısı sağlar.
2. Esnek kanal bant genişliği yapılandırması: Bullet AC, kullanıcıların kanal bant genişliğini yapılandırma esnekliği sağlar, böylece farklı frekans aralıklarında çalışma ve en uygun performansı elde etme imkânı sunar.
3. Yüksek veri aktarım hızları: Bullet AC, yüksek bant genişliği kullanarak dijital veri aktarımı yapar ve bu sayede çok daha hızlı kablosuz bağlantılar sunar.
4. Düşük gecikme süreleri: Bullet AC, sadece 60 ms'lik düşük gecikme süreleriyle yüksek performanslı kablosuz ağ bağlantıları sağlar. Bu, özellikle gerçek zamanlı uygulamalar için önemlidir.
5. Geniş haberleşme mesafesi: Bullet AC, 40 km'ye kadar haberleşme mesafesi sunarak uzun mesafeli kablosuz ağ

bağlantılarını destekler. Bu, özellikle kırsal alanlar ve geniş coğrafi bölgeler için avantajlıdır.

6. Özel Wi-Fi yönetimi: Bullet AC, kullanıcıların ağ bağlantılarını ve performansını optimize etmelerine yardımcı olan özel Wi-Fi yönetimi özellikleri sunar.

Bullet AC, bu özellikleri ve esnek yapılandırma imkânları nedeniyle, çok çeşitli kablosuz ağ bağlantısı ihtiyaçlarını karşılamak için tercih edilen bir seçenektir. Özellikle, geniş alanları kapsayan ve yüksek performans gerektiren kablosuz ağ bağlantıları için idealdir.

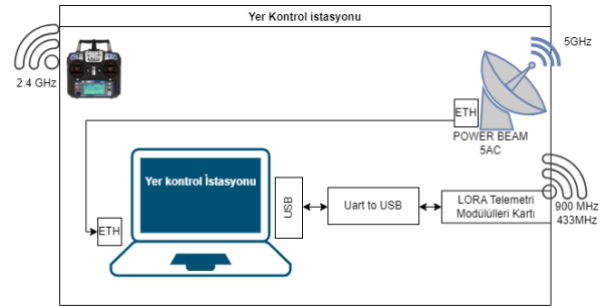


Şekil 7. Görüntü işleme ve haberleşme birimi.

Figure 7. Image processing and communication unit.

2.5 Yer kontrol istasyonu

Yer kontrol istasyonu, İHA'daki uçuş kontrol biriminde bulunan Lora modülü ile haberleşmesi ve görüntü işleme ve haberleşme biriminde bulunan BULLET modülünden de veri alabilmesi için tasarlanıp geliştirilmiştir. Bu istasyon, İHA'nın sistem durum bilgisini gözlemlemek ve İHA'yı görevlendirmek için kullanılması planlanmıştır. Şekil 8'de yer kontrol istasyonunun haberleşme mimarisi gösterilmiştir. Bu kapsamda İHA'ya ait hız, yükseklik, yön, konum, pil durumu ve uçuş modları planlamaları için gerekli modüller geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılımın arayüzü Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Yer kontrol istasyonu mimarisi.

Figure 8. Ground control station architecture.



Şekil 9. Yer kontrol istasyonu yazılım arayüzü.

Figure 9. Ground control station software interface.

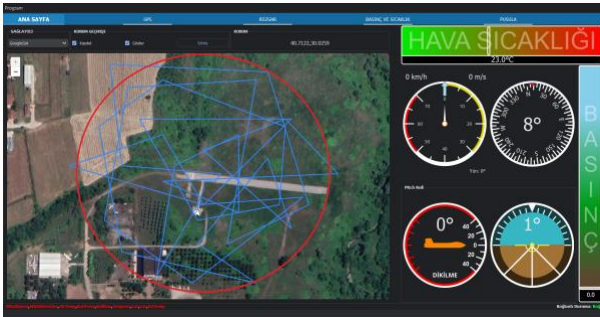
Yer kontrol istasyonu için geliştirilen yazılım dört farklı modül olarak tasarlanmıştır. Bu modüller; harita, görüntü aktarım, görevlendirme ve sistem durumudur. Harita modülünde, İHA'ya ait geçmiş ve mevcut konum bilgileri, yön bilgisi, varsa sürü İHA'lara ait bilgiler bulunmaktadır. Görüntü aktarım modülünde, İHA'nın kemarasından alınan görüntü bilgileri kullanıcıya gösterilmektedir. Görevlendirme modülünde, İHA'nın uçuş modu belirlenmekte ve ilgili moda ait konfigürasyon parametreleri bulunmaktadır. Sistem durumu modülünde ise, İHA'ya ait rüzgâra göre ve yere göre hız, yön, yatma açısı, dikeme açısı, yükseklik, konum, pil durumu, sensör durumları, haberleşme bağlantı durumu, haberleşme sinyali seviyesi, uçuş modu, servo motor bilgileri, tahrik motor bilgisi, iniş takımı yön bilgisi kullanılmıştır.

3 Örnek sistem orman yangını

Çalışma kapsamında geliştirilen İHA'nın tespit yeteneklerini, hareket kabiliyetlerini ve haberleşme kapasitesini göstermek için örnek bir orman yangını senaryosu hazırlanmıştır. Bu senaryoda İHA'nın görevi, yer istasyonu tarafından belirlenmiş bir alan içerisinde uçarak alanı taramak ve elde ettiği görüntüleri yer istasyonuna aktarmaktır. Aşağıdaki adımlarda senaryonun gerçekleştirilmesi sırasında yapılan işlemler sıralanmıştır.

1. Yer kontrol istasyonu haritası üzerinde taranacak alanın belirlenmesi ve uçuş modunun tam otonom olarak atanması.
2. İHA'nın kalkışının gerçekleştirilmesi.
3. İHA'nın konum hareketlerinin takip edilmesi.
4. İHA'nın alan taraması gerçekleştirilmesi.
5. İHA'nın sensör verilerinin takip edilmesi.
6. Uçuş süresi boyunca konum, alan tarama görüntüleri ve sensör verilerinin yer istasyonuna iletilmesi.
7. İHA'nın inişinin gerçekleştirilmesi.

Bu senaryo, İHA'nın belirlenmiş bir alanı tarama ve potansiyel bir yangını tespit edebilme yeteneğinin olduğunu göstermiştir. Şekil 10'da İHA'nın senaryo sırasında yer istasyonundaki ekran görüntüsü gösterilmiştir. Taranan alan üzerinde çizilen konum bilgilerinin köşelerinin keskin ve aralıklı olmasının sebebi, konum bilgisi için sensör fusion (INS) kullanmayıp GPS bilgisinden faydalandığından ve İHA'nın ortalama hızı 25m/s olduğundan dolayıdır.



Şekil 10. Yer kontrol istasyonu yazılım arayüz görüntüsü.

Figure 10. Ground control station software interface image.

İHA'dan elde edilen görüntü bilgileri kayıpsız bir şekilde yer kontrol istasyonuna aktarılmıştır. Bu görüntülerden birkaçı Şekil 11'de gösterilmiştir. İHA tarafından toplanan görüntü

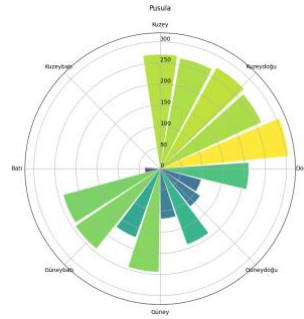
verileri, sistemimizde bulunan görüntü işleme ve haberleşme biriminde, Raspberry Pi kullanılarak geliştirilen [24] ile [25]'te bahsedilen orman yangını tespit çalışmaları sorunsuz bir şekilde yürütülebilir.



Şekil 11. İHA'dan kamerasından görüntüler.

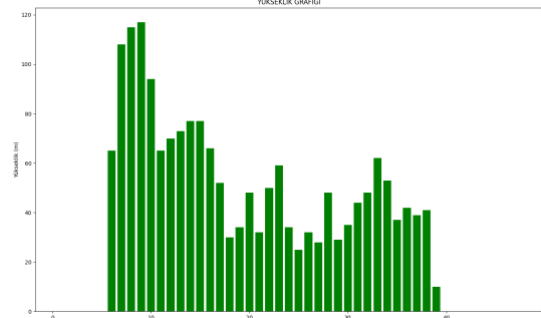
Figure 11. Images from the camera of the UAV.

İHA'dan uçuş süresi boyunca elde edilen pusula, basınç, sıcaklık, hız sensör bilgileri kayıpsız bir şekilde yer kontrol istasyonuna iletilmiştir. Bu bilgilerden pusula Şekil 12'de, basınç sensörü ile elde edilen yükseklik bilgisi Şekil 13'te, sıcaklık Şekil 14'te ve hız bilgisi Şekil 15'te gösterilmiştir. Senaryo sonucunda İHA tüm prosedürü tamamlamış ve kritik bir görevde başarılı olabileceğini kanıtlamıştır.



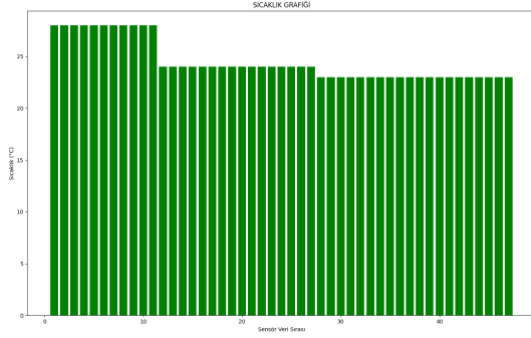
Şekil 12. İHA'dan alınan pusula verisi.

Figure 12. Compass data from UAV.



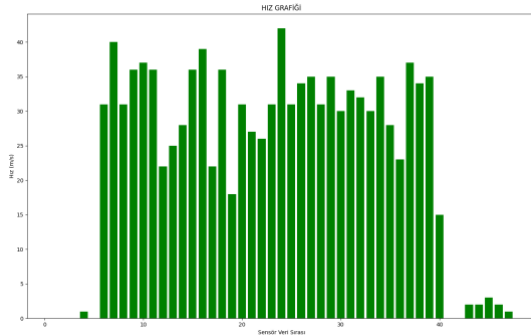
Şekil 13. İHA'dan alınan yükseklik verisi.

Figure 13. Altitude data from UAV.



Şekil 14. İHA'dan alınan sıcaklık verisi.

Figure 14. Temperature data from the UAV.



Şekil 15. İHA'dan alınan hız verisi.

Figure 15. Speed data from UAV.

4 Sonuçlar

Çalışmamızda, kritik görevlerin gözetimini yapmak amacıyla öz tasarım ve yazılıma sahip bir İHA üretilmiştir. İHA'nın enerji ihtiyaçlarını karşılamak ve uçuşunu gerçekleştirebilmek amacıyla güç kontrol kartı ve uçuş kontrol kartı geliştirilmiştir. Elektronik entegrasyon süreci ise, uçuş kontrol birimi, görüntü işleme ve haberleşme birimi ve güç kontrol ve tahrik biriminin montajı ile tamamlanmıştır. Ayrıca İHA'nın sistem durum bilgisini gözlemlemek ve görevlendirmek için de bir yer kontrol istasyonu geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemin gerçek dünya koşullarındaki performansını değerlendirmek amacıyla bir orman yangın senaryosu oluşturulmuştur. İHA, kalkışından, hedef bölgenin taranmasına, tarama görüntülerinin yer istasyonuna iletilmesine ve inişine kadar ki tüm prosedürü başarı ile tamamlamıştır. Bu sonuçlar, İHA'nın gerçek dünya koşullarında kritik görevlerde başarılı olabileceğini kanıtlamıştır.

Geliştirilen sistem, literatürde yer alan çalışmalara ait algoritma, elektronik ve mekaniklerin uygulanabilmesi için Wi-Fi, 433 Mhz ve 900 Mhz haberleşme bantlarına, canlı görüntü aktarımına ve 3kg yük taşıma kapasitesine sahiptir. Bu sayede güç kontrol ve uçuş kontrol kartlarına İHA'ya verilen görevler doğrultusunda gerekli sensör ve kontrol kartları eklenebilir. Bu sistemle birlikte bilgisayar ortamında geliştirilmiş fakat gerçek hayatta test edilmemiş çalışmaların kıyaslaması da gerçekleştirilebilir. Ek olarak İHA'nın hava koşullarındaki dayanıklılığının artırılması ve uzun ömürlü kullanıma sahip olabilmesi için mekanik üretim sırasında balsa kaplama yerine karbon fiber gibi kompozit malzemeler kullanılabilir.

Araştırmanın sonuçları, geliştirilen sistemin literatüre önemli katkılar sunduğunu göstermektedir. Bu sistem, geniş iletişim yelpazesi, yüksek taşıma kapasitesi ve özelleştirilebilir sensör ve kontrol kartları gibi özelliklere sahiptir. Gelişmiş

görüntüleme ve izleme kapasiteleri ile donatılmış olan sistem, gerçek yangın senaryolarında test edilmiş ve pratik uygulanabilirliği ve etkinliği kanıtlanmıştır. Elektronik ve mekanik entegrasyonun yanı sıra, karbon fiber gibi malzemeler kullanılarak dayanıklılığı ve uzun ömürlü kullanımı artırma potansiyeli, sistemin çevresel koşullara karşı daha dirençli olmasını sağlamaktadır. Bu özellikler, sistemimizin yangın izleme ve müdahale, tarımsal bakım ve trafik gözetimi gibi çeşitli uygulama alanlarında değerli bir araç olabileceğini göstermektedir. Bu araştırma, kritik görevlerin izlenmesi ve müdahalesi alanında teknolojinin nasıl ilerletilebileceğine dair önemli bir adımı temsil etmektedir ve gelecek çalışmalar için bir temel oluşturmaktadır.

5 Conclusions

In our study, a UAV with self-design and software was produced to monitor critical missions. A power control card and a flight control card have been developed to meet the energy needs of the UAV and to perform its flight. The electronic integration process was completed with the assembly of the flight control unit, image processing, and communication unit, and power control and propulsion unit. In addition, a ground control station has been developed to monitor and assign the system status information of the UAV. A forest fire scenario was created to evaluate the performance of the developed system in real-world conditions. The UAV has completed the entire procedure from take-off, scanning the target area, transmitting the scan images to the ground station, and landing. These results have proven that UAV can succeed in critical real-world missions.

The developed system has Wi-Fi, 433 Mhz and 900 Mhz communication bands, live image transmission, and a 3kg load-carrying capacity for the application of algorithms, electronics, and mechanics of the studies in the literature. In this way, necessary sensors and control cards can be added to the power control and flight control cards in line with the tasks assigned to the UAV. With this system, it is possible to compare the studies developed in the computer environment but not tested in real life. In addition, composite materials such as carbon fiber can be used instead of balsa coating during mechanical production to increase the durability of the UAV in weather conditions and to have long-lasting use.

6 Yazar katkı beyanı

Bu çalışmada tüm yazarlar eşit katkıda bulunmuşlardır.

7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

8 Kaynaklar

- [1] Cao D, Ramirez CD. "Air Pollution, Government Pollution Regulation, and Industrial Production in China". *Journal of Systems Science and Complexity*, 33, 1064-1079, 2020.
- [2] Müller MM, Vila-Villardell L, Vacik H. "Forest fires in the alps-state of knowledge, future challenges and options for an integrated fire management". EUSALP Action Group, 8, 2020.
- [3] Sung KW, Mutafungwa E, Jantti R, Choi M, Jeon J, Kim D, Kim J, Requena JC, Nordlöw A, Sharma S, Destino G, Deng Y, Mahmoodi T, Ullmann M, Nahler A, Kyung Y, Kim S, Seo S, Kim SL. "PriMO-5G: making firefighting smarter with immersive videos through 5G". *2019 IEEE 2nd 5G World*

- Forum (5GWF), Dresden, Germany, 30 September-02 October 2019.
- [4] Burhanuddin LAB, Liu X, Deng Y, Challita U, Zahemszky A. "QoE Optimization for Live Video Streaming in UAV-to-UAV Communications via Deep Reinforcement Learning". *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71(5), 5358-5370, 2022.
- [5] Halat M, Özkan Ö. "Olası İstanbul depreminin hasarlarının gözlenmesi için İHA rotalama probleminin bir genetik algoritma ile eniyilenmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(2), 187-198, 2021.
- [6] Altun M, Türker M. "Çok yüksek çözünürlüklü renkli İHA görüntülerinden kentsel alanlarda araç tespiti". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(2), 371-384, 2020.
- [7] Han S, Özer B, Alioğlu B, Polat Ö, Aktin AT. "A mathematical model for the delivery routing problem via drones". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(1), 89-97, 2019.
- [8] Qingping L, Queralt JP, Gia TN, Zou Z, Westerlund T. "Multi Sensor Fusion for Navigation and Mapping in Autonomous Vehicles: Accurate Localization in Urban Environments". *Unmanned System*, 8(3), 229-237, 2020.
- [9] Khoshnoud F, Esat II, Silva CW, Rhodes JD, Kiessling AA, Quadrelli MB. "Self-Powered Solar Aerial Vehicles: Towards Infinite Endurance UAVs". *Unmanned System*, 8(2), 95-117, 2020.
- [10] Chen X, Hopkins B, Wang H, O'neill L, Afghah F, Razi A, Fule P, Coen J, Rowell E, Watts A. "Wildland Fire Detection and Monitoring Using a Drone-Collected RGB/IR Image Dataset". *IEEE Access*, 10, 121301-121317, 2022.
- [11] Lei T, Luo C, Sellers T, Wang Y, Liu L. "Multitask Allocation Framework with Spatial Dislocation Collision Avoidance for Multiple Aerial Robots". *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 58(6), 5129-5140, 2022.
- [12] Zhang H, Dou L, Xin B, Chen J, Gan M, Ding Y. "Data Collection Task Planning of a Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicle in Forest Fire Monitoring". *IEEE Access*, 9, 109847-109864, 2021.
- [13] Tian X, Meng C, Ma J, Ma B, Wang Y, Chen W. "Research on Structure and Fire Control System of Fire Fighting UAV Based on Polymer Gel Fire Bomb". *2022 IEEE 10th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)*, Chongqing, China, 17-19 June 2022.
- [14] Shaffer JA, Carrillo E, Xu H. "Hierarchical Application of Receding Horizon Synthesis and Dynamic Allocation for UAVs Fighting Fires". *IEEE Access*, 9, 78868-78880, 2018.
- [15] Marantos P, Koveos Y, Kyriakopoulos KJ. "UAV State Estimation Using Adaptive Complementary Filters". *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 24(4), 1214-1226, 2015.
- [16] Honeywell. "3-Axis Digital Compass IC HMC5883L". https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/HMC5883L_3-Axis_Digital_Compass_IC.pdf (25.06.2023)
- [17] Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Wasle E. *GNSS – Global Navigation Satellite Systems. GPS, Glonass, Galileo and more*. 1st ed. Vienna, Austria, Springer Vienna, 2008.
- [18] Alarcón F, García M, Maza I, Viguria A. "A Precise and GNSS-Free Landing System on Moving Platforms for Rotary-Wing UAVs". *Sensors*, 19(4), 886, 2019.
- [19] Cheng R, Gao J. "On cardinality constrained mean-CVaR portfolio optimization". *The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)*, Qingdao, China, 23-25 May 2015.
- [20] EBYTE. "E32-433T30D Product Specifications". <https://www.ebyte.com/en/product-view-news.aspx?id=108> (25.06.2023).
- [21] National Institute of Standards and Technology. "Advanced Encryption Standard (AES)", Maryland, USA, Processing Standards Publication, NIST FIPS 197-upd1, 2023.
- [22] STMicroelectronics. "STM32H750VB Product overview". <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32h750vb.html> (25.06.2023).
- [23] SunnySkyUSA. "SunnySky X3520 Brushless Motors". <https://sunnyskyusa.com/products/sunnysky-x3520-brushless-motor> (25.06.2023).
- [24] Lee CH, Lee WH, Kim SM. "Development of IoT-Based Real-Time Fire Detection System Using Raspberry Pi and Fisheye Camera". *Applied Sciences*, 13(15), 8568, 2023.
- [25] Altowaijri AH, Alfaifi MS, Alshawi TA, Ibrahim AB, Alshebeili SA. "A Privacy-Preserving Iot-Based Fire Detector". *IEEE Access*, 9, 51393-51402, 2021.