



**KÜÇÜK HAVA ARAÇLARI İÇİN ÇARPIŞMA ÖNLEYİCİ YENİ BİR  
YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ**

**Ahmet SONUÇ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2023**

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ahmet SONUÇ

12/04/2023

# KÜÇÜK HAVA ARAÇLARI İÇİN ÇARPIŞMA ÖNLEYİCİ YENİ BİR YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet SONUÇ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2023

## ÖZET

Bu tez çalışmasında, küçük hava araçlarının çarpışmalarını önlemek için daha ucuz ve basit bir yöntem olan RF tabanlı bir çarpışma önleme sistemi önerilmektedir. Yapılan çalışma ile, küçük hava araçlarının tarihçesi, günümüzdeki kullanım alanları ve artan çarpışma riskleri incelenmektedir. Çarpışma önleyici sistemlerin tarihçesi ve mevcut teknolojilerin maliyet ve karmaşıklığı da ele alınmaktadır. RF tabanlı çarpışma önleme sistemlerinin avantajları, özellikle diğer teknolojilerle karşılaştırıldığında, ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Bu sistemlerin basitliği, düşük maliyeti, hafifliği ve enerji verimliliği gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Ancak, RF teknolojisi ile ilgili bazı zorluklar da vardır. Örneğin, RF sinyaller, mesafe ve hava koşullarından etkilenebilir. Bu nedenle, RF tabanlı bir çarpışma önleme sistemi tasarlarırken bu zorlukların üstesinden gelinmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, RF tabanlı bir çarpışma önleme sistemi tasarlamak ve prototipini yaparak sistemin performansını test etmektir. Bu amaç doğrultusunda, çarpışma önleme sistemi tasarımı ve prototip oluşturma adımları ayrıntılı olarak açıklanmış ve sistemin performans testi sonuçları sunulmuştur. Ayrıca, tasarım ve test sürecinde ortaya çıkan zorluklar ve bu zorlukların çözümü için oluşturulan yapılar tanımlanarak daha sonra bu alanda çalışacak araştırmacılara yol gösterilmesi amaçlanmıştır.

Bilim Kodu : 90517

Anahtar Kelimeler : Çarpışma önleme, radyo frekansı, küçük hava araçları, çarpışma riskleri, RF teknolojisi, drone

Sayfa Adedi : 49

Danışman : Prof. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ

DEVELOPING A NEW COLLISION AVOIDANCE METHOD FOR SMALL  
UNMANNED AERIAL VEHICLES

(M. Sc. Thesis)

Ahmet SONUÇ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2023

ABSTRACT

In this thesis, a Radio Frequency (RF) based collision avoidance system is proposed as a cheaper and simpler method to prevent collisions of small drones. In this work, the history of small drones, their current applications, and the increasing risk of collisions are examined. The history of collision avoidance systems and the cost and complexity of current technologies are also discussed. The advantages of RF based collision avoidance systems are explained in detail, particularly when compared to other technologies. These systems have many advantages such as simplicity, low cost, lightweight, and energy efficiency. However, there are also some challenges related to RF technology. For example, the power of RF signals can be affected by distances and weather conditions. Therefore, it is necessary to overcome these challenges when designing an RF-based collision avoidance system. The aim of this study is to design an RF-based collision avoidance system, build a prototype, and test the system's performance. In line with this aim, the design and prototype creation steps of the collision avoidance system are explained in detail and the performance test results of the system are presented. Additionally, structures created to overcome the challenges encountered during the design and testing process are described to guide future researchers in this field.

Science Code : 90517

Key Words : Collision prevention, radio frequency, small unmanned aerial vehicles, collision risks, RF technology, drone

Page Number : 49

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardımları ve katkılarıyla beni yönlendiren, tecrübelerinden faydalandığım değerli danışmanım Prof. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ başta olmak üzere her zaman yanımda olduklarını hissettiğim sevgili aileme sonsuz teşekkürü borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                    | Sayfa     |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| ÖZET .....                                                         | iv        |
| ABSTRACT .....                                                     | v         |
| TEŞEKKÜR .....                                                     | vi        |
| İÇİNDEKİLER .....                                                  | vii       |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....                                         | xv        |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                                            | xvi       |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                      | xvii      |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                               | <b>1</b>  |
| <b>2. DRONELAR VE ÇARPIŞMA ÖNLEME SİSTEMLERİ.....</b>              | <b>5</b>  |
| 2.1. Çarpışma Önleme Sistemi Nedir?.....                           | 6         |
| 2.2. Mevcut Çarpışma Önleme Sistemleri .....                       | 7         |
| 2.3. İkili Stereo Kamera Kullanan Çarpışma Önleme Sistemleri ..... | 8         |
| 2.4. Lidar Kullanan Çarpışma Önleme Sistemleri .....               | 10        |
| 2.5. Ultrasonik Sensör Kullanan Çarpışma Önleme Sistemleri.....    | 12        |
| 2.6. Radar Kullanan Çarpışma Önleme Sistemleri .....               | 14        |
| 2.7. Çarpışma Önleme Sistemleri Performans Değerlendirmesi .....   | 15        |
| <b>3. IFF SİSTEMİ VE TCAS .....</b>                                | <b>17</b> |
| 3.1. TCAS Tarihçesi.....                                           | 18        |
| 3.2. ACAS ve TCAS .....                                            | 19        |
| 3.3. ACAS Prensipleri.....                                         | 19        |
| 3.3.1. Trafik tavsiyesi .....                                      | 19        |
| 3.3.2. Çözüm tavsiyesi.....                                        | 19        |
| 3.4. ACAS Standartları .....                                       | 20        |

|                                                                | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------|--------------|
| 3.4.1. ACAS/TCAS 1 .....                                       | 20           |
| 3.4.2. ACAS/TCAS 2 .....                                       | 20           |
| 3.4.3. ACAS/TCAS 2 versiyonları .....                          | 21           |
| 3.4.4. ACAS/TCAS 3 .....                                       | 22           |
| 3.5. IFF Sistemi Nedir? .....                                  | 22           |
| 3.6. IFF Sistemi Alt Modları .....                             | 23           |
| 3.6.1. Mode 1.....                                             | 23           |
| 3.6.2. Mode 2.....                                             | 24           |
| 3.6.3. Mode 3/A .....                                          | 24           |
| 3.6.4. Mode 4.....                                             | 25           |
| 3.6.5. Mode 5.....                                             | 25           |
| 3.6.6. Mode C.....                                             | 25           |
| 3.6.7. Mode S .....                                            | 26           |
| <b>4. YENİ ÇARPIŞMA ÖNLEME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ .....</b> | <b>27</b>    |
| 4.1. RF haberleşmesi .....                                     | 27           |
| 4.1.1. Uzun menzilli RF modüller .....                         | 28           |
| 4.1.2. RF modül çeşitleri .....                                | 29           |
| 4.2. Lora Teknolojisi .....                                    | 30           |
| 4.2.1. Lora modüllerinin özellikleri .....                     | 31           |
| 4.2.2. Lora modüllerinin dezavantajları.....                   | 32           |
| 4.2.3. Lora modüllerinin verimliliği .....                     | 33           |
| 4.3. Çarpışma Önleme Sistem Tasarımı .....                     | 34           |
| 4.4. Tasarım Aşamaları .....                                   | 35           |
| 4.4.1. İşlemci bloğu.....                                      | 35           |



|                                           | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------|--------------|
| 4.4.2. Lora modülleri bloğu.....          | 35           |
| 4.4.3. Sensörler bloğu .....              | 36           |
| 4.4.4. Barometrik altimetre.....          | 36           |
| 4.4.5. Radar altimetre.....               | 37           |
| 4.4.6. GPS altimetre.....                 | 38           |
| 4.4.7. IR sistemi .....                   | 39           |
| <b>5. TASARIM VE UYGULAMA.....</b>        | <b>41</b>    |
| 5.1. Lora bağlantıları ve ayarlar .....   | 41           |
| 5.2. Sensör bağlantıları ve ayarlar ..... | 42           |
| 5.3. Çarpışmadan kaçınma komutları .....  | 43           |
| 5.3.1. Mode TCAS D.....                   | 43           |
| 5.3.2. Mode TCAS C .....                  | 44           |
| <b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>         | <b>45</b>    |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                     | <b>47</b>    |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                      | <b>49</b>    |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                           | Sayfa |
|---------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. ÇÖS Performans Karşılaştırması ..... | 16    |
| Çizelge 5.1. Lora ve Arduino bağlantısı.....      | 42    |
| Çizelge 5.2. BMP180 ve Arduino bağlantısı .....   | 42    |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                 | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1. Drone çarpışma görseli .....                               | 2     |
| Şekil 1.2. Çarpışma Kaçınma İçin Üretilen Yüksel Alçal Komutları..... | 3     |
| Şekil 2.1. Drone ve Tarımcılık.....                                   | 6     |
| Şekil 2.2. Lidar Sistemine Sahip Temsili Drone.....                   | 12    |
| Şekil 2.3. Ultrasonik Sensör Sistemine Sahip Drone.....               | 13    |
| Şekil 2.4. Radar sistemine sahip drone .....                          | 15    |
| Şekil 3.1. Mode 1 Sorgusu Pulse Yapısı ve Anlamı .....                | 23    |
| Şekil 3.2. Mode 2 Sorgusu Pulse Yapısı ve Anlamı .....                | 24    |
| Şekil 3.3. Mode 3/A Sorgusu Pulse Yapısı ve Anlamı .....              | 24    |
| Şekil 3.4. Mode C Sorgusu Pulse Yapısı ve Anlamı .....                | 26    |
| Şekil 5.1. Tasarım prototip görseli.....                              | 41    |
| Şekil 5.2. Mode TCAS D.....                                           | 43    |
| Şekil 5.3. Mode TCAS C .....                                          | 44    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

**ÇÖS**

Çarpışma Önleme Sistemi

**İHA**

İnsansız Hava Aracı

**IFF**

Identification Friend or Foe

**TCAS**

Traffic Collision Avoidance System

**ACAS**

Airborne Collision Avoidance System

**FAA**

Federal Aviation Administration

**ATC**

Air Traffic Controller

**RF**

Radio Frequency

## 1. GİRİŞ

Küçük hava araçları, ilk olarak insansız hava araçları (İHA) olarak kullanılmaya başlandı. İlk İHA'ler, askeri amaçlar için keşif ve gözetleme yapmak amacıyla geliştirildi. 1980'lerde, küçük hava araçları, bilim adamları tarafından meteoroloji, haritalama ve jeolojik keşif gibi alanlarda kullanılmaya başlandı [1,2]. İlerleyen yıllarda, hava fotoğrafçılığı, çiftliklerde kullanım, deniz kurtarma operasyonları, acil durumlarda hava ambulansı ve daha birçok alanda da kullanılmaya başlandı.

Drone adı verilen küçük hava araçları ise, ilk olarak askeri amaçlarla kullanılmaya başlandı. İlk drone kullanımı 1991 yılında ABD tarafından gerçekleştirilmiştir. O günden bu yana, drone kullanımı hızla arttı ve sivil amaçlar için de kullanılmaya başlandı. Bugün, dronelar hava fotoğrafçılığı, kargo teslimatı, tarım, inşaat, film ve televizyon çekimleri, arama kurtarma operasyonları gibi birçok alanda kullanılmaktadır [3]. Ancak, dronelerin artan kullanımı, çarpışma riskini de beraberinde getirdi. Dronelerin havada çarpışması, ciddi hasarlara ve hatta kazalara neden olabilir [4]. Özellikle havalimanları yakınlarında kullanıldığında Şekil 1.1'de görüldüğü gibi ciddi güvenlik sorunlarına yol açabilirler. Bu nedenle, dronelere çarpışma önleyici sistemler eklenmesi gerektiği üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

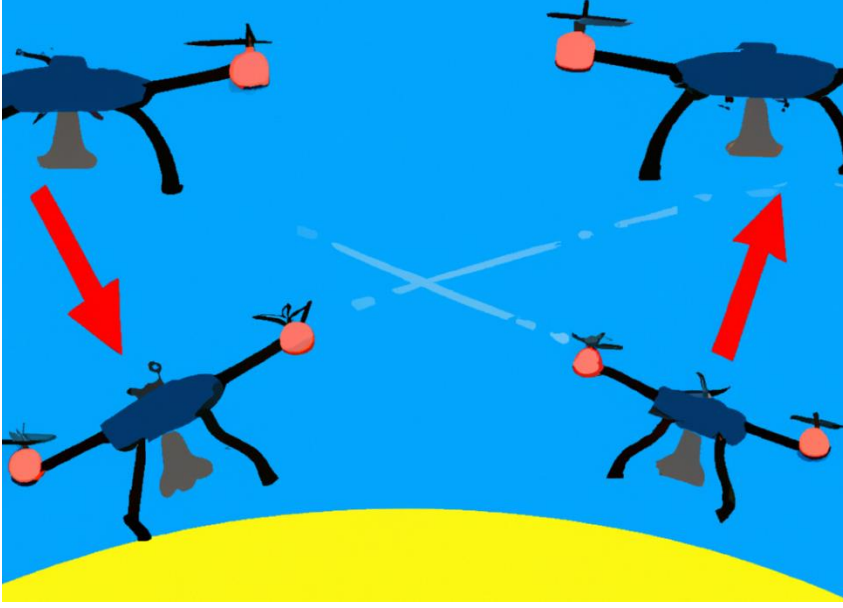
2013 yılında, Amerika Birleşik Devletleri Federal Havacılık İdaresi (FAA), dronelerin ticari kullanımına izin veren bir karar aldı. Bu karar, drone kullanımının artmasına ve dolayısıyla çarpışma riskinin de artmasına neden oldu [5,6]. Ayrıca, birçok ülke, dronelerin kullanımını düzenlemek için yasal düzenlemeler yapmaktadır.

Çarpışma riskinin farkında olan araştırmacılar, dronelere çarpışma önleyici sistemler eklemek için çalışmalar yapmaktadırlar. Bu sistemler, genellikle hava aracının etrafındaki nesneleri tespit etmek için kullanılan sensörler ve algoritmalar içerir. Bu sensörler, örneğin lidar, radar, kameralar gibi cihazlar, hava aracının etrafındaki nesnelerin konumunu tespit ederler. Algoritmalar, bu verileri kullanarak hava aracının çarpışma riski altındaki nesnelere yaklaştığında, hava aracının rotasını değiştirmesini sağlar. Ancak, bu teknolojilerin maliyeti ve karmaşıklığı bazı durumlarda küçük hava araçlarında kullanımını zorlaştırmaktadır.



Şekil 1.1. Drone Çarpışma Görseli

Bu nedenle, daha ucuz ve basit bir yöntem olan RF tabanlı bir çarpışma önleme sistemi önerilmektedir. RF tabanlı sistemler, küçük hava araçlarında yaygın olarak kullanılan Lora modülleri gibi düşük maliyetli bileşenlerle kolayca oluşturulabilirler. Bu çalışmada, RF tabanlı bir çarpışma önleme sistemi tasarlanacak ve prototipi yapılacaktır. Sistem, bir alıcı ve bir verici arasındaki RF haberleşmesi ile çalışacaktır. Verici, küçük hava aracına monte edilecek ve çevresindeki diğer hava araçlarının RF sinyallerini algılayarak çarpışma riski oluştuğunda Şekil 1.2’de gösterildiği şekilde “Yüksel” “Alçal” komutları ile uyarı verecektir. Alıcı, kullanıcının elinde taşıyacağı bir cihaz olacaktır ve vericiden gelen uyarıları kullanıcıya bildirecektir. Bu çalışma ile düşük maliyetli bir çarpışma önleme sistemi tasarlanarak küçük hava araçlarının güvenliği artırılmış olacaktır. Ayrıca, RF tabanlı sistemlerin kullanımının daha da yaygınlaştırılması ve geliştirilmesine katkı sağlanacaktır.



Şekil 1.2. Çarpışma Kaçınma İçin Üretilen Yüksel Alçal Komutları





## 2. DRONELAR VE ÇARPIŞMA ÖNLEME SİSTEMLERİ

Dronelerin tarihi oldukça eskiye dayanmaktadır [7]. İlk olarak 1849 yılında Avusturyalı bir mühendis olan Franz von Uchatius, güvercinleri taklit eden bir oyuncak üretmiştir. Bu oyuncak, özellikle askeri amaçlar için kullanılmıştır. Ardından, 1898 yılında İngiliz icatçı Archibald Low, uzaktan kumandalı bir hava aracı geliştirmiştir. Bu hava aracı, bir uçağı andırmaktadır ve savaşlarda keşif amaçlı kullanılmıştır.

Daha sonra, 1930'larda ve 1940'larda, Almanya ve İngiltere gibi ülkeler, uzaktan kumandalı hava araçlarını geliştirmeye devam etmiştir. Ancak, bu hava araçları genellikle askeri amaçlarla kullanılmıştır. Günümüzde kullanılan dronelar ise, ilk olarak 1980'lerde insansız hava aracı (İHA) olarak adlandırılan askeri araçlar olarak kullanılmıştır. İlk İHA'lar, sadece keşif ve gözetleme amaçları için kullanılmıştır. Ancak, teknolojinin gelişmesi ile, dronelar farklı amaçlar için de kullanılmaya başlanmıştır.

Özellikle son yıllarda, dronelar, çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Örneğin, film ve televizyon endüstrisinde, dronelar, daha önce elde edilemeyen görüntüleri almak için kullanılmaktadır. Ayrıca, inşaat sektöründe, dronelar, projelerin ilerleyişini takip etmek ve hatta inşaat malzemelerini taşımak için kullanılmaktadır. Şekil 2.1'de görülebileceği üzere tarım sektöründe de dronelar, tarım arazilerinin verimliliğini artırmak için kullanılmaktadır [8].

Ancak, dronelerin kullanımıyla birlikte, bazı riskler de ortaya çıkmaktadır. Özellikle, hava sahasında çarpışmaların önlenmesi için bazı düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, dronelerin kullanımı ile ilgili düzenlemeler ve yönetmelikler geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Bu düzenlemeler genellikle dronelerin kullanımına ilişkin sınırlamalar ve kurallar içermektedir.

Örneğin, ABD'de Federal Havacılık İdaresi (FAA) tarafından dronelerin kullanımına ilişkin birçok yönetmelik belirlenmiştir. FAA, dronelerin sınıflandırılmasını yaparak, her sınıf için farklı kurallar belirlemiştir. Bu kurallar, dronelerin kullanım alanını, uçuş yüksekliğini, uçuş süresini, hava sahası kullanımını ve diğer güvenlik unsurlarını kapsamaktadır.

Benzer şekilde, Avrupa Birliğı de dronelerin kullanımına ilişkin yönetmelikler belirlemiştir. 2019 yılında kabul edilen Avrupa Birliğı Drone Yönetmeliği, dronelerin sınıflandırılması, sertifikasyonu, kullanımı, hava sahası kullanımı ve diğer güvenlik unsurlarını kapsayan birçok kurallar içermektedir.

Türkiye'de ise Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından dronelerin kullanımına ilişkin yönetmelikler belirlenmiştir [9]. Bu yönetmelikler, dronelerin kullanımını, sınıflandırılmasını, uçuş kurallarını, hava sahası kullanımını ve diğer güvenlik unsurlarını kapsamaktadır.

Düzenlemelerin amacı, dronelerin güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve hava sahasının güvenliğini korumaktır. Dronelerin kullanımına ilişkin düzenlemelerin her ülkede farklı olması nedeniyle, dronelerin yurt dışına çıkarılması veya yurt dışından getirilmesi durumunda, ilgili ülkelerin düzenlemelerine uygun hareket etmek gerekmektedir.



şekil 2.1. Drone ve Tarımcılık

## 2.1. Çarpışma nleme Sistemi Nedir?

Çarpışma nleme sistemleri, drone ve insansız hava araçları için önemli bir konudur. Bu sistemler, çeşitli sensörler kullanarak hava aracının çevresindeki nesneleri algılayarak, hava aracının çarpışmasını önlemek için otomatik olarak manevra yapmasını sağlar. Bu sistemler

genellikle lazer, ultrasonik, görüntü işleme ve radar sensörleri gibi farklı sensör teknolojileri kullanır. Bununla birlikte, her bir sistemin kendi avantajları ve dezavantajları vardır ve belirli bir uygulama için en uygun seçeneği seçmek önemlidir.

Örneğin, DJI firması, çeşitli modellerinde kullanılan vizyon tabanlı bir sistem olan "Forward Vision System" adlı bir ÇÖS sunmaktadır. Bu sistem, ön tarafta bulunan iki sensör kullanarak drone önünde bulunan nesneleri tespit eder ve pilotu uyarmak için bir uyarı mesajı gönderir. Ayrıca, DJI firması, Matrice 200 serisi drone modellerinde kullanılan bir ÇÖS olan "DJI AirSense" adlı bir sistem de sunmaktadır [10]. Bu sistem, drone çevresindeki uçakları tespit edebilir ve pilotu uyarabilir [11].

Benzer şekilde, Parrot firması, bebop 2 Power drone modelinde kullanılan "frontal kamera sensörü" adlı bir ÇÖS sunmaktadır. Bu sistem, drone önünde bulunan nesneleri tespit eder ve drone'u otomatik olarak yavaşlatır veya durdurur. Ayrıca, bebop 2 Power, GPS, GLONASS ve Galileo gibi çeşitli uydu konumlandırma sistemleri ile de donatılmıştır, bu da drone konumunu daha doğru bir şekilde tespit etmesini sağlar.

Bununla birlikte, bazı drone modelleri sadece bir veya birkaç sensör kullanır ve diğer modellerde ise sensörlerin kombinasyonu kullanılır. Örneğin, son zamanlarda piyasaya sürülen Skydio 2 adlı drone, 6 adet 4K kamera ve 6 adet 200 derece geniş açılı sensör ile donatılmıştır [12]. Bu sensörler, drone çevresindeki nesneleri tespit edebilir ve drone'u otomatik olarak manevra yaparak çarpışmalardan kaçınmasını sağlar.

## **2.2. Mevcut Çarpışma Önleme Sistemleri**

Mevcut çarpışma önleme sistemleri, farklı sensörler kullanarak çalışırlar. Bu sensörler, hava aracının önünde veya çevresindeki nesneleri algılamak için kullanılır. Mevcut sensörler şunları içerebilir:

İkili stereo kamera: İkili stereo kamera, hava aracının önünde bulunan iki kameradan oluşur. Bu kameralar, hava aracının çevresindeki nesnelerin 3 boyutlu bir haritasını oluşturmak için kullanılır. Bu harita, hava aracının hareketini planlamak ve çarpışmaları önlemek için kullanılır.

LiDAR, hava aracının çevresindeki nesneleri lazer ışınlarıyla tarayarak algılamak için kullanılır. Bu sensör, nesnelerin mesafesini ve konumunu hassas bir şekilde ölçebilir ve hava aracının manevra yapmasına yardımcı olur.

Ultrasonik sensörler, hava aracının altındaki yüzeylere yakın nesneleri algılamak için kullanılır. Bu sensörler, hava aracının yüksekliğini kontrol etmek ve düşük hızlarda uçarken çarpışmaları önlemek için kullanılır.

Radar, hava aracının çevresindeki nesneleri elektromanyetik dalgalar kullanarak algılamak için kullanılır. Bu sensör, özellikle düşük ışık koşullarında veya bulutlu havalarda kullanılabilir.

Çarpışma önleme sistemleri ayrıca, hava aracının hızını, yüksekliğini ve yönelimini de takip ederek, hava aracının hareketini planlamak için kullanılan algoritmalar içerirler. Bu algoritmalar, hava aracının çevresindeki nesneleri izleyerek, hava aracının çarpışmasını önlemek için uygun manevraları yaparlar.

Mevcut çarpışma önleme sistemleri, hava aracının çarpışmaları önlemek için başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

### **2.3. İkili Stereo Kamera Kullanan Çarpışma Önleme Sistemleri**

Dronelerin ve insansız hava araçlarının kullanımı giderek arttıkça, güvenli uçuşun sağlanması için çeşitli önlemler alınmaktadır. Bu önlemlerden biri, dronelerde çarpışmaların önlenmesi için ikili stereo kamera kullanılan çarpışma önleme sistemleridir. Bu sistemler, hava aracının önünde bulunan iki kamerayı kullanarak, hava aracının çevresindeki nesnelerin 3 boyutlu bir haritasını oluştururlar. Bu harita, hava aracının hareketini planlamak ve çarpışmaları önlemek için kullanılır.

İkili stereo kamera, hava aracının önünde bulunan iki kameradan oluşur. Bu kameralar, farklı açılardan aynı nesneyi görürler ve bu görüntüleri birleştirerek nesnelerin 3 boyutlu bir haritasını oluştururlar. Bu harita, hava aracının hareketini planlamak ve çarpışmaları önlemek için kullanılır. İkili stereo kamera, diğer sensörlere göre daha az maliyetli ve daha

hafif olduğu için, dronelerde sıkça kullanılmaktadır.

İkili stereo kamera kullanan çarpışma önleme sistemleri, özellikle kapalı alanlarda ve düşük hızlarda uçan dronelar için uygundur. Bu sistemler, hava aracının çevresindeki nesneleri 3 boyutlu bir harita şeklinde algıladığı için, hava aracının çevresindeki nesnelere ve yüzeylere daha hassas bir şekilde yaklaşmasını sağlar. Bu da dronelerde daha güvenli ve hassas manevralar yapılmasına olanak tanır.

İkili stereo kamera kullanan çarpışma önleme sistemleri, aynı zamanda yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek için de kullanılabilir. Bu görüntüler, dronelerde haritalama ve görüntü işleme uygulamalarında kullanılabilir. Örneğin, tarım alanları veya endüstriyel tesislerde kullanılan dronelar, çiftçilerin veya tesis yöneticilerinin toprak ve tesislerinin durumunu izlemelerine yardımcı olmak için yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edebilirler.

İkili stereo kamera kullanan çarpışma önleme sistemleri, dronelerde ve insansız hava araçlarında kullanılan çarpışma önleme sistemleri için avantajlar sağlamakla birlikte, bazı dezavantajlara da sahiptir. Aşağıda bu dezavantajlar hakkında daha ayrıntılı bilgi verilmiştir:

İkili stereo kamera kullanan çarpışma önleme sistemleri, düşük ışık koşullarında performanslarında düşüş yaşayabilirler. Bu durum, kameranın düşük ışıktaki daha az hassas ve net görüntüler sağlamasıyla ilgilidir.

Bulutlu havalarda, ikili stereo kamera kullanan çarpışma önleme sistemleri performanslarında düşüş yaşayabilirler. Bu durum, kameraların nesneleri tespit ederken bulutların da algılanmasıyla ilgilidir. Bulutlar, nesnelerin doğru bir şekilde algılanmasını engelleyebilir ve bu da çarpışma önleme sisteminin performansını etkileyebilir.

İkili stereo kamera kullanan çarpışma önleme sistemleri, yansıtıcı yüzeylerde hatalar oluşabilir. Örneğin, bir cam yüzeyin önünde uçan bir drone, kameranın yansıtıcı bir görüntü algılamasına neden olabilir. Bu durumda, çarpışma önleme sistemi, yanlış bir nesne tespiti yaparak hatalı bir şekilde hareket edebilir.

İkili stereo kamera kullanan çarpışma önleme sistemleri, sınırlı bir görüş açısına sahip olabilirler. Bu durum, kameraların sadece hava aracının önünde bulunması nedeniyle oluşur.

Bu da, hava aracının yan, arkası veya üst tarafındaki nesnelerin tespit edilmesini zorlaştırabilir.

İkili stereo kamera kullanan çarpışma önleme sistemleri, diğer sensörlere göre daha az maliyetli olsa da yine de yüksek maliyetli olabilirler. Bu nedenle, bu sistemlerin yaygın olarak kullanımı, maliyetlerin düşürülmesiyle mümkün olabilir.

İkili stereo kamera kullanan çarpışma önleme sistemleri, dronelerde ve insansız hava araçlarında kullanılan diğer çarpışma önleme sistemleri gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Ancak, bu sistemler, diğer sensörlere göre daha hafif ve daha az maliyetli oldukları için, dronelerde çokça tercih edilmektedir.

#### **2.4. Lidar Kullanan Çarpışma Önleme Sistemleri**

Günümüzde drone kullanımı giderek artmaktadır ve dronelerde çarpışmalar, önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu sorunu çözmek için, lidar teknolojisi, dronelerde kullanılan çarpışma önleme sistemleri için popüler bir çözüm haline gelmiştir. Lidar teknolojisi, yüksek doğruluklu üç boyutlu haritalama yapabilen bir sensör teknolojisidir ve dronelerde çarpışma önleme sistemleri için kullanılması, birçok avantaj sağlamaktadır.

Lidar teknolojisi, diğer sensörlerle karşılaştırıldığında, birçok avantaj sağlar. Bunlardan bazıları şunlardır. Lidar teknolojisi, çok yüksek hassasiyete sahiptir ve nesnelerin konumlarını, boyutlarını ve şekillerini doğru bir şekilde algılayabilir. Bu, çarpışma önleme sistemlerinin daha doğru ve güvenilir olmasını sağlar. Lidar teknolojisi, çok yüksek çözünürlüklü 3D haritalar oluşturabilir. Bu, dronelerdeki çarpışma önleme sistemlerinin nesneleri çok daha net bir şekilde tespit edebilmesini sağlar. Lidar teknolojisi, diğer sensörlerle karşılaştırıldığında daha uzak mesafelerde çalışabilir. Bu, dronelerin çevrelerindeki nesneleri daha önceden algılayabileceği ve daha iyi bir çarpışma önleme sağlayabileceği anlamına gelir. Lidar teknolojisi, diğer sensörlerle karşılaştırıldığında daha yüksek hızda çalışabilir. Bu da dronelerin daha hızlı tepki vermesini ve çarpışmaları önlemesini sağlar. Lidar teknolojisi, farklı hava koşullarında çalışabilir. Bu, dronelerde çarpışma önleme sistemlerinin farklı hava koşullarında da etkin bir şekilde çalışabileceği anlamına gelir.

Lidar teknolojisi, dronelerde çarpışma önleme sistemleri için kullanıldığında, drone etrafındaki nesneleri tespit etmek için kullanılır. Lidar, laser ışınları yayar ve bu ışınlar, çevredeki nesnelere çarparak geri yansır. Lidar sensörleri, bu yansıyan ışınları algılar ve nesnelerin konumlarını, boyutlarını ve şekillerini belirleyebilir. Dronelar, lidar sensörleri ile donatılmıştır ve bu sensörler, drone etrafındaki nesneleri sürekli olarak tarar. Lidar sensörleri, çevredeki nesnelerin konumlarını ve hareketlerini belirleyebilir ve bu bilgiler, drone bir çarpışma riski algıladığında hız ve rotasını otomatik olarak değiştirmesini sağlar. Lidar sensörleri, yüksek çözünürlüklü 3D haritalar oluşturabilir ve bu haritalar, drone çevresindeki nesnelerin daha detaylı bir şekilde görüntülenmesini sağlar. Bu, drone daha doğru bir şekilde çarpışma risklerini tespit etmesini ve önlemesini sağlar. Lidar teknolojisi ile donatılmış dronelar, özellikle düşük ışık koşullarında çalışabilirler. Lidar sensörleri, Şekil 2.2’de görüleceği üzere laser ışınları yayar ve bu ışınlar, çevredeki nesnelere çarptığında geri yansır. Bu nedenle, drone çevresini tararken, ışığın yetersiz olduğu durumlarda bile nesneleri tespit edebilir. Lidar teknolojisi, dronelerde çarpışma önleme sistemleri için oldukça etkili bir çözümdür. Lidar sensörleri, yüksek hassasiyetleri, yüksek çözünürlükleri ve uzak mesafelerde çalışabilme yetenekleri ile diğer sensörlere göre daha doğru ve güvenilir bir çarpışma önleme sağlar. Lidar teknolojisi, ayrıca farklı hava koşullarında da çalışabilme özelliğine sahiptir, bu da dronelerin her türlü hava koşulunda etkili bir şekilde çalışmasını sağlar.

Lidar teknolojisi, dronelerde çarpışma önleme sistemleri için oldukça etkili bir çözümdür. Ancak, lidar teknolojisinin bazı dezavantajları da vardır. Lidar sensörleri oldukça pahalıdır. Bu nedenle, lidar teknolojisini kullanan dronelar, diğer sensörlere göre daha yüksek maliyetlidir. Lidar sensörleri, diğer sensörlere göre daha ağırdır. Bu nedenle, lidar teknolojisini kullanan dronelar, daha ağır ve daha az manevra kabiliyetine sahip olabilirler. Lidar sensörleri, diğer sensörlere göre daha fazla enerji tüketirler. Bu nedenle, lidar teknolojisini kullanan dronelerin uçuş süreleri daha kısa olabilir. Lidar sensörleri, belirli bir açıda çalışırlar. Bu nedenle, lidar teknolojisini kullanan dronelerin etrafındaki tüm nesneleri tespit etmeleri mümkün olmayabilir. Özellikle, drone hareket yönüne dik açılarda bulunan nesneleri tespit etmekte zorluk yaşayabilirler. Lidar sensörleri, yoğun sis, yağmur, kar veya tozlu hava koşullarında doğru çalışmayabilirler. Bu nedenle, dronelar, lidar sensörleri ile donatılmış olsa bile, belirli hava koşullarında güvenilir bir şekilde çalışamayabilirler. Lidar sensörleri, yüzey özelliklerine ve yansıtıcı nesnelere göre farklı sonuçlar verebilir. Örneğin, su yüzeyi gibi yansıtıcı yüzeylerde yanıltıcı sonuçlar verebilirler. Ayrıca, birden fazla lidar

sensörünün bir arada kullanılması, çakışma ve diğer hatalara neden olabilir. Bu dezavantajlar, lidar teknolojisinin dronelerde çarpışma önleme sistemleri için kullanılmasını sınırlayabilir. Ancak, lidar teknolojisi hala diğer sensörlere göre daha doğru ve güvenilirdir, bu nedenle drone üreticileri, lidar teknolojisini daha yaygın bir şekilde kullanmaya devam etmektedirler.



Şekil 2.2. Lidar Sistemine Sahip Drone

## 2.5. Ultrasonik Sensör Kullanan Çarpışma Önleme Sistemleri

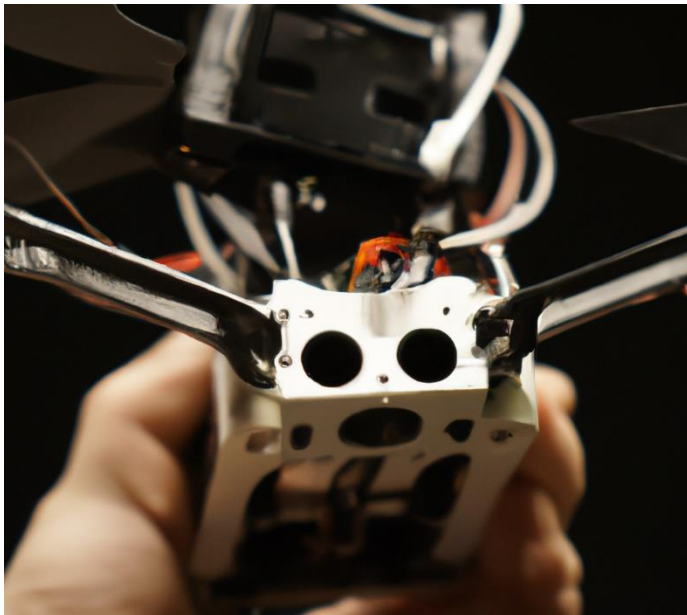
Ultrasonik sensörler, yüksek frekanslı ses dalgaları kullanarak, drone yakınındaki nesneleri tespit ederler. Bu sensörler, özellikle kapalı alanlarda, duvar, tavan gibi yüzeylerle çarpışmaları önlemek için kullanılır. Ultrasonik sensörlerin çalışma prensibi, yüksek frekanslı ses dalgalarının yüzeylere çarptıktan sonra yansması ve sensörler tarafından bu yansımanın algılanması şeklindedir. Bu sayede drone, yakınındaki nesneleri tespit edebilir ve çarpışmayı önleyebilir.

Ultrasonik sensörler, diğer çarpışma önleme teknolojilerine göre oldukça ucuzdur. Bu nedenle, drone üreticileri bu sensörleri çarpışma önleme sistemleri için sıklıkla tercih etmektedirler. Ultrasonik sensörler, diğer sensörlere göre daha hafiftirler. Bu nedenle, dronelere ek yük getirmezler ve drone performansını etkilemezler. Ultrasonik sensörler, diğer sensörlere göre daha hassas bir ölçüm yaparlar. Bu nedenle, dronelerin çevrelerindeki nesneleri daha doğru bir şekilde tespit edebilirler. Ultrasonik sensörler, iç mekan kullanımı için uygun olan sensörlerdir. Bu nedenle, dronelerde iç mekanlarda uçarken kullanılabilecekleri için, örneğin depolama alanları, fabrikalar ve depolar gibi kapalı alanlar



için idealdirler. Ultrasonik sensörler, diğer sensörlere göre daha güvenilirlerdir. Bu nedenle, çarpışma önleme sistemlerinin çalışması için güvenilir bir sensör gerektiğinde, ultrasonik sensörler tercih edilir. Şekil 2.3'te ultrasonik sensöre sahip bir drone resmi gösterilmektedir.

Ancak, ultrasonik sensörlerin bazı dezavantajları da vardır. Ultrasonik sensörler, nesneleri tespit etmek için yüksek frekanslı ses dalgaları kullanır. Bu dalgalar, belirli bir mesafeden sonra yeterince güçlü olmayabilir ve nesneleri tespit edemezler. Bu da dronelerin yüksek hızlarda uçarken yakındaki nesneleri tespit etmelerini zorlaştırabilir. Ultrasonik sensörler, tespit etmek için kullanılan yüksek frekanslı ses dalgalarının yansıması ile çalışır. Ancak, bu dalgalar bazı yüzeylerde, özellikle pürüzlü veya yapışkan yüzeylerde yansıyamayabilir. Bu durumda sensör, nesneyi doğru bir şekilde tespit edemez ve yanlış veri sağlayabilir. Ultrasonik sensörler, çevre koşullarına duyarlıdır. Özellikle yağmur, kar, sis ve toz gibi hava koşulları, sensörlerin doğru bir şekilde çalışmasını engelleyebilir. Bu da dronelerin havada uçarken çarpışma riskini artırabilir. Ultrasonik sensörler, yüksek frekanslı ses dalgaları ürettikleri için, bazı durumlarda insanlar veya hayvanlar için rahatsız edici bir ses seviyesi oluşturabilirler. Ultrasonik sensörler, diğer sensörlere göre daha düşük çözünürlüğe sahiptirler. Bu nedenle, sensörlerin tespit edebileceği en küçük nesne boyutu daha büyük olabilir ve dronelerin hassasiyetini sınırlayabilir.



Şekil 2.3. Ultrasonik Sensör Sistemine Sahip Drone

## 2.6. Radar Kullanan Çarpışma Önleme Sistemleri

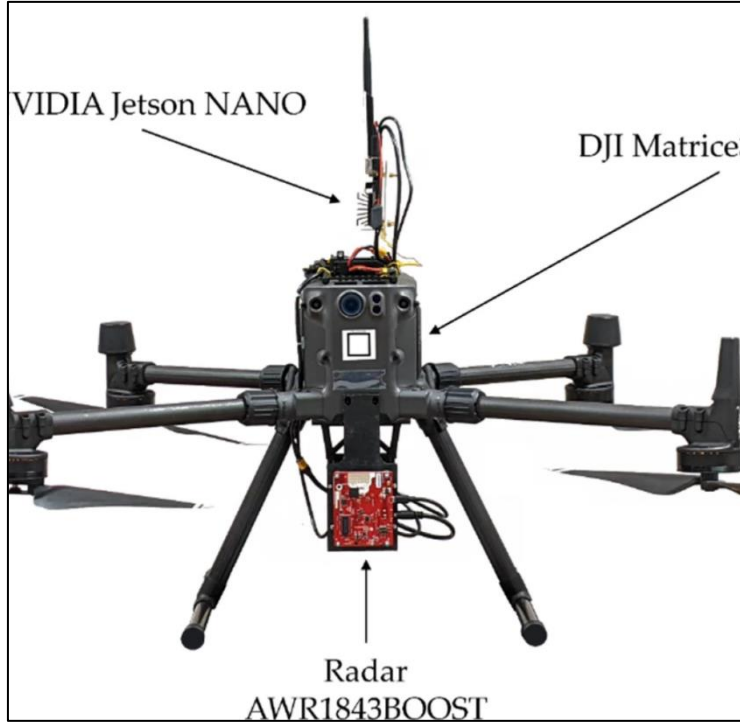
Dronelerin kullanımı hızla artarken, insansız hava araçlarının (İHA) çarpışmalarının ciddi bir tehlike oluşturduğu bilinmektedir. Bu nedenle, İHA'ların çarpışmalarını önlemek için geliştirilen çeşitli teknolojilerden biri de radar tabanlı çarpışma önleme sistemleridir.

Radar, İHA'ların kullanımı için ideal bir sensör çözümüdür. Yüksek hassasiyeti ve yüksek çözünürlüğü ile, radar, hava araçlarının çevresindeki nesneleri tespit etmek için kullanılabilir. Radar, düşük ışık koşullarında bile çalışabilir ve ayrıca yağmur, sis, kar veya toz gibi hava koşullarından etkilenmez.

Radar tabanlı çarpışma önleme sistemleri, Şekil 2.4'te gösterildiği gibi İHA'nın önüne yerleştirilen bir radar anteni kullanarak çevredeki nesneleri tespit eder. Radar, nesnelerin mesafesini, hızını ve yönünü ölçer. Bu veriler, İHA'nın hareketini yönlendirmek için kullanılabilir. Örneğin, eğer radar, İHA'nın bir nesneye yaklaşmakta olduğunu tespit ederse, İHA'nın hızını ve yönünü otomatik olarak değiştirebilir. Bu, İHA'nın çarpışmasını önleyebilir.

Radar tabanlı çarpışma önleme sistemleri, aynı zamanda, diğer sensörlere göre daha uzun mesafelerde çalışabilirler. Özellikle, yüksek hızlı İHA'lar için ideal bir çözümdürler. Bu sistemler, bir İHA'nın önündeki yolu tespit etmek için kullanılabilir ve İHA'nın düşük hızlarda bile etkili bir şekilde çalışmasını sağlar.

Ancak, radar tabanlı çarpışma önleme sistemlerinin bazı dezavantajları da vardır. Bunlar şunlardır. Radar tabanlı çarpışma önleme sistemleri, diğer sensörlere göre daha pahalıdır. Bu nedenle, radar tabanlı çarpışma önleme sistemlerini kullanmak, maliyetli olabilir. Radar anteni, İHA'nın ağırlığını artırabilir. Bu da İHA'nın performansını ve uçuş süresini etkileyebilir. Radar tabanlı çarpışma önleme sistemleri, bazen nesnelerin tespit edilmesi veya yanlış pozitif uyarılar vermesi gibi hatalar yapabilir. Bu durumlar, İHA'nın uçuşunu engelleyebilir veya güvenlik riski oluşturabilir.



Şekil 2.4. Radar Sistemine Sahip Drone

## 2.7. Çarpışma Önleme Sistemleri Performans Değerlendirmesi

Günümüzde havacılık endüstrisinde hızla gelişen teknolojiler ile çarpışma önleme sistemleri de önemli bir gelişme kaydetmiştir. Çarpışma önleme sistemleri, birçok farklı sensör teknolojisi kullanarak çalışabilir. Bu sistemler, herhangi bir çarpışma riski tespit edildiğinde, hava aracını otomatik olarak yönlendirir veya uyarı vererek pilotu uyarır.

Çarpışma önleme sistemlerinin performansı, kullanılan sensör teknolojisi, sensörlerin hassasiyeti ve doğruluğu, yazılım algoritmaları ve donanım kalitesi gibi birçok faktöre bağlıdır. Bunların hepsi, çarpışma önleme sistemlerinin doğruluğunu, hassasiyetini ve yanıt süresini etkileyebilir.

Performans, birçok farklı parametre kullanılarak ölçülebilir. Örneğin, bir çarpışma önleme sistemi, tespit edilen bir engeli ne kadar erken tespit edebilir ve ne kadar hızlı tepki verebilir? Bu, sensörlerin doğruluğu ve yanıt süresi ile ilgilidir. Ayrıca, çarpışma önleme sistemi, kaç engeli tespit edebilir ve bunları ne kadar doğru bir şekilde takip edebilir? Bu da sensörlerin hassasiyeti ve algoritma kalitesi ile ilgilidir.

Diğer bir performans parametresi, yanlış alarm oranıdır. Yanlış alarm oranı, çarpışma önleme sistemi tarafından tespit edilen engellerin gerçekte olmayabileceği veya tehlike oluşturmayabileceği durumlardaki uyarı sayısıdır. Yanlış alarm oranı, özellikle yoğun trafikli bölgelerde ve yüksek hava trafiği olan alanlarda önemlidir.

Performansın bir diğer önemli yönü, çarpışma önleme sistemi tarafından tespit edilen engellerin doğru bir şekilde takip edilip takip edilmediğidir. Eğer engeller doğru bir şekilde takip edilmiyorsa, hava aracı, yanlış bir yöne yönlendirilebilir veya hatta bir engel ile çarpışabilir.

Son olarak, çarpışma önleme sistemlerinin performansı, sistemlerin test edildiği koşullara da bağlıdır. Örneğin, sistemin performansı, güneşli, yağmurlu veya sisli hava koşullarında farklı olabilir. Bu nedenle, çarpışma önleme sistemlerinin performansının test edilmesi, gerçek dünya koşullarına en yakın şekilde yapılmalıdır.

Çizelge 2.1. ÇÖS Performans Karşılaştırması

| Sensör Türü | Açıklama                                                      | Avantajları                                 | Dezavantajları                                               |
|-------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Lidar       | Lazer ışınları kullanarak nesnelerin mesafesini ölçer         | Yüksek hassasiyet, hızlı tepki süresi       | Sisli veya yağmurlu havalarda etkilenme, yansıma problemleri |
| Radar       | Radyo dalgalarını kullanarak nesnelerin mesafesini ölçer      | Uzun menzilli algılama, geniş kapsama alanı | Hassasiyeti düşük, yüksek enerji tüketimi                    |
| Ultrasonik  | Ultrasonik dalgaları kullanarak nesnelerin mesafesini ölçer   | Düşük maliyet, düşük enerji tüketimi        | Düşük hassasiyet, yüksek gürültü seviyesi                    |
| Kamera      | Görüntü işleme teknolojisini kullanarak nesneleri tespit eder | Yüksek çözünürlük, geniş kapsama alanı      | Işık koşullarına bağımlı, yüksek maliyet                     |

### 3. IFF SİSTEMİ VE TCAS

Dronelerin farklı uygulamalar için kullanımı giderek artarken, hava aracı ile aynı hava sahasında güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak önemli hale gelmektedir. Güvenli drone işletmelerini sağlamak için en kritik konulardan biri de trafik çarpışma önleme sistemlerinin geliştirilmesidir.

Trafik çarpışma önleme sistemleri (TCAS), uçaklar arasında meydana gelebilecek orta hava çarpışmalarını önlemek için birçok yıldır insanlı havacılıkta kullanılmaktadır. Bu sistemler, radar ve GPS gibi çeşitli sensörler kullanarak diğer uçakların pozisyonunu takip eder ve pilotlara çarpışmayı önlemek için uyarılar ve rehberlik sağlar [13].

Son yıllarda, benzer çarpışma önleme sistemleri dronelar için de geliştirilmiştir. Bu sistemler, kamera, lidar ve radar gibi çeşitli sensörleri kullanarak engelleri ve diğer hava araçlarını algılamak ve kaçınmak için kullanılır. Bazı sistemler, diğer hava araçlarının doğrultusunu tahmin etmek ve çarpışmayı önlemek için en iyi hareket tarzını hesaplamak için sofistike algoritmalar kullanır.

Drone işletmelerinde kullanılabilecek birkaç TCAS türü vardır. En yaygın olanlardan biri, engelleri tespit etmek ve takip etmek için lidar sensörleri kullanan bir sistemdir. Lidar, lazer darbeleri göndererek ve darbelerin drone yolu üzerindeki nesnelerden yansıması için geçen süreyi ölçerek çalışır. Gönderilen ve yansıyan lazer darbeleri arasındaki zaman gecikmesini analiz ederek, sistem drone ortamında 3D bir harita oluşturabilir ve yolundaki engelleri tespit edebilir.

Dronelar için kullanılan diğer bir TCAS türü, RF iletişimine dayanmaktadır. Bu sistemler, diğer hava araçlarını tespit etmek ve takip etmek için radyo dalgalarını kullanır ve pilotlara gerçek zamanlı olarak konum hakkında bilgi sağlar. Bazı RF tabanlı TCAS sistemleri ayrıca yer tabanlı hava trafik kontrolörleri ile iletişim kurarak drone konumu hakkında bilgi sağlayabilirler.

### 3.1. TCAS Tarihçesi

Yıllar geçtikçe, hava trafiği artmaya devam etti. Modern hava trafik kontrol sistemlerindeki gelişmeler, gerekli güvenlik seviyelerini korurken bu artışla başa çıkmayı mümkün kılmıştır. Çarpışma riski, “gör ve kaçın” ilkesini uygulayan ve diğer uçaklardan uzak duran pilotlar ve uçakları ayrı tutmaktan sorumlu yer tabanlı Hava Trafik Kontrolü (ATC) tarafından azaltılır. ATC sistemlerindeki teknik gelişmelere rağmen, insan veya teknik bir hata nedeniyle ayırma hükmünün başarısız olduğu durumlar vardır. Herhangi bir ayırma sağlama hatası, havada çarpışma riskinin artmasına neden olabilir. "Gör ve kaçın" ve ATC performansının herhangi bir sınırlamasını telafi etmek için, 1950'lerden itibaren son çare olarak hareket eden bir havadan çarpışma önleme sistemi düşünülmüştür. 1955'te Dr John S. Morrel, çarpışmadan kaçınma algoritmaları için (yani, en yakın yaklaşma noktasına olan mesafe yerine süre) kapanış hızına veya menzile oranına bölünen uçaklar arasındaki eğik menzilin kullanılmasını önerdi. Günümüzün hava kaynaklı çarpışma önleme sistemi bu konseptte dayanmaktadır. 1956'da, ABD'de Büyük Kanyon üzerinde iki uçak arasında meydana gelen çarpışma, hem havayollarını hem de havacılık yetkililerini havadan bir çarpışma önleme sisteminin geliştirilmesini ilerletmeye sevk etti [14]. 1960'ların başında, teknik sınırlamalar nedeniyle geliştirmenin genel konseptin ötesine geçemeyeceği belirlendi. 1960'ların sonlarında ve 1970'lerin başlarında, birkaç üretici prototip uçak çarpışma önleme sistemleri geliştirdi. Bu sistemler, aşamalı uçak karşılaşma testi sırasında düzgün çalışmasına rağmen, normal havayolu operasyonlarında, bu sistemlerin yoğun terminal alanlarında yüksek oranda gereksiz alarm üreteceği sonucuna varıldı. Bu sorun, uçuş ekipleri nezdinde sistemin güvenilirliğini baltalayabilirdi. 1970'lerin ortalarında, Beacon Çarpışma Önleme Sistemi (BCAS) geliştirildi. BCAS, bir davetsiz misafirin 2 sinyalini belirlemek için Hava Trafik Kontrol Radar İşaret Sistemi (ATCRBS) transponderlerinden gelen menzile ve yükseklik verilerini kullandı. 1978'de, San Diego, California üzerinde bir hafif uçak ile bir uçak arasındaki çarpışma, ABD Federal Havacılık İdaresinin, üç yıl sonra, sorgulama için temel BCAS tasarımına bazı ek yetenekler ekleyerek TCAS'ın (Trafik uyarısı ve Çarpışma Önleme Sistemi) geliştirilmesini başlatmasına yol açtı.

### 3.2. ACAS ve TCAS

ACAS terimi tipik olarak standarda (Örneğin: Standard: ICAO Annex 10 vol. IV) veya konsepte atıfta bulunurken, TCAS uygulamaya atıfta bulunurken kullanılır. Ancak her iki terim de birbiri yerine kullanılmaktadır.

### 3.3. ACAS Prensipleri

ACAS, antenler aracılığıyla civardaki uçakların ICAO standartlarına uygun transponderlerini sorgular. Gelen cevaplara göre sistem eğitim mesafesini, irtifayı (dahil edildiğinde) ve çevredeki trafiğin yönünü takip eder. TCAS cihazları iki tür uyarı verebilir. Bu uyarı türleri aşağıdaki başlıklarda açıklanmıştır.

#### 3.3.1 Trafik tavsiyesi

Bir Trafik Çarpışma Önleme Sisteminde, bir trafik tavsiyesi (TA), bir uçağın pilotuna, civarda potansiyel bir çarpışma tehdidi oluşturabilecek diğer uçakların varlığı konusunda onları uyarmak için verilen bir bildirimdir. TCAS sistemi, uyarıyı alan uçağa belirli bir mesafe içinde başka bir hava aracı tespit ettiğinde yatay ve dikeyde 48 saniye kala bir TA verilir ve pilota diğer hava aracının konumu, irtifası ve uçuş yolu hakkında bilgi sağlamayı amaçlar. TA, pilotun herhangi bir acil eylemde bulunmasını gerektirmez, bunun yerine pilotun diğer hava aracı hakkında farkındalığını korumasına ve gerektiğinde uygun eylemi yapmasına yardımcı olmak için bir uyarı uyarısı işlevi görür. ACAS ekipmanı bir RA'dan 20 saniye öncesine kadar bir TA üretebilir [15].

TCAS sistemi, bir çarpışmayı önlemek için daha acil bir müdahalenin gerekli olduğunu belirlerse, TA yerine bir çözüm tavsiyesi (RA) yayınlayabilir.

#### 3.3.2 Çözüm tavsiyesi

Çözüm-Çözünürlük tavsiyesi (RA), çevrelerindeki diğer uçaklarla olası çarpışmalar konusunda pilotları uyarmak için bir TCAS tarafından verilen bir uyarı türüdür. Potansiyel çatışmanın güvenli bir şekilde nasıl çözüleceğine dair rehberlik sağlayarak pilotların havada çarpışmalardan kaçınmasına yardımcı olmak için tasarlanmıştır. Herhangi bir potansiyel

Çarpışmada, ACAS en yakın noktadan nominal olarak 15 ile 35 saniye önce bir RA oluşturur [16].

Bir RA verildiğinde, TCAS pilotlara nasıl yanıt vereceklerine ilişkin talimatlarla birlikte görsel ve/veya işitsel bir uyarı görüntüler. Örneğin, TCAS pilotlara diğer uçaktan kaçınmak için "climb" veya "descend" talimatı verebilir. RA, yüksek stresli durumlarda bile pilotların anlaması ve takip etmesi kolay olacak şekilde tasarlanmıştır çünkü TCAS 2'nin performansını etkileyen en önemli faktör, pilotların RA'lara tepkisidir [17,18]

### **3.4 ACAS Standartları**

ICAO Annex 10 içerisinde 3 tip ACAS tanımlanmıştır. Bu standartlar sırasıyla açıklanacak olursa;

#### **3.4.1 ACAS/TCAS 1**

Çarpışma  nleme sistemlerinin en eski modudur. Bu, 1970'lerde geliştirilen ilk nesil TCAS idi. Yakındaki diğer uçakların pilotlarını tespit etmek ve uyarmak için tasarlandı, ancak herhangi bir kaçınma eylemi yapma kabiliyetine sahip değildir. Sadece TA verir [19]. TCAS 1' in temel amacı, pilotların tehditleri görsel olarak elde etmelerine yardımcı olmaktır; çarpışmadan kaçınma manevra yönü pilotların takdirine bırakılmıştır. TCAS 1 operasyonları TCAS 2 ile koordine edilemez. ACAS 1, ABD hava sahasında faaliyet gösteren bazı uçaklarda hâlâ zorunlu tutulmakta veya izin verilmektedir. Avrupa'da TCAS 1, mevcut Avrupa yetkisi dışındaki bazı uçaklarda bulunabilir (yani, askeri veya zorunlu ağırlık veya yolcu koltuğu sayısı eşiklerinin dışında kalanlar). TCAS sisteminin daha yeni, daha gelişmiş sürümleri ile değiştirildiği için TCAS 1 artık yaygın olarak kullanılmamaktadır.

#### **3.4.2 ACAS/TCAS 2**

TCAS 2 (Trafik  arpışma  nleme Sistemi), uçaklar arasındaki çarpışmaları önlemek için tasarlanmış TCAS sisteminin daha yeni bir versiyonudur. 1980'lerde geliştirilen ikinci nesil TCAS idi. Pilotlara olası bir çarpışmadan nasıl ka ınılacağına dair talimatlar olan RA



sağlama yeteneğini ekledi. TCAS II, çatışmaları çözmek için diğer uçağın TCAS sistemi ile de koordine olabilir.

TCAS 2, eski TCAS 1 sistemine kıyasla birden fazla çakışan trafik durumunu çözme yeteneği ve farklı irtifalarda uçan uçaklar için geliştirilmiş dikey çözünürlük sağlama yeteneği gibi ek özellikler ve yetenekler içerir. Yani bu sistem hem TA hem de RA üretir [20]. Ancak ürettiği çözüm tavsiyeleri sadece dikey istikamettedir. Modern uçaklarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 3.4.3 ACAS/TCAS 2 versiyonları

1980'ler boyunca, TCAS 2'nin ilk sürümlerinin performans değerlendirmeleri, ekipman ve yazılımın kademeli olarak geliştirilmesine katkıda bulundu. Eylül 1989'da 6.02 sürümünün tasarımı tamamlandı ve Nisan 1990'dan itibaren faaliyete geçti. TCAS 2 sistem performansını belirlemek için ICAO, 1980'lerin sonlarında dünya çapında bir operasyonel değerlendirme yaptırdı. Değerlendirme 1990'ların başında yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda birtakım iyileştirmeler önerilmiştir. Bu, 1993 yılında 6.04a sürümünün geliştirilmesine ve piyasaya sürülmesine yol açtı. Yeni sürüm, alçak irtifalarda ve seviye atlama karşılaşmaları sırasında meydana gelen rahatsız edici uyarıların sayısını azaltmayı amaçlıyordu. Ne 6.02 ne de 6.04a sürümü ICAO ile uyumlu değildi. Sürüm 6.02 daha uzun süre kullanılıyor. Sürüm 6.04a, ABD hava sahasında faaliyet gösteren bazı uçaklarda hâlâ zorunludur veya izin verilmektedir. Avrupa'da sürüm 6.04a, mevcut Avrupa yetkisi dışındaki uçaklarda bulunabilir (yani, askeri veya zorunlu ağırlık veya yolcu koltuk sayısı eşiklerinin altındakiler).

6.04a sürümünün uygulanmasından sonra, daha ileri operasyonel değerlendirmeler gerçekleştirildi ve önerilen performans iyileştirmeleri, 7.0 sürümünün geliştirilmesine yol açtı. Aralık 1997'de onaylandı ve 1999'un başında kullanıma sunuldu. Sürüm 7.0, hava trafik kontrol sistemi ile TCAS II uyumluluğunu daha da geliştirdi. Versiyon 7.0, ICAO ile uyumlu olan ilk TCAS II versiyonuydu. Bu sürüm kullanımı süresinde güvenlik ile ilgili konular da izlenmiştir ve bazı durumlarla karşılaşmıştır. 2000 yılında Avrupa'da tanıtılmasından bu yana, TCAS II sürüm 7.0 izleme konusu olmuştur. Kaydedilen ve bildirilen olayların analizi sırasında, pilotların “Dikey hızı ayarla” Çözüm Önerilerine (RA'lar) doğru yanıt vermediği birçok durum bulundu dikey hız azaltılmak yerine artırıldı. Ek olarak, iki yakınsayan uçak

100 fit içinde kaldığında, TCAS II sürüm 7.0'ın bir RA'yı tersine çeviremediği birkaç durum da olmuştur. Bu tip senaryo, bir uçak RA'yı takip etmediğinde veya TCAS II donanımlı olmadığında ve bir ATC talimatını takip ettiğinde veya görsel edinime dayalı bir kaçınma manevrası gerçekleştirdiğinde meydana gelir [15]. Sürüm 7.0, ABD hava sahasında ve dünyanın diğer bölgelerinde faaliyet gösteren birçok uçakta hala zorunludur veya izin verilmektedir. Avrupa'da 7.0 sürümü, mevcut Avrupa yetkisi dışındaki hava taşıtlarında karşılaşılabılır.

TCAS II sürüm 7.1, ICAO ve Avrupa zorunluluklarının mevcut gereksinimlerini karşılayan tek ACAS sürümüdür ve 2008'de yayınlanmıştır [7]. TCAS performansını iyileştirmek için uygulanan iki büyük değişiklikle birlikte sürüm 7.0 performansının kapsamlı bir analizine dayalı olarak geliştirilmiştir.

#### **3.4.4 ACAS/TCAS 3**

1990'larda geliştirilen üçüncü nesil TCAS idi. Pilotlara dikey RA'lar sağlama kabiliyetini ekleyerek, irtifayı değiştirerek çarpışmalardan kaçınmalarına izin verdi. TCAS III ayrıca çatışma çözümü için gelişmiş algoritmalara sahipti ve birden fazla çakışan uçağı idare edebiliyordu. TCAS 2'deki gibi hem TA hem de RA üretir olmasının yanı sıra bu cihazda verilen çözüm tavsiyeleri TCAS 2 sistemlerinden farklı olarak hem dikey hem de yatay istikamettir. Ancak bu sistem ile alakalı çalışmalar durdurulmuştur ve kullanılmamaktadır.

#### **3.5. IFF Sistemi Nedir?**

Dost veya Düşman Tanımlama sistemi olarak adlandırılır. Bu, bir hava savunma sisteminde kullanılan bir teknolojidir ve hava sahasındaki uçakların tanımlanmasını ve kimliklerinin tespit edilmesini amaçlar.

IFF sistemi, bir uçak veya helikopter gibi hava aracının hava savunma sistemine gönderdiği bir sinyali alır ve bu sinyali kullanarak araç hakkında bilgi toplar. Bu bilgi, araç türü, kimliği ve hava sahasında hangi amaçla bulunduğu gibi bilgileri içerebilir. Bu bilgiler, hava

savunma sistemine bağı radarlar veya diğr algılama cihazları tarafından toplanır ve IFF sistemi tarafından değrlendirilir.

IFF sistemi, hava savunma sistemlerinin düşman uçaklarını tanımasını ve doğru şekilde tespit etmesini sağlar. Bu sayede, hava savunma sistemi düşman uçaklarını vurmak veya onları uzak tutmak için doğru önlemleri alabilir. Aynı zamanda, IFF sistemi, arkadaş uçaklarının yanlışlıkla hedef alınmasını önler ve bu sayede hava savunma sistemi tarafından yapılan hatalı saldırıları önler.

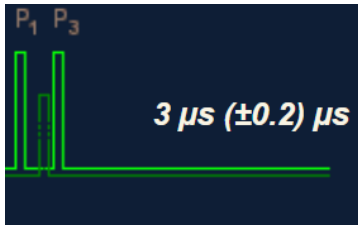
IFF sistemi, hava savunma sistemlerinin yanı sıra askeri ve sivil hava taşımacılığı gibi alanlarda da kullanılabilir. Bu sistem, hava sahasında güvenliği ve uçuş güvenliğini artırmak amacıyla kullanılır.

### 3.6. IFF Sistemi Alt Modları

IFF sistemleri, genellikle alt modları olan çeşitli kodlar ve sinyaller kullanır. Bu modlar, bir uçağın veya savunma sisteminin kimliğini doğrulamak için kullanılır.

#### 3.6.1. Mode 1

Bu mod, bir uçağın veya savunma sisteminin kimliğini doğrulamak için kullanılan en eski ve en basit moddur. Gemiler tarafından uçaklar ve diğr gemileri takip etmekte kullanılan düşük maliyetli ve güvenliksiz moddur [21].



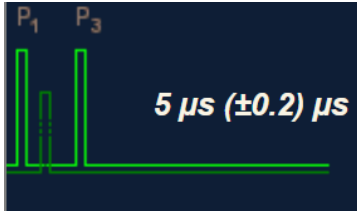
Şekil 3.1. Mode 1 Sorgusu Pulse Yapısı ve Anlamı

Mode 1 sorgusunun yapılabilmesi için IFF sistemlerinde bulunan ‘Transponder’ cihazları RF üzerinden yukarıdaki pulse değerlerini gönderir. Gönderilen pulse’lar arasında 3us

olması sorguyu alan cihaz tarafından demodüle edilerek mode 1 sorgusu yapıldığının anlaşılması için bir göstergedir.

### 3.6.2. Mode 2

Bu mod, Mode 1'e göre daha gelişmiştir ve daha fazla bilgi içerir. Mode 2, bir uçağın veya savunma sisteminin kimliğini doğrulamak için bir kod ve ayrıca uçağın veya savunma sisteminin türü gibi ek bilgiler de içerir. Uçaklar tarafından kötü hava koşullarında gemilere radar kontrollü iniş yaklaşmasında kullanılır.

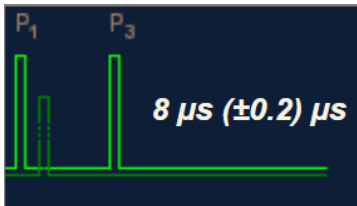


Şekil 3.2. Mode 2 Sorgusu Pulse Yapısı ve Anlamı

Mode 2 sorgusunun yapılabilmesi için IFF sistemlerinde bulunan ‘Transponder’ cihazları RF üzerinden yukarıdaki pulse değerlerini gönderir. Gönderilen pulse’lar arasında 5us olması sorguyu alan cihaz tarafından demodüle edilerek mode 2 sorgusu yapıldığının anlaşılması için bir göstergedir.

### 3.6.3. Mode 3/A

Bu mod, Mode 2'ye göre daha gelişmiştir ve daha fazla bilgi içerir. Mode 3/A, bir uçağın veya savunma sisteminin kimliğini doğrulamak için bir kod ve ayrıca uçağın veya savunma sisteminin türü, ülkesi ve bölgesi gibi ek bilgiler de içerir.



Şekil 3.3. Mode 3/A Sorgusu Pulse Yapısı ve Anlamı

Mode 3/A sorgusunun yapılabilmesi için IFF sistemlerinde bulunan ‘Transponder’ cihazları RF üzerinden yukarıdaki pulse değerlerini gönderir. Gönderilen pulse’lar arasında 8us olması sorguyu alan cihaz tarafından demodüle edilerek mode 3/A sorgusu yapıldığının anlaşılması için bir göstergedir.

#### **3.6.4. Mode 4**

Bu mod, Mode 3/A'ya göre daha gelişmiştir ve daha fazla bilgi içerir. Mode 4, bir uçağın veya savunma sisteminin kimliğini doğrulamak için güvenli, kriptolanmış IFF modudur.

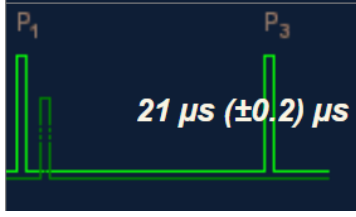
#### **3.6.5. Mode 5**

NATO'nun dost ve düşman tanıma sistemlerinde kullanılan bir alt moddur. Bu sistem, radar ve diğer elektronik araçları kullanarak hava ve kara platformlarının tespiti, izlenmesi ve tanımlanması için tasarlandı.

Mode 5, sistemin düşman hedeflerini tanıyabilmesi için güçlü bir şifreleme sistemine sahiptir ve düşman hedeflerine karşı daha yüksek bir güvenlik sağlar. Bunun yanı sıra, Mode 5 aynı zamanda dost hedeflerinin tanımlanmasını da kolaylaştırır ve bunların düşman hedeflerinden ayırt edilmesine yardımcı olur.

#### **3.6.6 Mode C**

Mod C, uçaklar için IFF sistemlerinde kullanılan bir alt moddur. Bir hava taşıtının radyo transponderi aracılığıyla ilettiği irtifa bilgisini ifade eder. Bu bilgi, uçağın irtifasını verir ve tipik olarak bir radyo transponder aracılığıyla hava trafik kontrol istasyonlarına iletilir. Mod C, uçağın konumunu belirlemek ve hava trafiğini izlemek için kullanılabilir. Ayrıca Mod C, uçağın radyo altimetre irtifasına uygun bir irtifa izleme seviyesini belirtmek için de kullanılabilir. Bu, hava trafik kontrolörlerinin uçaklar arasında güvenli ayırım sağlamasına ve çarpışmalardan kaçınmasına yardımcı olabilir.



Şekil 3.4. Mode C Sorgusu Pulse Yapısı ve Anlamı

Mode C sorgusunun yapılabilmesi için IFF sistemlerinde bulunan ‘Transponder’ cihazları RF üzerinden yukarıdaki pulse değerlerini gönderir. Gönderilen pulse’lar arasında 21us olması sorguyu alan cihaz tarafından demodüle edilerek mode C sorgusu yapıldığının anlaşılması için bir göstergedir.

### 3.6.7. Mode S

Mod S (Modes Select Beacon System), MIT içerisinde bulunan Lincoln Laboratuvar tarafından geliştirilmiştir. 1980’lerde donanımsal ve yazılımsal olarak farklı geliştirmelere bağlı olarak Mod S’in hava trafik kontrolünde kullanılması 1990’larda başlamıştır. Mod A ve Mod C alt modlarının geliştirilmiş bir versiyonudur ve hava trafik kontrolü ve hava savunma için ek özellikler sağlar. Mod S, hava taşıtı kimliği, yükseklik ve diğer bilgilerin yer tabanlı alıcılara gönderilmesi gibi çeşitli özellikleri içerir. Ayrıca, hava trafik kontrolörlerinin bir hava taşıtıdan özel bilgi istemesi ve hava taşıtları ve yer tabanlı sistemler arasında dijital veri değişimi için veri bağlantı özelliğine de sahiptir.

Mod S, hava trafik kontrolü ve hava savunma işlemlerinin doğruluğunu ve verimliliğini artırmak için tasarlandı ve modern havacılık sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

## 4. YENİ ÇARPIŞMA ÖNLEME YÖNTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Bu yeni çarpışma önleme sistemi, dronelar için tasarlanmıştır ve içerisinde TCAS sistemindeki kaçınma mantığı ile IFF sistemlerindeki mode sorgularını referans alan bir kombinasyon kullanılmaktadır.

Bu sistem, droneların çevredeki engellerden kaçınmasına yönelik olmayıp, öncelikli olarak iki drone arasında oluşabilecek çarpışma riskini ortadan kaldırmaya yöneliktir. Bu amaç doğrultusunda, sistemin temelinde TCAS sistemi ile IFF sistemlerindeki mode sorgularının bir araya getirilmesi yatmaktadır. Böylece, birbirlerine yaklaşan iki drone, sistemin algılama ve uyarma yapıları sayesinde birbirlerinden kaçınarak güvenli bir şekilde seyirlerine devam edebilirler.

Bu sistem, IFF mode sorgularındaki gibi, sorgulayıcının cevaplayıcıya gönderdiği radyo dalgalarının bir benzerinin dronelar arasında RF olarak gönderilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu sayede, her bir drone, diğer drone konum ve hareket bilgisini algılayabilir ve gerekli önlemleri alarak çarpışmadan kaçınabilir. Bu yaklaşım, dronelar arasındaki güvenliği artırarak, havacılık sektöründe önemli bir yer edinmektedir.

### 4.1. RF haberleşmesi

RF (Radyo Frekansı) haberleşme, kablosuz haberleşmenin en önemli parçalarından biridir ve birçok farklı endüstride kullanılmaktadır. RF haberleşme, elektromanyetik dalgalardan yararlanarak veri aktarımı yapar ve özellikle cep telefonları, uydu haberleşmesi, radyo ve televizyon yayınları gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

RF haberleşmenin temeli, elektromanyetik dalgalardır. Elektromanyetik dalgalar, elektrik alan ve manyetik alanın birleşmesinden oluşur ve ışık, radyo ve mikrodalga gibi birçok farklı dalga boyunda bulunur. RF haberleşme genellikle 3 kHz ila 300 GHz arasındaki frekanslarda gerçekleştirilir.

RF haberleşme, kablosuz haberleşmenin en yaygın biçimlerinden biridir. Bu teknolojinin en önemli avantajlarından biri, kablosuz olarak veri aktarımı yapılabilmesidir. Bu, özellikle cep telefonları ve tabletler gibi taşınabilir cihazlar için önemlidir.

RF haberleşmenin bir diğer önemli avantajı, yüksek hızlı veri transferidir. Özellikle uydu haberleşmesi, hava trafik kontrolü, askeri haberleşme ve uzay araştırmaları gibi alanlarda yüksek hızlı veri transferi gereklidir ve RF haberleşme bu ihtiyaçları karşılamak için ideal bir teknolojidir.

RF haberleşme, aynı zamanda yüksek bant genişliği sağlar ve birçok farklı sinyal taşıyabilir. Özellikle radyo ve televizyon yayınları için bant genişliği önemlidir ve RF haberleşme bu ihtiyacı karşılar.

Ancak, RF haberleşmenin dezavantajları da vardır. Örneğin, RF dalgalardan kaynaklanan elektromanyetik kirlilik, bazı sağlık sorunlarına neden olabilir. Ayrıca, RF sinyalleri, bazı ortamlarda kolayca bozulabilir ve veri transferinde sorunlara neden olabilir.

Sonuç olarak, RF haberleşme, kablosuz haberleşmenin en önemli parçalarından biridir ve birçok farklı endüstride kullanılmaktadır. RF haberleşmenin avantajları arasında yüksek hızlı veri transferi, yüksek bant genişliği ve kablosuz veri transferi yer almaktadır. Ancak, dezavantajları arasında elektromanyetik kirlilik ve RF sinyallerinin bozulması yer almaktadır.

#### **4.1.1. Uzun menzilli RF modüller**

RF haberleşmesi yapabilen uzun menzilli modüller, kablosuz iletişim ve uzaktan kumanda uygulamaları için oldukça önemlidir. Bu modüller, elektromanyetik dalgaların kullanıldığı kablosuz veri aktarımı teknolojileri ile çalışır ve birçok endüstride kullanılır.

Uzun menzilli RF modüller, genellikle 433 MHz, 868 MHz veya 915 MHz frekanslarında çalışırlar. Bu frekanslar, kablosuz haberleşmenin diğer formlarından daha yüksek menzile sahiptir ve nispeten daha az enerji tüketirler. Bu nedenle, uzun menzilli RF modüller, özellikle düşük güç tüketen uygulamalar için ideal bir seçimdir.

Uzun menzilli RF modüller, birçok farklı protokol ve arabirimleri destekleyebilirler. Örneğin, bazı modüller, UART, SPI ve I2C gibi dijital arabirimler sağlar ve bazıları da analog çıkışlara sahiptir. Bu sayede, RF modülleri, farklı uygulamalar için esnek bir seçenek sunar.



Uzun menzilli RF modüllerin bir diğer avantajı, çeşitli anten seçenekleri sunmasıdır. Bazı modüller, dahili antenlerle birlikte gelirken, diğerleri harici antenlerle kullanılabilir. Bu, uygulama gereksinimlerine bağlı olarak seçenekler sunar ve iletişim menzilini artırabilir.

Uzun menzilli RF modüller, birçok farklı uygulama için kullanılabilir. Örneğin, uzaktan kumanda sistemleri, kablosuz veri toplama ve endüstriyel otomasyon gibi uygulamalar için idealdir. Ayrıca, acil durum çağrı sistemleri, akıllı evler ve akıllı şehirler gibi akıllı şebekeler için de kullanılabilirler.

Sonuç olarak, uzun menzilli RF modüller, kablosuz iletişim ve uzaktan kumanda uygulamaları için önemli bir bileşendir. Bu modüller, düşük güç tüketimi, yüksek menzil ve esnek protokol seçenekleri sunarlar. Uzun menzilli RF modüller, farklı uygulama alanları için kullanılabilir ve birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### **4.1.2. RF modül çeşitleri**

NRF24L01+, 2.4 GHz frekansında çalışan bir uzun menzilli RF modülüdür. Genellikle kablosuz veri toplama, uzaktan kumanda ve akıllı ev uygulamalarında kullanılır. Hem SPI hem de I2C arabirimlerini destekler.

HC-12, 433 MHz frekansında çalışan bir uzun menzilli RF modülüdür. Uzaktan kumanda, robotik kontrol, akıllı ev ve otomasyon gibi uygulamalarda kullanılır. Hem UART hem de seri port arayüzlerini destekler.

Lora teknolojisi, düşük güç tüketimi ve uzun menzil özellikleriyle öne çıkan bir RF haberleşme teknolojisidir. Lora modülleri, uzun menzilli kablosuz sensör ağları, akıllı tarım, akıllı şehirler ve endüstriyel otomasyon gibi uygulamalarda kullanılır. Lora modülleri arasında RFM95W ve RN2483 gibi popüler seçenekler vardır.

ESP8266, Wi-Fi ve 2.4 GHz uzun menzilli RF haberleşme özellikleri sunan bir mikrodenetleyicidir. Hem TCP/IP hem de seri port bağlantıları destekler ve IoT uygulamaları için ideal bir seçenektir.

XBee modülleri, ZigBee protokolüne dayalı olarak çalışan ve 2.4 GHz frekansında çalışan

uzun menzilli RF modülleridir. Uzaktan kumanda, veri toplama ve endüstriyel otomasyon gibi birçok uygulamada kullanılırlar. XBee modülleri, genellikle seri port arayüzlerini destekler.

Bu örneklerin yanı sıra, bazı uzun menzilli RF modüllerinin hem veri transferi hem de radyo frekansı (RF) performansı açısından daha üstün oldukları görülebilir. Lora modülleri de bunlardan biridir. Lora, 433 MHz, 868 MHz ve 915 MHz frekanslarındaki geniş bantlı spektrumda çalışabilen bir uzun menzilli kablosuz iletişim teknolojisidir. Lora modülleri, düşük güç tüketimi ve yüksek menzil özellikleri sayesinde IoT uygulamaları için özellikle popülerdir. Ayrıca, LoraWAN ağları da akıllı şehirler, akıllı evler ve endüstriyel otomasyon gibi uygulamalar için kullanılmaktadır.

#### **4.2. Lora Teknolojisi**

Lora teknolojisi, uzun menzilli ve düşük güç tüketimli kablosuz iletişim için özel olarak tasarlanmış bir radyo modülasyon teknolojisidir. Lora, düşük güç tüketimi, yüksek menzil ve yüksek kapasiteli veri transferi özellikleri sunar.

Lora modülleri, genellikle 433 MHz, 868 MHz ve 915 MHz frekansları arasında çalışan radyo modülleri olarak tasarlanmıştır. Bu modüller, uzun menzilli kablosuz iletişim için özellikle tercih edilir. Lora teknolojisi, daha geleneksel RF teknolojilerine göre daha az güç tüketir ve daha yüksek menzil sunar. Bu özellikleri sayesinde, Lora modülleri IoT cihazları, akıllı şehirler, akıllı evler, endüstriyel otomasyon, tarım, uzaktan izleme ve kontrol gibi birçok uygulama için idealdir.

Lora modülleri, tipik olarak veri transferi ve iletişim için seri port arayüzleri veya diğer standart veri arayüzlerini kullanır. Bu modüller ayrıca, veri toplama ve veri analizi için kullanılabilecek sensörlerle birleştirilebilir.

Lora modüllerinin bir diğer avantajı, LoraWAN (Lora Wide Area Network) teknolojisi ile kullanılabilmeleridir. LoraWAN, Lora teknolojisine dayanan bir kablosuz ağ teknolojisidir. LoraWAN ağları, uzun menzilli cihazlar arasındaki iletişimi kolaylaştıran ve sensör ağları gibi uygulamalar için ideal olan düşük güç tüketimi ve yüksek kapasiteli veri transferi sağlar.

LoraWAN ağı, akıllı şehirler, akıllı evler, endüstriyel otomasyon ve tarım gibi birçok uygulama için kullanılır.

Sonuç olarak, Lora teknolojisi ve modülleri, IoT uygulamaları ve akıllı şehirler gibi alanlarda uzun menzilli kablosuz iletişim sağlayarak öne çıkan bir teknolojidir. Bu teknolojinin özellikleri, düşük güç tüketimi, yüksek menzil ve yüksek kapasiteli veri transferi gibi, endüstriyel otomasyon, tarım, uzaktan izleme ve kontrol gibi birçok uygulamada kullanılmasını sağlamaktadır. Lora modülleri, standart seri port arayüzleri kullanarak, veri transferi ve iletişim için kullanılacak sensörlerle birleştirilebilir. LoraWAN teknolojisi ise, Lora modüllerinin kullanımını daha da kolaylaştırarak sensör ağı gibi uygulamalar için idealdir.

#### **4.2.1. Lora modüllerinin özellikleri**

Lora modülleri, düşük güç tüketimi, yüksek menzil ve yüksek kapasiteli veri transferi özellikleri sunan bir radyo modülasyon teknolojisidir [16]. Bu modüllerin özellikleri şunlardır:

Lora modülleri, RF haberleşmesi için kullanılan diğer teknolojilere göre daha düşük güç tüketir. Bu özellik, bataryalı IoT cihazları için çok önemlidir, çünkü batarya ömrünün uzun olmasını sağlar.

Lora modülleri, yüksek menzil özellikleri sayesinde, diğer radyo frekanslarına göre daha uzun mesafelerde bile kullanılabilir. Bu özellik, geniş alanlarda veya açık alanda çalışan IoT cihazları için çok önemlidir.

Lora modülleri, yüksek kapasiteli veri transferi özellikleri sayesinde, diğer radyo frekanslarına göre daha fazla veri transferi yapabilir. Bu özellik, IoT cihazları arasında hızlı ve kesintisiz bir veri akışı sağlar.

Lora modülleri, diğer RF modüllerine göre daha uygun maliyetlidir. Bu özellik, IoT cihazlarının maliyetini düşürür ve daha geniş çapta kullanılmalarını sağlar.

Lora modülleri, seri port arayüzleri veya diğer standart veri arayüzlerini kullanarak kolayca entegre edilebilir. Bu özellik, IoT cihazlarının diğer cihazlarla kolayca iletişim kurmasını sağlar.

Lora modülleri, veri transferi sırasında hata oranını minimuma indiren özel kodlama teknikleri kullanır. Bu özellik, IoT cihazları için güvenilir ve sağlam bir veri aktarımı sağlar.

Lora modülleri, LoraWAN teknolojisi ile kullanılabilir. LoraWAN ağları, uzun menzilli cihazlar arasındaki iletişimi kolaylaştıran ve sensör ağları gibi uygulamalar için ideal olan düşük güç tüketimi ve yüksek kapasiteli veri transferi sağlar.

Lora modülleri, yukarıda belirtilen özellikleri sayesinde, IoT cihazları için en ideal radyo modülasyon teknolojilerinden biridir.

#### **4.2.2. Lora modüllerinin dezavantajları**

Lora modülleri, RF haberleşme teknolojileri arasında birçok avantajı olsa da, bazı dezavantajları da vardır. Aşağıda, Lora modüllerinin dezavantajlarına daha detaylı bir şekilde bakacak olursak;

Lora modülleri, diğer RF haberleşme teknolojilerine göre daha düşük veri hızı sunar. Bu, yüksek hızda veri aktarımı gerektiren uygulamalar için uygun olmayabilir.

Lora modülleri, diğer RF haberleşme teknolojilerine göre daha yüksek gecikme süresi sunar. Bu, bazı uygulamalar için uygun olmayabilir.

Lora modülleri, diğer RF haberleşme teknolojilerine göre sınırlı bant genişliğine sahiptir. Bu, yüksek veri hacimlerinin aktarımı için uygun olmayabilir.

Yüksek maliyetli gateway cihazları: LoraWAN ağı kullanımı durumunda, gateway cihazlarına ihtiyaç duyulur. Bu cihazların yüksek maliyetli olması, sistemlerin kurulum maliyetini artırabilir.

Lora modülleri, diğer RF haberleşme teknolojilerine göre daha az veri güvenliği sağlar. Bu,

bazı uygulamalar için uygun olmayabilir.

RF gürültüsü, Lora modüllerinin performansını etkileyebilir ve veri aktarımını engelleyebilir. Bu, uygun bir çözüm olmadan uygulamaların verimli çalışmasını engelleyebilir.

#### **4.2.3. Lora modüllerinin verimliliği**

Lora modülleri, düşük güç tüketimi, yüksek menzil, yüksek kapasiteli veri transferi ve uygun maliyetli olmaları gibi avantajları nedeniyle birçok uygulama için idealdir. Ancak, dezavantajları da göz önünde bulundurularak, uygulamaların ihtiyaçlarına göre uygun bir çözüm seçilmelidir.

Lora modüllerinin performansı, kullanım senaryosuna ve ortama bağlıdır. Ancak, genel olarak Lora modülleri, yüksek verimlilik ve performans sunarlar. Lora modülleri, yüksek hassasiyetli alıcıları ve düşük güç tüketimli verici işlevleri ile tasarlanmıştır. Bu sayede, cihazlar düşük güç tüketimiyle yüksek menzillerde veri aktarımı yapabilirler.

Lora modüllerinin verimliliği de diğer RF haberleşme teknolojilerine göre daha yüksektir. Lora modülleri, yüksek kapasiteli veri transferi yapabilirler ve bu veri transferi sırasında düşük güç tüketimi sağlayabilirler. Bu, cihazların pil ömrünü uzatır ve daha uzun süreler boyunca kullanılabilir hale gelir.

Lora modüllerinin performansı ve verimliliği, aynı zamanda LoraWAN ağına bağlı olarak da değişebilir. LoraWAN ağı, Lora modüllerinin verimliliğini ve performansını artırabilir veya azaltabilir. LoraWAN ağı, Lora modüllerinin veri aktarımını yönetmek, cihazların birbirleriyle iletişim kurmasını sağlamak ve veri güvenliğini sağlamak için kullanılır. LoraWAN ağının kullanımı, Lora modüllerinin performansını artırabilir ancak aynı zamanda sistem kurulum maliyetlerini de artırabilir.

Sonuç olarak, Lora modülleri düşük güç tüketimi, yüksek menzil, yüksek kapasiteli veri transferi ve uygun maliyetleri ile birçok uygulama için ideal bir çözüm sunarlar. Performansları ve verimlilikleri de diğer RF haberleşme teknolojilerine göre oldukça yüksektir. Ancak, uygulamanın ihtiyaçlarına göre Lora modüllerinin kullanımı

değerlendirilmeli ve uygun bir çözüm seçilmelidir.

### 4.3. Çarpışma Önleme Sistem Tasarımı

Bu sistem, küçük hava araçlarının birbirleriyle irtifalarını paylaşması ve çarpışma riskinin hesaplanması mantığına dayanmaktadır. Böylece, her bir drone, diğer drone bulunduğu irtifayı ve seyir yönünü bilerek, çarpışma riski hesaplanabilir ve gerekli önlemler alınabilir. Bu yaklaşım, dronelere çevresel faktörlerin yanı sıra, birbirleriyle olan ilişkilerini de hesaba katma imkanı vererek, havacılık güvenliğini artırmaya yardımcı olmaktadır.

Eldeki sistem, dronelerin birbirleriyle çarpışmadan kaçınmalarını sağlamak için tasarlanmıştır ve bu amaçla üç ana bloktan oluşmaktadır. İlk blok, mantıksal işlemlerin değerlendirileceği işlemci bloğudur. Bu blok, diğer bloklardan alınan verileri işleyerek, çarpışma riskini hesaplamak ve gerekli önlemleri almak üzere kararlar verir. İşlemci bloğu, diğer bloklarla etkileşim halindedir ve aldığı verileri analiz ederek, dronelerin birbirleriyle çarpışma risklerini minimuma indirir.

İkinci blok, Lora modülleri bloğudur. Bu blok, dronelerin birbirleriyle iletişimini sağlamak için tasarlanmıştır. RF teknolojisi kullanarak, veri transferini gerçekleştirir ve droneler arasındaki mesajlaşmayı sağlar. Lora modülleri, düşük güç tüketimi ve uzun mesafe iletim özellikleri sayesinde, etkin bir iletişim sağlar.

Üçüncü blok ise sensörler bloğudur. Bu blok, yükseklik ve irtifa değerlerini ölçerek, dronelerin konumunu, doğrultusunu ve yüksekliğini belirlemeye yardımcı olur. Sensörler bloğu, dronelerin aralarındaki mesafeyi ve yükseklik farklarını ölçerek, çarpışma riskini hesaplamada önemli bir rol oynar. Sensörler bloğu, yüksek hassasiyeti ve doğruluğu sayesinde, sistemin güvenilirliğini artırır.

Tüm bu blokların bir araya gelmesiyle, droneler arasında çarpışma riski minimuma indirilir ve uçuş güvenliği sağlanır. Sistem, özellikle küçük hava araçları gibi yoğun bir şekilde kullanılan droneler için önemli bir çözüm sunar ve havacılık endüstrisinde yaygın bir kullanım alanı bulur.

## 4.4. Tasarım Aşamaları

### 4.4.1. İşlemci bloğu

İşlemciler, bilgisayarların veya diğer elektronik cihazların mantıksal işlemlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan temel bileşenlerdir. Bu işlemciler, genellikle verileri okuma, işleme ve depolama için programlanır ve matematiksel işlemler, mantıksal kararlar ve diğer karmaşık hesaplamalar gibi birçok görevi gerçekleştirebilirler.

Dronelerin çarpışmadan kaçınma algoritmalarını temsilen tasarlanan prototip çalışmada, Arduino kullanılmıştır. Arduino, mikrodenetleyiciler temelli bir geliştirme platformudur ve özellikle elektronik projelerin prototipini yapmak için sıklıkla kullanılır. Arduino, geniş bir yelpazede kullanılabilen farklı modellerde mevcuttur ve projenin gereksinimlerine uygun olarak seçilebilir.

Özellikle küçük hava araçları gibi hassas ve narin elektronik cihazların kullanıldığı dronelar için, doğru ve güvenilir işlemcilerin kullanımı oldukça önemlidir. Bu nedenle, prototip çalışmada da güvenilir ve işlevsel bir işlemci olan Arduino Uno kullanılmıştır. Arduino Uno, ATmega328 mikrodenetleyicisi ile donatılmıştır ve dijital giriş/çıkış pinleri, analog giriş/çıkış pinleri, PWM pinleri ve seri haberleşme bağlantıları gibi birçok özellik sunar. Bu özellikleri sayesinde, Arduino Uno, dronelerde kullanılan çarpışma önleme sistemleri için ideal bir işlemci olarak öne çıkmaktadır.

### 4.4.2. Lora modülleri bloğu

Lora modülleri, uzun menzilli kablosuz iletişim için kullanılan radyo modülleridir. Bu modüller, RF frekans bantlarındaki düşük güç tüketimi ve yüksek veri oranları sayesinde özellikle IoT (Nesnelerin İnterneti) cihazlarında sıklıkla tercih edilir. Lora modülleri, farklı menzil ve hızlarda çeşitli modellerde mevcuttur. Bazı modeller sadece veri göndermek veya almak için kullanılırken, bazıları ise daha kompleks özelliklere sahiptir ve konum takibi, telemetri gibi işlevleri de yerine getirebilir.

Dronelerin çarpışmadan kaçınma algoritmalarını temsilen tasarlanan prototip çalışmada ise Lora E32 modülü kullanılmıştır. Bu modül, 433MHz veya 868MHz frekans bandında

çalışabilir ve en fazla 10km menzile sahiptir. Lora E32, kablosuz sensör ağları, uzaktan kontrol ve uzaktan veri toplama gibi uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Modül, düşük güç tüketimi, veri şifreleme ve güvenliği sağlama gibi özellikleri sayesinde IoT cihazları için ideal bir çözüm sunar.

Lora E32 modülünün tercih edilmesinin nedeni, dronelerde kullanılan çarpışma önleme sistemlerinde düşük güç tüketimi, yüksek veri oranı ve uzun menzil gibi özelliklerin önemli olmasıdır. Ayrıca, Lora E32 modülü düşük maliyetli ve kullanımı kolay bir üründür, bu nedenle prototip çalışmasında tercih edilmiştir.

#### **4.4.3. Sensörler bloğu**

Küçük insansız hava araçları ve dronelar için birçok sensör gereklidir. Ancak prototip çalışması için sadece yükseklik ölçümü yapabilen bir sensöre ihtiyaç vardı. Bu nedenle, bu kapsamda, seçenekler arasında incelemeler yapılmıştır.

Havacılıkta kullanılan irtifa sensörleri, uçak ve dronelerin yüksekliklerini doğru bir şekilde ölçerek pilotlara ve otomatik uçuş sistemlerine bilgi sağlarlar. İrtifa sensörleri, farklı tiplerde olabilir ve Barometrik Altimetre, Radar Altimetre, GPS Altimetre ve Inertial Referans Sistem başlıkları altında incelenebilirler.

Uçaklar genellikle barometrik altimetre ve radar altimetre kombinasyonu kullanırken, dronelar genellikle GPS altimetre ve inertial referans sistemler kullanırlar. Bununla birlikte, daha yeni dronelar, optik sensörler, ultrasonik sensörler, lazer mesafe sensörleri ve lidar gibi diğer sensörleri de yükseklik ölçümü için kullanabilirler.

#### **4.4.4. Barometrik altimetre**

Barometrik altimetre, uçaklarda kullanılan bir irtifa sensörüdür. Atmosfer basıncındaki değişimleri kullanarak uçağın yüksekliğini ölçer. Bu sensör, uçuş sırasında standart bir irtifa göstergesi olarak kullanılır ve otomatik uçuş sistemlerinin de bir parçasıdır.

Barometrik altimetreler, bir barometre ve kalibre edilmiş bir aneroid kutusu (vakumlu bir kutu) kullanılarak çalışır. Atmosfer basıncı, aneroid kutusunun içindeki hava miktarını



değiştirir ve kutunun boyutunu değiştirir. Bu boyut değişimi, barometrik altimetre tarafından ölçülür ve yükseklik olarak yorumlanır.

Barometrik altimetreler, yüksek irtifalarda doğru bir şekilde çalışır, ancak hava basıncındaki değişimlere hassasiyet gösterirler. Bu nedenle, uçuş sırasında hava basıncı değiştiğinde doğru ölçüm yapmak için ayarlanmaları gerekebilir. Ayrıca, barometrik altimetreler, yerden yükseklik ölçmek için kullanılır ve yeryüzüne olan yüksekliği ölçemezler. Bu nedenle, uçuş sırasında yükseklik ölçümü için diğer sensörlerle birlikte kullanılırlar.

Barometrik altimetreler, uçaklarda standart bir irtifa göstergesi olarak kullanıldığı için, pilotlar ve hava trafik kontrolörleri tarafından kullanılan terminoloji de barometrik irtifa ile ilgilidir. Barometrik irtifa, hava basıncındaki değişimler nedeniyle yüksekliği ölçer ve standart atmosfer koşullarına göre belirlenir. Bu nedenle, barometrik irtifa, gerçek irtifadan farklı olabilir ve gerçek irtifanın hesaplanması için diğer faktörlerin de dikkate alınması gerekebilir.

#### **4.4.5 Radar altimetre**

Radar altimetre, yere göre irtifa ölçmek için kullanılan bir elektronik ölçüm cihazıdır. Bu cihaz, elektromanyetik radyasyon kullanarak yere doğru bir sinyal gönderir ve yansıyan sinyallerin ölçülmesiyle yükseklik bilgisini sağlar.

Radar altimetreler, özellikle uçaklar için yükseklik ölçümlerinde kullanılır. Bu cihazlar, uçakların yeryüzüne ne kadar yakın olduğunu ölçerek, uçuş sırasında güvenli bir mesafe korumasını sağlarlar. Ayrıca, düşük uçuş yapan uçaklar için özellikle önemlidirler çünkü bu uçaklar, hava trafik yoğunluğundan dolayı yüksek irtifalarda uçamazlar.

Radar altimetreler, basit bir yapıya sahip olmakla birlikte, yüksek doğruluk oranlarına sahiptirler. Bu cihazlar, diğer irtifa ölçüm cihazlarına göre daha az hassasiyet gösterirler, çünkü yeryüzüne göre doğrudan ölçüm yaparlar. Barometrik altimetrelerin aksine, hava koşulları, sıcaklık ve nem, radar altimetrelerin ölçümlerini etkilemez.

Radar altimetreler hem askeri hem de sivil havacılıkta geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

Bunun yanı sıra, deniz araçları ve hava taşıtları için de kullanılabilirler. Ayrıca, diğer yükseklik ölçüm cihazlarıyla birlikte kullanılarak daha doğru irtifa ölçümleri yapılabilirler.

Radar altimetrelerin dezavantajlarından biri, sinyallerin yansımaya bağlı olarak doğru ölçümlerin yapılmasının zor olmasıdır. Ayrıca, arazi özellikleri ve yüzey malzemeleri, ölçümleri etkileyebilir ve doğru sonuçlar elde etmek için cihazın ayarlanması gerekebilir.

Sonuç olarak, radar altimetreler, yeryüzüne göre doğrudan yükseklik ölçümü yapabilen hassas bir cihazdır. Havacılık endüstrisinde ve diğer sektörlerde geniş bir kullanım alanına sahip olmaları, güvenli ve doğru irtifa ölçümlerinin yapılmasını sağlar.

#### **4.4.6. GPS altimetre**

GPS altimetre, bir GPS alıcısı kullanarak yükseklik ölçmek için kullanılan bir cihazdır. GPS sinyalleri, uydulardan gelen sinyallerin alınmasıyla konum bilgisi sağlar. GPS altimetreleri, bu konum bilgisini kullanarak, deniz seviyesine göre yüksekliği hesaplayarak yükseklik ölçümü yapar.

GPS altimetreler, sivil ve askeri havacılık, dağcılık, gezginlik, bisiklet sürme, koşu ve diğer açık hava aktivitelerinde kullanılmaktadır. GPS altimetreleri, hava koşullarından bağımsız olarak kullanılabilirler ve diğer irtifa ölçüm cihazlarına göre daha az hassasiyet gösterirler.

GPS altimetreler, uydularla iletişim kurarak konum bilgilerini alır ve bu bilgileri işleyerek yükseklik ölçümü yaparlar. GPS altimetreler, birkaç saniyede bir güncelleme yaparak doğru sonuçlar elde etmenizi sağlar. GPS altimetreler, GPS alıcısı olan herhangi bir cihazda kullanılabilir, örneğin akıllı telefonlarda, GPS saatlerinde veya GPS uydu navigasyon sistemlerinde.

GPS altimetreler, bazı dezavantajları da beraberinde getirirler. GPS sinyallerinin güçlü olmadığı yerlerde, örneğin kapalı alanlarda veya yoğun ağaçlık alanlarda, doğru sonuçlar almak zor olabilir. Ayrıca, GPS sinyalleri, yüksek binalar ve diğer yapılardan yansyarak hatalı sonuçlar verebilir.

Sonuç olarak, GPS altimetreler, yükseklik ölçmek için GPS teknolojisini kullanan bir

cihazdır. Hava koşullarından etkilenmeden doğru ölçümler yapabilirler ve birçok açık hava aktivitesinde kullanılabilirler. Ancak, doğru sonuçlar almak için GPS sinyallerinin güçlü olması gerekmektedir ve yüksek binaların etkilerinden kaçınmak için doğru kullanılması gerekmektedir.

#### **4.4.7. IR sistemi**

İnertial Referans Sistemi (IRS), uçak ve diğer taşıtlarda kullanılan bir navigasyon sistemidir. Bu sistem, uçak veya taşıtın hızını, yönünü ve konumunu takip etmek için hassas ölçümler yapar. Bir dizi jiroskop ve ivmeölçerden oluşur ve uçak veya drone yönünü, hızını ve konumunu doğru bir şekilde belirlemek için kullanılır. Bu sensörler, uçakların uçuş sırasında yüksekliklerini doğru bir şekilde ölçmek için de kullanılabilir.

IRS, üç ana bileşenden oluşur: ivmeölçerler, açısal hızölçerler ve bir bilgisayar. İvmeölçerler, taşıtın ivmesini ölçer, açısal hızölçerler ise taşıtın açısal hızını ölçer. Bu ölçümler, bir bilgisayarda işlenir ve taşıtın hızı, yönü ve konumu belirlenir.

IRS, uçakların uçuş kontrolleri için önemlidir. Uçak pilotları, uçuş sırasında IRS tarafından sağlanan verileri kullanarak uçuşlarını planlar ve izlerler. Bu sistem, uçakların hava trafik kontrol merkezleri ile iletişim kurmasına yardımcı olur ve hava trafik kontrolü için önemli bir referans noktası sağlar.

IRS, uçakların sıcaklık, rüzgar ve diğer faktörlerden etkilenmeyen bir şekilde navigasyon yapmalarını sağlar. Bu sistem, diğer navigasyon sistemleri ile kullanılarak daha doğru sonuçlar elde edilir.

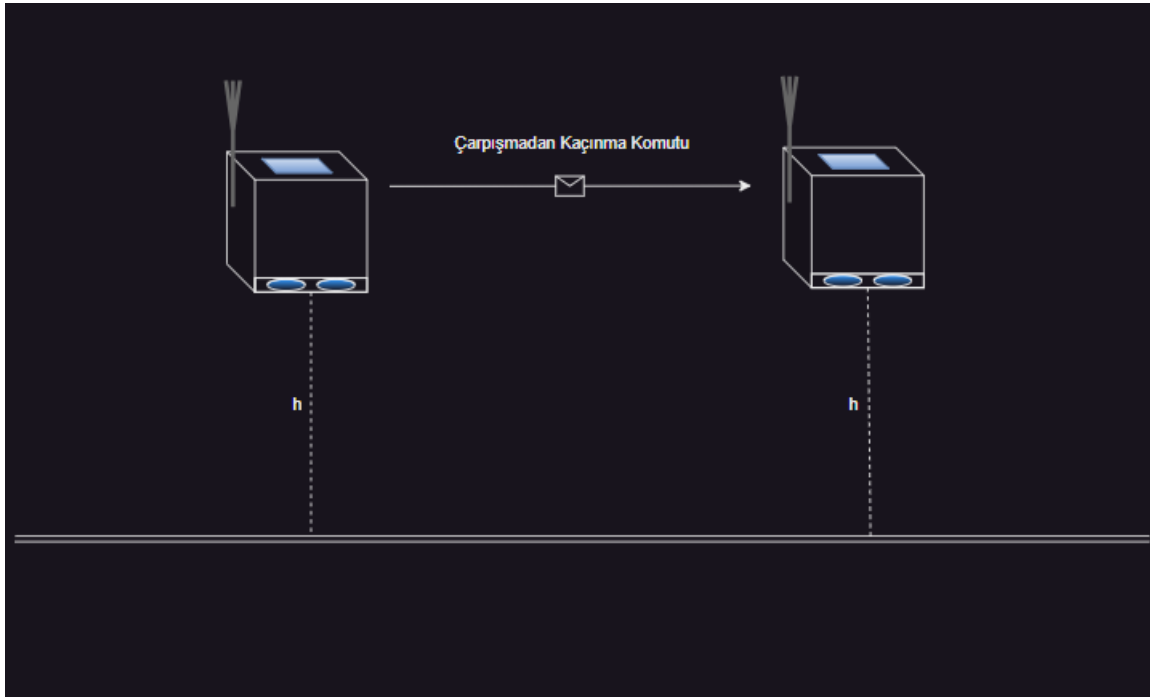
IRS'nin avantajları arasında, doğru konum ve yön verileri sağlaması, hassas ölçümler yapabilmesi, doğru sonuçlar vermesi ve hava koşullarından etkilenmemesi sayılabilir. Ancak, yüksek maliyeti, kurulumu ve bakımı için özel eğitim gerektirmesi gibi dezavantajları da vardır.

IRS, uçaklar, gemiler, roketler, füzeler ve diğer taşıtlar için önemli bir navigasyon sistemi olup, hassas ve doğru veriler sağlaması nedeniyle havacılık endüstrisi için özellikle önemlidir.



## 5. TASARIM VE UYGULAMA

Şekil 5.1’de görülebileceği üzere bu prototip çalışması ile amaçlanan, iki küçük hava aracının birbirleriyle etkileşimini ve çarpışma riskini kontrol edebilen bir çarpışma önleme sistemini test etmektir. Bu amaç doğrultusunda, 2 adet kutu tasarlanmış ve bu kutular arasında Lora modülleri ile haberleşme sağlanmıştır. Her kutuda bulunan BMP180 dijital barometrik basınç sensörleri sayesinde irtifa ve yükseklik değerleri ölçülmüştür. Bu veriler, Arduino Uno tarafından işlenerek çarpışma riski hesaplanacak ve eğer çarpışma riski mevcutsa, kutular birbirlerine kaçınma algoritmasına uygun olarak yükselme veya alçalma sinyalleri gönderecektir. Bu prototip çalışmasında Lora modüllerinin RF haberleşme avantajlarından yararlanılmış ve BMP180 dijital barometrik basınç sensörleri yükseklik ölçümleri için kullanılmıştır. Bu sensörler düşük maliyetli ve kolay kullanımlı olmaları sebebiyle tercih edilmiştir.



Şekil 5.1. Tasarım prototip görseli

### 5.1. Lora Bağlantıları ve Ayarlar

Önceden de belirtildiği gibi, RF haberleşme için avantajları olan Lora modülleri tercih edilmiştir. Bu modüllerin işlemci ile bağlantıları aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

Çizelge 5.1. Lora ve Arduino bağlantısı

| Lora E32 | Arduino Uno |
|----------|-------------|
| Gnd      | Gnd         |
| Vcc      | 3,3V        |
| Aux      | 6           |
| Tx       | 2           |
| Rx       | 3           |
| M1       | 5           |
| M0       | 4           |

## 5.2. Sensör Bağlantıları ve Ayarlar

BMP180 dijital barometrik basınç sensörlerinin prototip çalışmasında tercih edilmesinin nedeni düşük maliyeti, kolay kullanımı ve yeterli doğruluğa sahip olmasıdır. Ancak gerçek kullanımda havacılıkta kullanılan daha profesyonel ve hassas ölçümler yapabilen barometrik veya GPS altimetreler bulunmaktadır. Bu tür sensörler, yüksek irtifalarda bile doğru ve güvenilir veri sağlayabilirler. Bununla birlikte, bu sensörlerin maliyeti daha yüksek olabilir ve kullanımları daha karmaşık olabilir. Bu nedenle, uygulamanın ihtiyacına ve kullanım koşullarına bağlı olarak uygun bir sensör seçilmelidir.

Çizelge 5.2. BMP180 ve Arduino bağlantısı

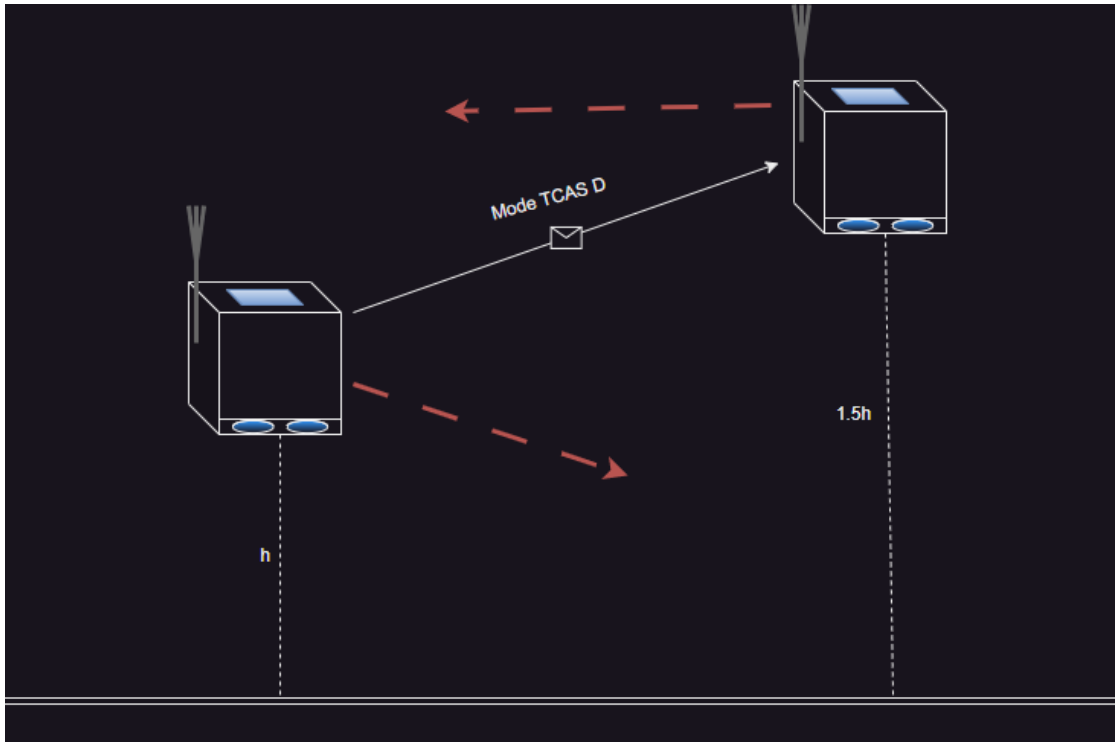
| BMP180 | Arduino Uno |
|--------|-------------|
| Gnd    | Gnd         |
| Vcc    | 3,3V        |
| Sda    | A4          |
| Scl    | A5          |

### 5.3. Çarpışmadan Kaçınma Komutları

Karşılıklı olarak çarpışma riski oluşturan iki küçük hava aracının çarpışmaları önlemek için birbirleriyle haberleşmeleri gereklidir. Bu nedenle, prototip çalışmamızda tasarlanan yeni pulse kodları, hava araçları arasında bilgi alışverişi yaparak riski ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır. Bu pulse kodları, TCAS sistemindeki ‘Yüksel’ ve ‘Alçal’ komutları ve IFF sistemindeki mode sorguları pulse yapıları referans alınarak tasarlanmıştır.

#### 5.3.1 Mode TCAS D

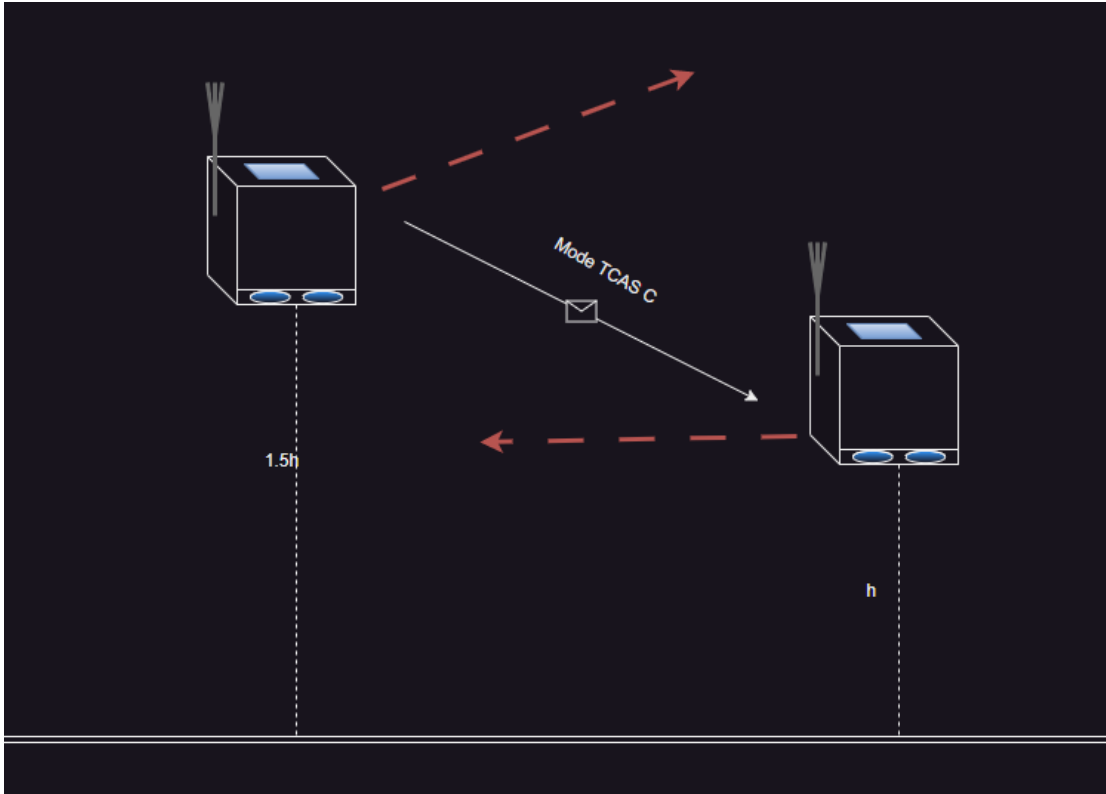
Master özellikli hava aracı, karşı hava aracın irtifa olarak kendisinden yukarıda ve tehlike yaratacak kadar yakın olduğunu tespit ettiğinde Mode Tcas Descend komutunu gönderir ve kendi irtifasını düşüreceğini bildirir. Slave olarak çalışan diğer hava aracı ise Şekil 5.2’de görülebileceği gibi bu komuta uygun olarak irtifasını korur veya yükseltir. Bu sayede çarpışma riski ortadan kaldırılır.



Şekil 5.2. Mode TCAS D

### 5.3.2 Mode TCAS C

Master özellikli hava aracı, karşı hava aracın irtifa olarak kendisinden aşağıda ve tehlike yaratacak kadar yakın olduğunu tespit ettiğinde Mode Tcas Climb komutunu gönderir ve kendi irtifasını yükselteceğini bildirir. Slave olarak çalışan diğer hava aracı ise Şekil 5.3'te görülebileceği gibi bu komuta uygun olarak irtifasını korur veya düşürür. Bu sayede çarpışma riski ortadan kaldırılır.



Şekil 5.3. Mode TCAS C



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Küçük hava araçlarının çarpışma önleme sistemlerindeki yüksek maliyetler, sistemlerin yaygınlaşmasını olumsuz etkileyen önemli bir faktördür. Ancak, yapılan çalışmada bu maliyetlerin azaltılması hedeflenmiş ve bu doğrultuda küçük hava araçları arasında RF teknolojisi üzerinden gerçekleştirilen haberleşme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, araçlar arasında pulse yapısında alçal-yüksel komutları gönderilerek birbirlerinden gelen riski önleme sinyallerini algılamış ve çarpışma riskini en aza indirmiştir. Bu sayede hem maliyeti düşük hem de etkili bir çözüm üretilerek küçük hava araçlarının güvenliği artırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, küçük hava araçlarının çarpışma önleme sistemleri için daha ekonomik ve verimli çözümler geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, talimat alan küçük hava araçları, mevcut durumlarını mode kod sorgu/komutları kullanarak talimat veren hava araçlarına bildirebilirler. Komutu yollayan hava aracı, pulse değerlerinin içerisine hangi irtifa aralığındaki hava araçlarıyla konuştuğunu belirterek daha spesifik bir hava aracıyla iletişime geçebilir. Bu şekilde, sistemin güvenilirliğinin artırılması mümkün olacaktır.



## KAYNAKLAR

1. Türkseven, S. , Kızmaz, M. Z. , Tekin, A. B. , Urkan, E. ,Serim, A. T. (2016). Tarımda Dijital Dönüşüm İnsansız Hava Araçları Kullanımı. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 12 (4), 267-271
2. Barnhart, R. K., Hottman, S. B., Marshall, D. T., Shappee, E. (2012). Introduction to Unmanned Aircraft Systems. Florida: CRC Press, 524.
3. Colomina, I., Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79-97.
4. Williams, P., Yang, Z. (2017). *Drone collision avoidance and operator training using a virtual reality simulator*. IEEE International Conference on SMC, 2829-2834.
5. Clarke, R. A., Knake, R. K. (2019). The future of drone use: Opportunities and threats from ethical and legal perspectives. *Information and Communications Technology Law*, 28(1), 19-39.
6. Internet: McNeal, G. S. (2014). Drones and aerial surveillance: Considerations for legislatures. Web: <https://www.brookings.edu/research/drones-and-aerial-surveillance-considerations-for-legislatures/> Son Erişim Tarihi: 07.01.2023
7. Finn, R. L., Wright, D. (2012). Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics and privacy in civil applications. *Computer Law and Security Review*, 28(2), 184-194.
8. Dunford, R., Michel, K., Gagnage, M., Piégay, H., Strobl, P. (2009). Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest. *International Journal of Remote Sensing*, 30(19), 4915-4935.
9. Erkan, A., Şahin, S., Dilek, M. (2019). İnsansız hava araçlarının Türkiye'de yasal kullanımı ve mevcut durumu. *Hava Kuvvetleri Komutanlığı Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 11(1), 59-70.
10. Internet: DJI (2022). Matrice 200 Series V2. Web: <https://www.dji.com/matrice-200-series-v2/> Son Erişim Tarihi: 28.03.2023.
11. Internet: DJI (2022). AirSense. Web: <https://www.dji.com/flysafe/airsense/> Son Erişim Tarihi: 18.04.2023.
12. Internet: Skydio 2 (2022). The self-flying drone, now with 4K60 HDR video. Web: <https://www.skydio.com/skydio-2/> Son Erişim Tarihi: 28.03.2023.
13. Internet: Eurocontrol. TCAS. Web: <https://www.eurocontrol.int/system/acas/> Son Erişim Tarihi: 12.03.2023

14. Internet: Bjorkman, E. (2020). The plane crash that changed U.S. aviation safety forever. Web: <https://time.com/5885096/airplane-collision-history/> Son Erişim Tarihi: 10.03.2023
15. Internet: The European Organization for the Safety of Air Navigation. TCAS 2 version 7.1. Web: <https://www.skybrary.aero/articles/tcas-ii-version-71/> Son Erişim Tarihi: 12.02.2023.
16. Internet: Ebyte. E32-433T30D User Manual. Web: <https://www.ebyte.com/downpdf.aspx?id=108> Son Erişim Tarihi: 07.04.2023
17. Internet: Skybrary. Airborne Collision Avoidance System (ACAS). Web: <https://www.skybrary.aero/articles/airborne-collision-avoidance-system-acas/> Son Erişim Tarihi: 12.02.2023.
18. Internet: Skybrary. Collision risk due to TCAS safety issues. Web: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/4968.pdf/> Son Erişim Tarihi: 12.02.2023.
19. Internet: International Civil Aviation Organization. ACAS Manual. Web: [https://www.icao.int/meetings/anconf12/document%20archive/9863\\_cons\\_en.pdf/](https://www.icao.int/meetings/anconf12/document%20archive/9863_cons_en.pdf/) Son Erişim Tarihi: 12.03.2023.
20. Kuchar, J. K., Drumm, A. C. (2007). The traffic alert and collision avoidance system. *Lincoln Laboratory Journal*, 16(2), 277-296.
21. Internet: Granite Island Group. IFF(Identification - Friend or Foe). Web: <http://www.tscm.com/iff.pdf/> Son Erişim Tarihi: 12.03.2023



*Gazili olmak ayrıcalıktır*