



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SICAK HAVA BALONLARINA YÖNELİK BİR
ÇARPIŞMA ÖNLEME SİSTEMİNİN
TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Onur Can AKA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Havacılık Teknolojileri Anabilim Dalı

Nisan-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Onur Can AKA tarafından hazırlanan “Sıcak Hava Balonlarına Yönelik Bir Çarpışma Önleme Sisteminin Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi” adlı tez çalışması 21/04/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Havacılık Teknolojileri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali ANADOL

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Alpaslan KAZAN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Hakan TERZİOĞLU

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Onur Can AKA
21/04/2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

SICAK HAVA BALONLARINA YÖNELİK BİR ÇARPIŞMA ÖNLEME SİSTEMİNİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Onur Can AKA

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAVACILIK TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih Alpaslan KAZAN

2025, 71 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Alpaslan KAZAN

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali ANADOL

Dr. Öğr. Üyesi Hakan TERZİOĞLU

Yapılan bu çalışmada sıcak hava balonlarının birbirlerini görememeleri nedeni ile çarpışmaları sonucunda yaşanacak kazaların ve akabinde meydana gelebilecek olası can ve mal kayıplarının önlenmesine yardımcı olacak bir sistem tasarlanmış ve bu kapsamda iki adet prototip üretilmiştir. Her bir prototip için Raspberry Pi-4, 7 inçlik Raspberry Pi dokunmatik ekran, LoRa yayın anteni modülü, BMP180 basınç sensörü, MPU6050 ivme sensörü ve GYGPSV1 NEO-M8N GPS modülünden birer adet kullanılmıştır. Sensörlerden elde edilen irtifa, konum ve hız bilgileri, prototip olarak üretilmiş iki cihaz arasında LoRa modülü aracılığıyla broadcast yayını şeklinde paylaşılmıştır. Ayrıca hem kendi bilgileri hem de 500 m'lik yarıçap içerisinde bulunan intruder balonun bilgileri 7 inçlik ekranda sunulacak şekilde bir arayüz tasarlanmıştır.

Tasarım, cihazın bulunduğu balonu merkeze alıp her bir yarıçapı arasında 100'er m mesafeye denk gelen 5 halkadan oluşacak şekilde, uçaklardaki trafik uyarı ve çarpışma önleme sistemi (Traffic Alert and Collision Avoidance System, TCAS) ekranını andıracak biçimde, yani 360 derecelik bir açıya sahip olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Intruder balonun 100-200 m arasındaki bir uzaklıkta bulunması durumunda her iki cihaz trafik uyarısı vermektedir. Bu mesafe 100 m ve altına düştüğünde ise bu defa her iki cihaz çözüm önerisi sunmaktadır. Öneri olarak balonlardan birisine alçalması, diğerine yükselmesi önerilmektedir.

Üretilen prototiplerin testleri önce yerde ardından balonda gerçekleştirilmiştir. Yerde yapılan testlerde öncelikle cihazın sağladığı konum bilgileri test edilmiştir. Bu testlerde cihazın 1,297 m'lik kabul edilebilir bir hata ile konumu tespit ettiği görülmüştür. Yer testinin ikinci aşamasında cihazın sağladığı irtifa bilgisinin doğruluğu araştırılmıştır. Yapılan testte cihazın 0,49 m'lik bir hata ile irtifayı tespit ettiği görülmüştür. Testlerin son aşamasında, cihazlar arasındaki iletişimin düzgün çalışıp çalışmadığı ve birbirlerine göre konumlarının gerçek zamanlı olarak güncellenip güncellenmediği test edilmiştir. Tasarlanan cihazlardan bir tanesi test sırasında sabit bırakılıp, diğeri arayüzdeki her bir halka arasında kalacak şekilde belirli bir güzergâhta hareket ettirilmiştir. 6 farklı konumda yapılan testlerde ilgili konumların Google Earth'deki konumları ve bunların sabit cihazın konumuna göre uzaklıkları tespit edilmiş ve ekrandaki intruder balonun konumu karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalarda her iki balonun kendi ekranındaki intruder balonun uzaklığını doğru bir şekilde gösterdiği tespit edilmiştir.

Geliştirilen sistemin İhlara Vadisi'ndeki ticari balon uçuşlarında gerçekleştirilen testinde cihazların sahip olduğu irtifa, konum, balonun kalkış aşaması, yere göre hız bilgisi, trafik uyarısı, CLIMB ve DESCENT şeklindeki çözüm önerileri, radyal bilgileri, intruder balonun yatay uzaklığa bağlı olarak ekranda görüntülenme şekli ve renginin değişimleri detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan bu testte cihazların birbirlerine göre göreceli konumlarını gösteren radyal bilgilerinin doğruluğu, 5 farklı uzaklık değeri için cihazlardan elde edilen konum bilgileri ile Google Earth kullanılarak ortaya konulmuştur. Testin

başlangıç aşamasında balon yerden 50 ft'lik bir yüksekliğe tırmanıncaya kadar balonun kalkış aşamasında olduğunu gösteren LANDING PROGRESS uyarısının, 50 ft aşıldıktan sonra FLIGHT PROGRESS uyarısına dönüştüğü de gözlemlenmiştir.

Sıcak hava balonlarına yönelik gerçekleştirilen ve geliştirilmeye açık olan bu sistemin, balonların birbirine teması sonrasında yaşanabilecek kazaları önlemede büyük bir boşluğu dolduracağı ve sıcak hava balonu sektörüne büyük katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Balon, Çarpışma, GPS, İnsan Faktörü, Kaza, TCAS.



ABSTRACT

MS THESIS

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A COLLISION AVOIDANCE SYSTEM FOR HOT AIR BALLOONS

Onur Can AKA

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN DEPARTMENT OF AVIATION TECHNOLOGIES**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Fatih Alpaslan KAZAN

2025, 71 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Fatih Alpaslan KAZAN

Assist. Prof. Dr. Mehmet Ali ANADOL

Assist. Prof. Dr. Hakan TERZİOĞLU

In this study, a system was designed to help prevent accidents from collisions between hot air balloons, occurring due to their inability to see one another, and to avert the potential loss of life and property. For each prototype, one Raspberry Pi-4, 7-inch Raspberry Pi touch screen, LoRa broadcast antenna module, BMP180 pressure sensor, MPU6050 acceleration sensor, and GYGPSV1 NEO-M8N GPS module were used. The altitude, location, and speed information obtained from the sensors was shared between two prototype devices via a broadcast via the LoRa module. Furthermore, an interface was designed to display both the device's own data and that of any intruder balloon located within a 500 m radius on the 7-inch screen.

The design has been implemented by taking the balloon on which the device is located as the center and forming 5 rings corresponding to 100 m intervals along each radius, in a way that resembles the Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS) display in aircraft, i.e., having a 360-degree angle. If the intruder balloon is located at a distance between 100 and 200 m, both devices issue a traffic warning. When this distance drops to 100 m or below, both devices then issue a resolution advisory. As a recommendation, it is proposed that one of the balloons descend while the other climbs.

Tests of the prototypes were first carried out on the ground and then in the balloon. In the ground tests, the accuracy of the location data provided by the device was initially examined. It was observed that the device determined the location with an acceptable error margin of 1.297 meters. In the second stage of the ground test, the accuracy of the altitude data provided by the device was investigated. The test revealed that the device determined the altitude with an error margin of 0.49 meters. In the last stage of the tests, it was tested whether the communication between the devices was working properly and whether their locations relative to each other were being updated in real-time. One of the designed devices was kept stationary during the test, while the other was moved along a predetermined route so that it remained within each ring of the interface. In the tests conducted at 6 different locations, the locations of the relevant locations on Google Earth and their distances relative to the location of the fixed device were determined and the position of the intruder balloon on the screen was compared. The position of the intruder balloon displayed on the screen was then compared. These comparisons confirmed that each balloon correctly displayed the intruder balloon's distance on its own screen.

In the tests of the developed system carried out in commercial balloon flights in Ihlara Valley, the altitude, location, balloon take-off phase, speed information relative to the ground, traffic warning, CLIMB

and DESCENT solution suggestions, radial information, the way the intruder balloon is displayed on the screen depending on the horizontal distance and the changes in its color were examined in detail. In this test, the accuracy of the radial information showing the relative positions of the devices to each other was demonstrated using Google Earth with the location information obtained from the devices for 5 different distance values. It was also observed that during the initial phase of the test, the LANDING PROGRESS warning, which indicates that the balloon is in the take-off phase until it climbs to a height of 50 ft above the ground, turns into a FLIGHT PROGRESS warning after 50 ft is exceeded.

This system, developed for hot air balloons and open to further improvements, is expected to fill a significant gap in preventing accidents that may occur after balloon contact and to make a substantial contribution to the hot air balloon industry.

Keywords: Accident, Balloon, Collision, GPS, Human Factor, TCAS.



ÖNSÖZ

Bu çalışma, Yüksek Lisans Tezi olarak Selçuk Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Havacılık Elektrik ve Elektronik Bölümü öğretim üyelerinden Dr. Öğr. Üyesi Fatih Alpaslan KAZAN danışmanlığında hazırlanarak sunulmuştur.

Çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle, göstermiş olduğu sabır ve anlayışla yardım ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih Alpaslan KAZAN'a

Ders dönemi çalışmalarında bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Doç. Dr. Mehmet KONAR hocama ve Havacılık Teknolojileri Anabilim Dalı'ndaki tüm hocalarıma,

Her daim yanımda olan arkadaşım Fazlı YÖKSEL'e

Çalışmamı destekleyen ve test aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım sıcak hava balonu pilotları Yalçın KARS ve Sezer İREM'e, ayrıca sahibi oldukları Seyal Genel Havacılık firması ailesine,

Manevi desteklerini her zaman hissettiğim ve beni her konuda destekleyen eşim Kübra AKA'ya ve aileme teşekkürü borç bilirim.

Onur Can AKA
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. SICAK HAVA BALONU	9
3.1. Giriş	9
3.2. Sıcak Hava Balonlarının Bileşenleri.....	10
3.2.1. Kubbe.....	10
3.2.2. Sepet	11
3.2.3. Ateşleme Sistemi (Burner)	12
3.2.4. Yakıt Tankı	13
3.3. Sıcak Hava Balonlarının Kontrol Mekanizmaları	13
3.4. Sıcak Hava Balonlarında İnsan Faktörlerinin Etkisi	14
3.4.1. Uçuş Sırasında Oluşan İletişim Hataları.....	15
3.4.2. Balon Pilotlarının Olumsuz Hava Koşullarında İnisiyatif Alması	15
3.4.3. Bakım Hataları.....	16
3.4.4. Yer Ekibi Hataları.....	16
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
4.1. Giriş	17
4.2. Kullanılan Donanımlar	17
4.2.1. Raspberry Pi 4 Model B	18
4.2.2. 64 GB SD Kart	19
4.2.3. Raspberry Pi Pro Touch 2, 7" Dokunmatik Ekran.....	19
4.2.4. Ublox GYGPSV1 NEO-M8N GPS Modülü	20
4.2.5. Yayın Anteni Modülü LoRa	21
4.2.6. Barometrik Basınç Sensörü (BMP180)	22
4.2.7. İvme ve Gyro Sensörü (MPU6050).....	24
4.2.8. Li-Polimer Pil	24
4.2.9. Raspberry Pi 4 Adaptör	25
4.3. Kullanılan Yazılımlar	25

4.3.1. Python.....	25
4.3.2. Flutter.....	31
4.3.3. Linux.....	31
4.3.4. Tasarlanan Sistemin Algoritması.....	32
4.4. Tasarlanan Sistemin Arayüzü	33
5. TASARLANAN SİSTEMİN SAHA TESTLERİ.....	36
5.1. Yer testleri	36
5.1.1. Konum Bilgilerinin Doğruluğunun Test Edilmesi	36
5.1.2. İrtifa Bilgilerinin Doğruluğunun Test Edilmesi	38
5.1.3. Cihazlar Arasındaki Haberleşmenin Test Edilmesi.....	38
5.2. Uçuş Öncesi Alınan Resmi İzinler	43
5.3. Balon Testi.....	45
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
6.1. Sonuçlar	64
6.2. Öneriler.....	67
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	71

KISALTMALAR

TCAS	: Traffic Alert and Collision Avoidance System
GPWS	: Ground Proximity Warning System
EGPWS	: Enhanced Ground Proximity Warning System
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
GPS	: Global Position System
I ² C	: Inter-Integrated Circuit
IDE	: Integrated Development Environment
TX	: Transmitter
RX	: Receiver
UART	: Universal Asynchronous Receiver
SIM	: Subscriber Identity Module

1. GİRİŞ

20. yüzyılın başlarında, sıcak hava balonları turistik etkinliklerde ve rekreasyon amaçlı uçuşlarda popüler hale geldi. Bugün, dünya genelinde pek çok yerde sıcak hava balonlarıyla yapılan turlar turistler için eşsiz bir deneyim sunmaktadır. Sıcak hava balonları, diğer hava araçlarından farklı olarak, sessiz ve sakin bir uçuş sunar ve genellikle sabahın erken saatlerinde yapılan uçuşlar, gün doğumunun büyüleyici manzarasını izleme fırsatı verir. Bununla birlikte, balon sayısındaki artış ve popüleritesindeki yükselme, özellikle Kapadokya gibi turistik bölgelerde, çarpışma riskini de artırmaktadır (Smith, 2018a).

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte insanların hayatını kolaylaştıran yeniliklerden biri de kaza/çarpışma önleme sistemleridir. Bu sistemler sayesinde birçok araçta istenmeyen sonuçların yaşanması önlenmekte veya azaltılmaktadır. Örneğin, otomobillerde kullanılan park sensörleri ve çarpışma önleyici sensörler, kullanıcıya sesli uyarılar veya görsel mesafe bilgileri sunarak yardımcı olur. Deniz taşımacılığında ise sonar sistemleri, su altındaki cisimleri ve diğer deniz taşıtlarını tespit ederek çarpışmaları önlemeye çalışır.

Çarpışma önleme sistemleri, hava araçları arasındaki potansiyel çarpışmaları önlemek için tasarlanmış hayati sistemlerdir. Özellikle havacılık sektöründe, bu tür sistemler uçuş güvenliğini sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır. Trafik Çarpışma Ve Önleme Sistemi (Traffic Alert and Collision Avoidance System, TCAS) gibi sistemler, uçaklar arasındaki mesafeyi ve hızları izleyerek, çarpışma riski oluştuğunda pilotlara uyarılar gönderir ve kaçınma manevraları önerir. TCAS, havacılık sektöründe kullanılan en yaygın çarpışma önleme sistemlerinden biridir ve ticari uçuşlar için bir standart haline gelmiştir (Smith, 2018a).

Ancak, sıcak hava balonları için özel olarak tasarlanmış bir çarpışma önleme sistemi bulunmamaktadır. Bu eksikliğin birkaç nedeni vardır: Balonların uçaklara kıyasla daha düşük hızda hareket etmesi, manevra kabiliyetlerinin sınırlı olması ve radar gibi geleneksel algılama sistemleriyle tespit edilememesi. Ayrıca, sıcak hava balonları genellikle daha düşük irtifalarda uçtukları ve büyük hava akımlarına maruz kaldıkları için, çarpışma riskleri daha karmaşık bir hal alır (Johnson ve Mark, 2020). Bu faktörler, sıcak hava balonları için özel olarak tasarlanmış bir çarpışma önleme sistemi geliştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır.

Havacılık sektörü, bu sistemlerin en kritik olduğu alandır. Çünkü yerden binlerce metre yükseklikte bir kaza meydana gelirse, uçaktaki insanların hayatta kalma olasılığı son derece düşüktür. 1970’lerde birkaç ticari uçağın havada çarpışması sonrasında, Federal Havacılık İdaresi (Federal Aviation Administration, FAA), bu konuda çalışma yapmak üzere Lincoln Laboratuvarı’nı görevlendirmiştir (Kochenderfer ve ark., 2012). Bunun sonucunda geliştirilen çarpışma önleme sistemleri neredeyse tüm ticari uçaklarda bulunmaktadır. TCAS ile yer yakınlık uyarı sistemi (Ground Proximity Warning System, GPWS) buna örnek olarak verilebilir. TCAS, hava trafiği uyarı sistemi olarak işlev görerek pilotları potansiyel çarpışmalar hakkında bilgilendirirken, GPWS, uçağın yere yakınlık durumunu izleyerek olası bir tehlike anında uyarılar yapar.

TCAS’ın TCAS-1 ve TCAS-2 olmak üzere iki türü vardır. TCAS-1 sadece trafik yaklaşma uyarısında bulunur, hangi tarafa manevra yapılması gerektiğini belirtmez. Ancak TCAS-2 hem uyarıda bulunur hem de önleme reaksiyonunun hangi yöne doğru olması gerektiğini belirtir. Bunlardan sadece TCAS-2 Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (International Civil Aviation Organization, ICAO) standartlarını karşılamaktadır (UTED, 2018). GPWS ise uçaklarının uçuş sırasında yere veya bir engele tehlikeli bir şekilde yaklaşması durumunda pilotları uyarmak için tasarlanmış bir sistemdir (FAA, 2000).

Johnson (2020)’nin belirttiği gibi, mevcut çarpışma önleme sistemleri sıcak hava balonları için yeterli değildir ve bu alanda daha özel çözümler geliştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen bu tez çalışmasında sıcak hava balonları için etkili bir çarpışma önleme sistemi tasarlanarak kazaların/olayların önüne geçilmesi ve bu suretle sıcak hava balonlarının güvenliğinin artırılması hedeflenmiştir. Gerçekleştirilen sistem, balonlar arası iletişim, sensör teknolojileri ve gelişmiş yazılım algoritmaları kullanarak çarpışma risklerini minimize etmeyi hedeflemektedir. Sıcak hava balonları, uçaklara kıyasla çok daha yavaş hareket eden ve düşük irtifalarda uçan araçlar oldukları için, çarpışma risklerini belirlemek ve önlemek amacıyla özel çözümler gerektirir.

Gerçekleştirilen çalışmanın önemi, sıcak hava balonlarının güvenliğini artırarak olası kazaların önlenmesine katkıda bulunacak olmasıdır. Sıcak hava balonları, özellikle turistik bölgelerde yoğun olarak kullanıldığı için, herhangi bir çarpışma kazasının ciddi sonuçları olabilir. Bu nedenle, bu çalışma, balon operatörlerinin ve yolcuların güvenliğini sağlamada kritik bir rol oynayacaktır. Ayrıca, bu çalışma, havacılık alanında yeni bir

Çarpışma nleme teknolojisinin geliştirilmesine katkıda bulunarak, balonculuk sektörüne yönelik yenilikçi bir çözüm sunmayı hedeflemektedir.

Tezin ikinci bölümde hava aralarındaki mevcut çarpışma nleme sistemleri ve bu alanda yapılmış akademik çalışmalar özetlenmiştir. Sıcak hava balonlarının önemi, kullanım alanları ve bileşenleri gibi konular ise üçüncü bölümde ele alınmıştır. Gerçekleştirilen sistemde kullanılan donanım ve yazılımlar ile sistemin çalışmasını anlatan algoritma tezin dördüncü bölümünde detaylı olarak paylaşılmıştır. Ardından tasarlanan sistemin saha testlerine yer verilmiştir. Saha testlerinden elde edilen sonuçlar ve gelecekte bu alanda yapılacak çalışmalara yönelik öneriler tezin beşinci bölümünde sunulmuştur.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çarpışma önleme sistemleri ve bileşenleri hakkında yapılmış çalışmaları incelemek, balonlar özelinde bu tür çalışmaların varlığını ortaya koymak açısından önemlidir. Bu nedenle hava araçlarındaki çarpışma önleme sistemleri ve bileşenleri hakkında yapılmış çalışmalar erişilebilen çevrimiçi veri tabanlarında araştırılmış ve aşağıda özetlenmiştir.

Chappell (1990) tarafından yapılan çalışmada, pilotların TCAS-2 tarafından verilen tavsiyelere yanıt verme performansını belirlemek için üç farklı deney gerçekleştirilmiştir. İlk deneyde, normal TCAS-2 operasyonları değerlendirilmiş olup bu çalışmada, simüle edilmiş uçuş hattı üzerindeki operasyonlarında Boeing 727 uçuran on altı yolcu ve üç kişilik havayolu uçuş ekibi görev almıştır. Ekipler, TCAS'ın aktif ve pasif olduğu sekiz uçuş senaryosu gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, pilotların TCAS-2'yi doğru bir şekilde kullanabildiklerini ve sistemin trafik çakışmalarının ciddiyetini iyileştirmede etkili olduğunu göstermiştir. Çalışmanın ikinci kısmında, pilotların TCAS'ın verdiği kaçınma tavsiyelerine nasıl yanıt verdikleri test edilmiştir. Bu deneyde, TCAS donanımlı bir uçağa yaklaşan ve mevcut durumda rotaları kesişecek olan uçakların manevraları sonucunda, bir çözüm tavsiyesi verildiğinde pilotların tepkileri incelenmiştir. Sonuçlar, pilotların iki saniye içinde doğru yanıt verebildiklerini ve sistemin öngördüğü dikey hız değişikliklerine başarıyla uyum sağladıklarını göstermiştir. Çalışmanın üçüncü ve son deneyinde, TCAS-2'nin farklı renkteki tavsiye ekranlarına verilen pilot tepkileri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda üç farklı ekran türü test edilmiştir. Bunlar; orijinal TCAS ekranı, kırmızı ve yeşil renklerin bir arada kullanıldığı ekran ve yalnızca yeşil hedef alanı içeren ekrandır. Sonuçlar, kırmızı ve yeşil ekranın pilotlar tarafından tercih edildiğini, ayrıca daha az hataya ve daha hızlı yanıtlara yol açtığını ortaya koymuştur (Chappell, 1990).

Hueschen (1994) tarafından yapılan çalışmada, localizer anteninden 10 ila 32 deniz mili uzaklıktaki bir aletli iniş sisteminin (Instrument Landing System, ILS) aldığı localizer sinyalinin matematiksel modeli için gerekli bilgileri elde etmek ve geliştirmek amacıyla Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (National Aeronautics and Space Administration, NASA) ve FAA tarafından ortak bir uçuş testi gerçekleştirilmiştir. Test, Los Angeles Uluslararası Havalimanı'ndaki 25L pistinde yapılmıştır. Uçuş testleri sırasında, uçak, pist merkez çizgisine dik olan birden fazla düz bacak segmentine sahip

önceden programlanmış iki rota boyunca uçurulurken yaşanan localizer sapmaları kaydedilmiştir. Hassas bir yer tabanlı radarla izlenen uçağın "gerçek" konumu, uçak rotalar boyunca uçarken kaydedilmiştir. İstatistiksel analiz için tutarlı bir veri seti elde etmek üzere, aynı uçuş rotalarında uçurulmasını sağlamak için Diferansiyel Küresel Konumlandırma Sistemi (Differential Global Positioning System, DGPS) navigasyonu kullanılmıştır.

Kaiser ve Steinhagen (1995) tarafından yapılan çalışmada, pilsiz bir transponder sistemi için yeni bir CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) entegre devre sunulmuş olup transponderdaki tümleşik devrenin işlevi ve çeşitli yapı taşları için kullanılan devre tasarım teknikleri açıklanmıştır.

Khalel (2010) tarafından yapılan çalışmada kablosuz iletişim sistemlerinde kullanılan konum belirleme teknikleri incelenmiştir. Çalışmada üçgenleme, zaman farkı ve sinyal gücüne dayalı yöntemlerin yanı sıra GPS, kablosuz iletişim ve hücreli ağlar gibi teknolojilerin avantajları ve sınırlamaları ele alınmıştır. Ayrıca, sinyal engellenmesi ve çoklu yol etkisi gibi faktörlerin konum belirleme doğruluğuna etkisi tartışılmıştır. Çalışma, farklı yöntemleri karşılaştırarak, uygulamalara göre en uygun konum belirleme tekniklerinin seçimi için bir rehber sunmuş olup kablosuz iletişim sistemlerinin daha verimli hale getirilmesi için bu teknolojilerin önemini vurgulamıştır.

Armenise ve ark. (2010) tarafından kaleme alınan kitapta jiroskop teknolojileri araştırma alanında bilim camiası tarafından elde edilen ana sonuçlar toplanmış ve eleştirel olarak gözden geçirilmiştir. Kitap, hem literatürde önerilen açısal hız sensörlerinin mimarilerini, tasarım tekniklerini ve üretim teknolojilerini açıklamış hem de özel uygulamaları kapsamayı amaçlayan gelecekteki araştırma eğilimlerini ele almıştır.

Günümüzde üretilen hava araçlarının büyük bir çoğunluğunda elektronik gösterge sistemleri bulunmaktadır ve bu göstergeler, uçuş sırasında gerekli verileri sağlayarak hem uçuş güvenliğini artırmakta hem de pilotların durumsal farkındalığını geliştirmektedir. Acarbay (2014) tarafından yapılan çalışmada, deneysel ve akademik amaçlarla kullanılabilecek hava araçları için elektronik gösterge sisteminin kavramsal tasarımı ve ekran benzetimi yapılmıştır. Kavramsal tasarım sürecinde, hava aracının görevine yönelik gereksinimlerin belirlenmesi, karar matrislerinin oluşturulması, insan faktörleri analizinin yapılması, en az sistem parametrelerinin belirlenmesi ve blok şemalarının tasarlanması aşamaları gerçekleştirilmiştir. Elektronik gösterge sisteminin benzetimi ise Processing programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir.

Gelişmiş GPWS (Enhanced Ground Proximity Warning System, EGPWS); coğrafi konum, tutum, irtifa, yer hızı, dikey hız ve süzülme eğimi sapması gibi uçak girdilerini kullanarak, uçak rotası ile arazi veya bir engel arasındaki olası bir çakışmayı tahmin etmek için içerisinde arazi, engeller ve havaalanı gibi bilgileri içeren dahili veri tabanlarıyla birlikte çalışır. Bir arazi veya engel çakışması durumunda, EGPWS görsel ve işitsel bir uyarı verir. Hu (2015) tarafından yapılan çalışmada, ek özelliklerle birlikte arazi uyarısı ve görüntüleme işlevleri sağlayan EGPWS, bir arazi farkındalığı ve uyarı sistemi olarak ele alınmıştır. Çalışmada, erken uyarı sistemlerinin, alçak irtifa hava sahası yönetimi açısından önemine de vurgu yapılmıştır. Makale ayrıca alçak irtifa hava sahasındaki uçuş güvenliği durumunu tartışmış ve erken uyarı için havacılık haritasında görselleştirme gerçekleştirmenin temel teknolojilerini açıklamıştır. Bu teknolojiler, çok kaynaklı veri toplama, yer bilgisi araştırması, dijital havacılık haritasının çizilmesi, görselleştirme arazi modellerinin oluşturulması ve erken uyarı sistemi oluşturulmasını içerir. Ayrıca, çalışma bu alandaki ilgili araştırma eğilimlerini ve gelecekteki gelişmeleri analiz etmiştir.

Doe (2017), sıcak hava balonları arasındaki mesafeyi belirlemek için optik sensörlerin kullanılmasının, maliyet etkinliği ve enerji verimliliği açısından uygun bir çözüm olabileceği belirtilmiştir. Anca bilindiği gibi optik sensörlerin performansı, çevresel ışık koşullarından etkilenebilir ve bu nedenle, özellikle gece uçuşları sırasında zorluklar yaratabilir. Çalışmada sıcak hava balonları gibi düşük hızda hareket eden hava araçları için TCAS gibi sistemlerin etkili olamayacağı savunulmuştur.

Sıcak hava balonlarının güvenliği üzerine yapılan araştırmalar, genellikle balon kazalarının nedenlerini ve bu kazaların nasıl önlenebileceğini incelemektedir. Smith (2018a) tarafından yapılan çalışmada, sıcak hava balonlarında meydana gelen kazaların %70'inin pilot hatasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu hataların da özellikle eğitim eksikliklerinden ve hava koşullarının yanlış değerlendirilmesinden kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, balon operatörlerinin daha kapsamlı eğitim programlarına tabi tutulması gerektiğini ve bu programların hava koşullarını doğru değerlendirme yeteneklerini geliştirmeye odaklanması gerektiğini göstermiştir.

Çarpışma önleme sistemleri hava araçları arasındaki çarpışma risklerini azaltmak için kritik öneme sahiptir. Bu sistemler, özellikle ticari havacılıkta yaygın olarak kullanılmaktadır. TCAS, modern ticari uçaklar için en yaygın kullanılan çarpışma önleme sistemi olup, uçaklar arasındaki mesafeyi izleyerek potansiyel çarpışma risklerini

hesaplar ve ardından pilotlara kaçınma manevraları sunar. Bu tür sistemler, uçakların hızlarını, yüksekliklerini ve yönlerini değerlendirerek hava sahasında güvenliği sağlamaktadır. Smith (2018b) tarafından yapılan çalışmada TCAS'ın etkinliğinin hava trafiği yoğun olan bölgelerde çarpışma risklerini önemli ölçüde azalttığı oraya konulmuştur.

Sıcak hava balonlarının teknik güvenlik sorunları da araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. Örneğin, balonlardaki teknik arızalar, gaz yakıt sistemlerindeki sorunlar ve balon kumaşlarının dayanıklılığı, balon kazalarının diğer önemli nedenleri arasında yer almaktadır. Jones ve Brown (2019), balon kumaşlarının zamanla yıprandığını ve bu durumun balonların dayanıklılığını ve güvenliğini olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, sıcak hava balonlarının düzenli olarak bakım ve onarımdan geçirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Kafalı ve Keskin (2019) tarafından yapılan çalışmada, sportif havacılık uçuşları için Avrupa Havacılık Güvenliği Ajansı (European Aviation Safety Agency, EASA) ve Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) kapsamında sıcak hava balonlarına yönelik sağlanan kolaylıklar ele alınmıştır.

Johnson ve Mark (2020) tarafından kaleme alınan kitapta balonlar arası mesafe ve engellere olan uzaklıkların ölçümlerinde kullanılabilecek radar, Lidar ve ultrasonik sensör teknolojileri detaylı olarak ele alınmıştır.

Wilson (2020) tarafından yapılan çalışmada radar ve Lidar teknolojilerinin sıcak hava balonlarına entegrasyonu üzerine odaklanılmıştır. Çalışmada, radarın özellikle düşük görünürlük koşullarında etkili olduğu, ancak Lidar'ın daha yüksek doğruluk ve hassasiyet sunduğu belirtilmiş ve akabinde radar ve Lidar teknolojilerinin birlikte kullanıldığında, balonlar arasındaki çarpışma risklerini minimize edebileceği öne sürülmüştür. Ancak bu sistemlerin yüksek maliyetli olması ve ağırlık etkisi nedeniyle balonlarda yaygın olarak kullanılmalarının kısıtlandığı da ifade edilmiştir. Bu nedenle sıcak hava balonları için özel olarak tasarlanmış bir çarpışma önleme sistemi geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Ferguson (2022) tarafından yapılan çalışmada uçakların yere veya engellere tehlikeli derecede yaklaşmasını önlemek için geliştirilen GPWS'nin kapsamlı bir analizi sunulmuştur. Çalışma, GPWS'nin temel işlevlerini, çalışma prensiplerini ve tarihsel gelişimini detaylandırmıştır. Özellikle sistemin uçuş güvenliğini artırmadaki rolüne dikkat çekilerek, havacılık kazalarının önlenmesindeki katkıları vurgulanmıştır. Makale,

GPWS'nin sensörler aracılığıyla uçak yüksekliğini, hızını ve zemin eğimlerini nasıl değerlendirdiğini açıklarken, sistemin pilotlara zamanında sesli ve görsel uyarılar vererek ani irtifa kaybı veya çarpışma riskini nasıl en aza indirdiğini ele almıştır. Ayrıca, modern uçaklarda yaygınlaşan EGPWS teknolojisinin, dijital haritalar ve GPS kullanarak daha hassas tahminler sağladığına da değinilmiştir.

Uçağı izlemek ve takip etmek için çeşitli iletişim teknolojileri kullanılmasına rağmen çok yüksek verim elde edilememektedir. Radyo iletişimi ve aviyonikte kullanılan konformal antenler veya konformal diziler, belirli şekillere uymak veya bu şekilleri takip etmek üzere tasarlanmış düz radyo antenleridir. Örneğin, kavisli bir konformal anten, kavisli bir yüzeye monte edilir veya gömülür. Konformal antenler, her biri bir faz değiştiriciye bağlı çok sayıda küçük antenden oluşmaktadır. Faz diziliimli antenler, istenen uygulamada yüksek yönlülüğe sahiptir. Konformal diziler genellikle UHF veya mikrodalga aralığındaki yüksek frekanslarla sınırlıdır, bu da küçük antenlerin kullanılmasına olanak tanır. Laxminarayan ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada konformal antenin uçağın yüzeyine daha fazla kazançla yerleştirmesine çalışılmıştır. Bu amaca ulaşmak için de elektromanyetik bileşenleri ve sistemleri tasarlamak, analiz etmek ve optimize etmek amacıyla kullanılan CST mikrodalga yazılımı kullanılmıştır.

Yukarıda paylaşılan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere sıcak hava balonlarının havada birbiriyle çarpışmasını ya da aniden yükselen bir yükseltiye çarpmasını önleyecek bir sistem şimdiye kadar henüz geliştirilmemiş ancak geliştirilmesine yönelik tavsiyelerde bulunulmuştur. Geliştirme sürecinde bu sistemlerin geniş çapta uygulanabilirliği için maliyet, ağırlık ve performans gibi faktörlerin dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir.

3. SICAK HAVA BALONU

3.1. Giriş

Balon, atmosferde yükselebilmesi ve kaldırma kuvvetini üretebilmek için sıcak hava, helyum veya hidrojen gibi havadan daha hafif bir gazla doldurulmuş büyük ve hava geçirmez bir torbadır. Taşıma balonları, yolcular veya kargolar için altında bir sepet veya konteyner barındırmaktadır (Britannica, 2024).

Sıcak hava balonları, insanlık tarihinde uçuşa dair ilk büyük adımlardan birini temsil eder. İlk sıcak hava balonu, 1783 yılında Montgolfier kardeşler tarafından Fransa'da başarıyla uçurulmuştur. Bu ilk uçuş, balonculuk tarihini başlatmış ve zamanla balonlar hem eğlence hem de bilimsel araştırmalar için kullanılmaya başlanmıştır. Montgolfier kardeşlerin geliştirdiği balon, yalnızca sıcak hava kullanarak havalanan ilk araç olarak tarihe geçmiştir. Bu olay, insanlık tarihinin dönüm noktalarından biri olarak kabul edilir (Montgolfier, 1783).

Günümüzde sıcak hava balonları, teknolojinin ilerlemesiyle çeşitli alanlarda önemli bir rol oynamaya başlamıştır. En yaygın kullanım alanları turizm ve eğlence sektörlerindedir. Kapadokya (Türkiye), Albuquerque (ABD) ve Loire Vadisi (Fransa) gibi yerler, sıcak hava balonu turlarıyla ünlüdür. Bu turlar yerel ekonomilere katkı sağlamaktadır (Johnson ve Mark, 2020). Ayrıca, sıcak hava balonları spor etkinlikleri için de önemlidir. Balon pilotları, lisans almak için eğitim alır ve uluslararası yarışmalarda yer alırlar (Doe John ve Sarah, 2019).

Bilimsel araştırmalarda da sıcak hava balonları kullanılmaktadır. Düşük maliyetli gözlemler ve veri toplama için ideal araçlardır. Çevresel değişiklikleri izlemek ve hava kirliliği ölçümleri yapmak için etkilidirler (Miller, 2018).

Reklam ve tanıtımda da sıcak hava balonları dikkat çekici bir rol oynamaktadır. Büyük etkinliklerde markalar, bu balonları etkili bir reklam aracı olarak kullanmaktadırlar (Taylor, 2017).

Sıcak hava balonları çevre dostu bir ulaşım seçeneğidir. Düşük karbon ayak izi ve fosil yakıt tüketimini azaltma özellikleri, sürdürülebilir turizm ve çevre bilinci için onları popüler bir araç haline getirmiştir (Clark, 2021). Günümüzde teknolojik gelişmeler sayesinde daha güvenli, verimli ve konforlu hale gelen modern balonlar, gelişmiş malzemeler, daha güçlü ve verimli brülörler, hassas kontrol sistemleri ve güvenlik donanımlarıyla donatılmıştır.

3.2. Sıcak Hava Balonlarının Bileşenleri

Balon içerisindeki ısıtılan hava, sıcaklık farkı sağlanarak dışarıdaki soğuk havanın üzerine çıkarken bir yukarı kaldırma kuvveti oluşturur. Kubbe içerisindeki hava, yakıt tankındaki yakıtın ateşlemesi ile ısıtılarak, bağlı olduğu sepetteki ağırlığı kaldıracak kadar yüksek bir kuvvet oluşturduğunda balon yükselmeye başlar. Bu kuvvet, balon içerisindeki hava sıcaklığının artmasına bağlı olarak artar. Sıcaklığın fazla artması balon için tehlike oluşturabileceğinden, bu işlem balon iç hava sıcaklığı sürekli takip edilerek gerçekleştirilir.

Sıcak hava balonları 4 ana parçadan oluşmaktadır. Bunlar:

- Kubbe (Envelope)
- Sepet (Basket)
- Ateşleme sistemi (Burner)
- Yakıt tankı (Fuel Tank)

3.2.1. Kubbe

Balon kubbeleri, dayanıklı ve hafif sentetik malzemelerden üretilir. Bu malzemeler, UV ışınlarına, aşırı sıcaklıklara ve yıpranmaya karşı dirençlidirler. Bu da balonların ömrünü uzatır ve güvenliğini artırır. Kubbelerin aerodinamik tasarımı, performansı optimize eder.

Kubbe imalatında en yaygın kullanılan malzeme yırtılmaz naylondur. Ama polyester gibi başka maddeler de kullanılmaktadır. Kubbenin en alt kısmındaki açık bölüm (ağız) Nomex gibi ateşe dayanıklı bir maddeden yapılmaktadır. Bu malzeme, itfaiyecilerin kullandığı giysilerin kumaşına benzer bir yapıya sahiptir.

Kubbenin üst kısmında, içerisindeki sıcak havayı tahliye etmek için bir paraşüt sistemi bulunmaktadır. Kubbenin iki yan tarafında ise balonun kendi eksenine etrafında sağa ve sola dönmesini sağlamak için pencereler yer almakta olup bunlar Şekil 1’de görülmektedir. Kubbenin hacmi ve içindeki hava sıcaklığı, balonun kaldırma kapasitesini belirler.



Şekil 1. Balon kubbesi

3.2.2. Sepet

Sepetin oluşturulmasında hafif ve esnek bir yapıya sahip olan saz bitkisi kullanılır. Örgü haline getirilerek oluşturulan sepetin kubbeye bağlanması Şekil 2’de görüldüğü üzere halatlar vasıtası ile gerçekleştirilir. Bakımı ve tamiri kolay olan sepetin biçimi ve şekli taşıyacağı kişi sayısı, kullanılan burner sayısı, yakıt tanklarının büyüklüğü ve sayısı, tehlike anında kullanılacak yangın söndürme tüplerinin büyüklüğü ve sayısına göre belirlenir.



Şekil 2. Balon Sepeti

Pilot, yolcu, yakıt tankları ve burner sistemi bu bileşen içerisinde bulunmaktadır. Sepetin altında bulunan taşıyıcı zeminde çelik ya da kompozit profil kullanılmaktadır. Çünkü bu bölge sürekli olarak basınca maruz kalmaktadır. Dolayısıyla sağlam olması gerekir. Ancak bu durum, uçuş esnasında sepetin altının başka bir balonun kubbesine temas ettiğinde temas ettiği balonun kubbesinin yırtılmasına sebep olabilir.

3.2.3. Ateşleme Sistemi (Burner)

Burner, pilot tarafından kontrol edilen, sayısı balonun tasarımına göre değişkenlik gösteren, sıcaklığı yönlendirme bakımından çok kısıtlı hareket alanına sahip bir kumanda birimidir. Sepet üzerinde yer alan "burner sehpası" adı verilen bölgeye monte edilmiştir. Balonu sabit tutmak, havalandırmak ve yönlendirmek için pilota sınırlı da olsa imkân sağlar.

Burner yakıtı olarak kullanılan propan gazı, öncelikle yakıt tankına doldurulur ve azot gazı ile basınçlandırılır. Basınçlı gaz burner aracılığıyla ateşlenerek balon içerisindeki havayı hızlı bir şekilde ısıtır. Bu işlem sırasında yüksek ses çıkması nedeniyle yer ekibi ile pilot arasındaki iletişimde aksaklıklar yaşanabilir. Örneğin pilot bu süreçte telsizden gelen uyarıları duymayabilir.

Modern brülörlerin verimleri yüksek olup daha az yakıtla daha fazla ısı üretir. Dolayısıyla uçuş süresini uzatır. Bazı balonlar, ikili, üçlü ve dördü brülör sistemleri ile donatılmıştır. Bu da acil durumlarda ek güvenlik sağlar. Şekil 3’de burner görseli verilmiştir.



Şekil 3. Burner

3.2.4. Yakıt Tankı

Yakıt tankları paslanmaz çelikten üretilmiştir ve balonun büyüklüğüne göre hacmi değişmektedir. Bu tanklar propan gazı ve basınçlandırma için azot gazı ile doldurulur. Uçuşun güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi ve öngörülemeyen durumlara karşı bir tedbir olması açısından, uçuş öncesi planlamalarda tanka doldurulacak yakıtın uçuş boyunca %75'i kullanılacak şekilde uçuş planlaması yapılır.

Yakıt tankları sepetin içinde bulunduğundan, yolcuların temasını önlemek için uçuş öncesinde bilgilendirme yapılması gerekir. Yakıt tankları, balonun en ağır bileşenlerinden biridir. Ancak uçuş sırasında, yakıtın azalması nedeniyle ağırlığı azalır. Bu nedenle pilot, yakıt tankı üzerindeki basınç saati üzerinden yakıt takibini yaparak ağırlık değişimini dikkate almalıdır. Çünkü yakıtın azalması, balonun yükselme ve alçalma hızlarını etkilemektedir. Sözü edilen yakıt tankları ve sepetteki yerleşimleri Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Yakıt Tankları

3.3. Sıcak Hava Balonlarının Kontrol Mekanizmaları

Pilot, brülörün alevini artırarak veya azaltarak sıcak hava balonunun irtifasını kontrol eder. Yükselme ve alçalma balonun içindeki havanın sıcaklığına bağlıdır. Balonun yatay hareketi ise rüzgârın hızı ve yönüne bağlıdır. Farklı irtifalarda farklı rüzgâr akımları bulunabilir. Bu nedenle pilot irtifayı değiştirerek yönü belirleyebilir. Pilot, kubbe sıcaklığı, balonun irtifası, uçuş yönü, alçalma ve tırmanma hızı bilgilerini Flytec isimli

cihaz ile sağlar. Ayrıca, sıcak hava balonunun kalkıştan inişe kadar olan uçuş bilgilerini Flytec cihazı aracılığıyla kayıt altına alır. Şekil 5’de Flytec cihazı görseli verilmiştir.



Şekil 5. FlyTEC cihazı

3.4. Sıcak Hava Balonlarında İnsan Faktörlerinin Etkisi

Artan hava trafiği ve insan faktörü nedeniyle günümüzde uçuşun her evresinde kaza riski artırmıştır. Sıcak hava balonlarıyla yapılan uçuşların artması, değişen iklim koşulları ve turistik faaliyetler uçuş sayısında artışa yol açmıştır. Pilotların ve insan taleplerinin artması yoğun bir trafik oluşturmuş ve son yıllarda kazalarda önemli bir artış gözlenmiştir. Balonların hem kalkış hem de uçuş sırasındaki alt-üst kontrolü ve hareket yön tespiti, pilot ve yer ekibinin ilkel bir şekilde sadece telsiz üzerinden yaptığı iletişimle sağlanmaktadır. Ancak bu iletişim yöntemi kazaların tam olarak engellenmesinde ve insan faktörünün ortadan kaldırılmasında yetersiz kalmaktadır.

Sıcak hava balonu kazaları toplam uçuş sayısına kıyasla çok az olmasına rağmen, kazaların oranı son yirmi yılda önemli bir artış göstermiştir. Kılıç (2020) tarafından yapılan bir çalışmada 103 adet Ulusal Ulaşım Güvenliği Kurulu (National Transportation Safety Board, NTSB) raporu analiz edilmiştir. Yapılan analizde sıcak hava balonu kazalarındaki en büyük nedenin insan faktörü kaynaklı olduğu ortaya çıkmıştır.

İnsan faktörünü en aza indirmek amacıyla kazalardan ders çıkarılarak havacılık sektörüne katı kurallar getirilmiş ve yenilikçi cihazlar geliştirilmiştir. Bu sayede hava yoluyla yolcu ve yük taşımacılığı en üst güvenlik seviyesine ulaşmış ve günümüzde dünyanın en güvenli taşımacılığı haline gelmiştir. Buna karşın, bu gelişmelerin dışında

kalan sıcak hava balonlarında kaza oranında bir artış gözlenmiştir. Ancak diğer sektörlere göre can kaybı ve yaralanmaların az sayıda olması, balon kazalarının gündemde daha az yer almasına neden olmuştur.

Sıcak hava balonlarında yaşanan kazalara insan faktörünün etkisi, ayrı başlıklar altında aşağıda incelenmiştir.

3.4.1. Uçuş Sırasında Oluşan İletişim Hataları

Yer ekibinin pilot ile sağladığı telsiz bağlantısı sayesinde, balon pilotunun üst, alt ve diğer kör noktalarda göremediği diğer balonların konum bilgilerini pilota iletmesi gerekir. Ancak telsiz bağlantısında kopma ya da hızla gelişen bir olayın neden olduğu iletişimde yanlış anlaşılmalara meydana gelebilmektedir. Buna 27 Mart 1977 tarihinde yaşanan ve 583 kişinin ölümüyle sonuçlanan Pan American World Airways (Pan Am) ve KLM Royal Dutch Airlines'a ait iki Boeing 747 uçağının çarpışması örnek olarak verilebilir. Bu trajik olay, Los Rodeos Havalimanı'nda (şu anda Tenerife Kuzey Havalimanı olarak bilinir) yoğun sis koşullarında gerçekleşmiştir. KLM uçağı kule tarafından kendisine kalkış izni verilmemiş olmasına rağmen, telsideki parazit kaynaklı iletişim bozukluğu nedeniyle kalkışa izin verildiğini zannetmiş ve koşusuna başlamıştır. Ancak bu sırada, pistte geçiş halinde olan başka bir Boeing ile çarpışmıştır (Folarin, 2021).

Balonlar arasındaki iletişimsizlik de kazalara neden olmaktadır. Örneğin 2013 yılında kubbe-sepet çarpışması sonucu 3 kişi yaralanmış ve 2 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu olay sonucu pilot tutuklanarak cezaevine gönderilmiştir. (Cumhuriyet, 2022)

3.4.2. Balon Pilotlarının Olumsuz Hava Koşullarında İnisiyatif Alması

Uçuş sırasında hava koşullarının değişkenlik göstermesi balonun hareketlerinde ve uçuş güvenliğinde zorlukları beraberinde getirmektedir. Artan hava hızının yüksekliklere göre değişkenlik göstermesi, balonun büyüklüğü ve termik ısı etkisi balonun yönlendirilmesini zorlaştırmaktadır.

Pilot, uçuş sırasında sıcak hava balonunu yönetir ve çevreyi analiz ederek güvenliği sağlamaya çalışır. Ancak, pilotun görüş alanı dışında kalan bölgeleri görmesi mümkün değildir. Üzerinden geçen bir balonu fark edememesi veya altta bulunan

balonun üstteki balonun sepetine temas etmesi, alttaki balonun kubbesinin zarar görmesine ve akabinde kaza yaşanmasına neden olabilir.

Bilindiği gibi sıcak hava balonları rüzgârın etkisiyle gökyüzünde hareket eder. Rüzgâr hızı ve yönü, bu balonların uçuş güvenliği ve kontrolü için kritik öneme sahip iki ana meteorolojik parametredir. Balonlar çevresel rüzgâr akımlarına bağlı olarak hareket eder ve bu nedenle rüzgâr hızının ve yönünün doğru bir şekilde izlenmesi, balonun güvenli bir şekilde yönlendirilmesi açısından hayati öneme sahiptir.

Yüksek rüzgâr hızları, balonun hızlı hareket etmesine, kontrolünün zorlaşmasına, balonun stabilitesinin bozulmasına ve güvenlik risklerinin oluşmasına neden olur. Bu nedenle, balon pilotlarının rüzgar hızları ile ilgili olarak sıcak hava balonu üreticilerinin ve SHGM'nin talimatlarına uymaları gerekir. Örneğin 120 cu ft'e kadar olan balonlarla yapılan yolcu uçuşunda en fazla 10 knot rüzgar hızına izin verilmektedir (SHGM, 2005). Şayet rüzgar hızı 10 knot üzerin çıkmışsa uçuşun yapılmaması gerekir. Fakat SHGM'nin aynı talimatındaki sorumluluğun işleticiye ve ilgili balon pilotuna ait olduğunu belirten maddeye istinaden ve risk alarak uçulmaması gereken rüzgâr hızlarında uçuş gerçekleştirebilmektedirler.

3.4.3. Bakım Hataları

Bakım hataları, balonların güvenliğini ve performansını olumsuz etkileyebilir. Örneğin sepet, kubbe ve burner gibi balon bileşenlerinin rutin kontrolleri ve tamiri sırasında yapılacak hatalar, dikkat eksikliği, prosedürlerin yanlış yorumlanması ya da prosedüre uyulmaması gibi insan faktörü kaynaklı bakım hataları buna örnek verilebilir. Bu tür hatalar da kazaların yaşanmasına neden olabilmektedir.

3.4.4. Yer Ekibi Hataları

Yer ekipleri, uçuş sırasında balonun hareketini gözlemleyerek pilotu bilgilendirir ve pilotun hareket serbestliğini sağlar. Ancak, dalgınlık veya balonun çok yüksekte olması durumunda, yer ekibinin yanlış bilgilendirme yapma riski vardır. Pilot yanlış bilgilendirildiğinde, kaza kaçınılmaz olabilir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Giriş

Çarpışma önleme sisteminin başarılı bir şekilde sıcak hava balonlarına entegre edilmesi, donanım ve yazılım bileşenlerinin uyumlu bir şekilde çalışmasını gerektirir. Donanım entegrasyonu, balonun aerodinamik özelliklerini, ağırlık dengesini ve enerji verimliliğini dikkate alarak yapılmalıdır. Donanım bileşenlerinin montajı sırasında, balonun yapısal bütünlüğünü korumak ve aerodinamik özelliklerini bozmamak esastır. Balonun dengesini bozmayacak şekilde hafif ve kompakt sensörler seçilmiştir. Önerilen sistemin gerçekleştirilmesi sırasında kullanılan donanımlar ve yazılımlar ayrı başlıklar altında aşağıda detaylandırılmıştır.

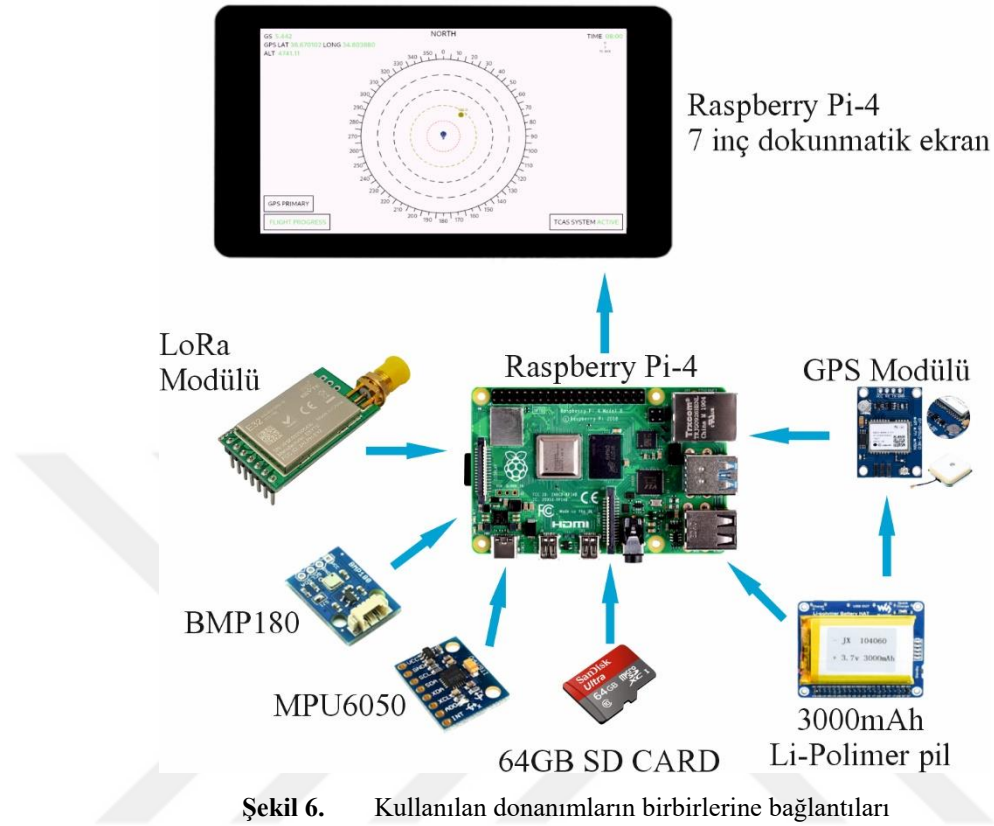
4.2. Kullanılan Donanımlar

Çalışmada kullanılan donanımlar aşağıda listelenmiştir.

- Raspberry Pi 4 8 GB- Model 4B
- 64 GB SD Kart
- EBYTE E220-900T22D Lora LLCC68- 5km LoRa modülü (UART ile)
- Raspberry Pi 7" dokunmatik ekran
- Ublox GY-GPSV3 NEO-8M M8N GPS modülü
- BMP180 barometrik basınç sensörü (I²C ile)
- SMA erkek 900 MHz 5 dBi çok yönlü lora anten (LORA modülüne Takılı)
- 6 Eksen İvme ve Gyro Sensörü (MPU6050) (I²C ile)
- WaveShare Raspberry Pi Li-Polimer pil hat, 5V çıkış, hızlı şarj
- Raspberry Pi 4 adaptör 5V 3A (Şarj ve genel kullanım için)

Kullanılacak donanımlar belirlendikten sonra ilk olarak, Raspberry Pi 7" dokunmatik ekranına ekran kartı aracılığı ile Raspberry Pi 4 monte edilmiştir. Raspberry Pi 4'e bir saatlik uçuş için gerekli enerjiyi sağlamak amacıyla Li-Polimer pil takılmıştır. MPU6050 6 eksenli ivme ve gyro sensörü, BMP180 barometrik basınç sensörü ve SX1262 LoRa haberleşme modülü, delikli devre kartına monte edilerek Raspberry Pi 4'e bağlanmıştır. Ublox NEO M8N GPS Modülü GYGPSV1-8M ise USB bağlantısı

aracılığıyla entegre edilmiştir. Kullanılan bu donanımların bağlantıları Şekil 6'da verilmiştir.



4.2.1. Raspberry Pi 4 Model B

Raspberry Pi işlemci, RAM bellek, giriş/çıkışlar gibi tüm birimleri tek bir devre kartında toplayan mini bir bilgisayardır. Küçük ve kompakt tasarımıyla robotik projeler, akıllı ev sistemleri, gömülü sistemler, kiosklar ve masaüstü bilgisayar olarak kullanılabilir. Arduino gibi mikro kontrolcüler yetersiz kaldığında ve aynı anda birden fazla işlemin yapılması gerektiğinde Raspberry Pi tercih edilebilir. Linux işletim sistemlerinin yanı sıra oyun makinesi, medya merkezi veya ağ cihazı olarak da kullanılabilen birçok hazır sistemi çalıştırabilir (Robotistan, 2024a). Şekil 7'de Raspberry Pi-4 verilmiştir.



Şekil 7. Raspberry Pi-4 (Raspberrypi, 2024)

Çalışmada Raspberry Pi-4 kullanılmasının nedeni, kullanılacak diğer donanımların herhangi bir ara eleman ya da dönüştürücüye ihtiyaç duyulmadan doğrudan bağlanabilmesini ve tasarlanan sistemin balonun hızındaki değişimlere bağlı olarak daha hızlı tepki vermesine imkân sağlayacak hıza sahip olmasıdır.

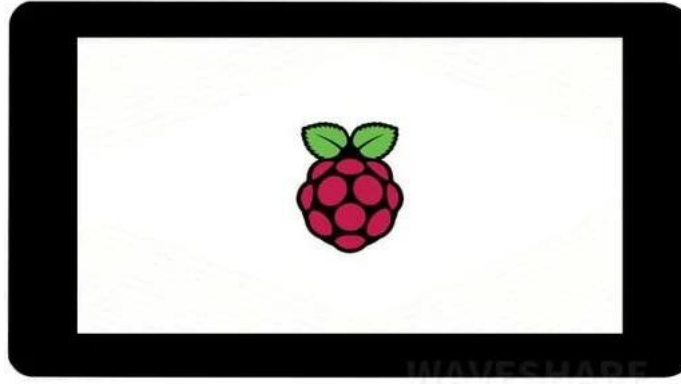
4.2.2. 64 GB SD Kart

Raspberry Pi-4'ün kendi işletim sisteminin ve diğer programlarının çalışabilmesi için ihtiyaç duyduğu bellek, 64 GB SD kart kullanılarak sağlanmıştır.

4.2.3. Raspberry Pi Pro Touch 2, 7" Dokunmatik Ekran

7 inçlik kapasitif dokunmatik ekran, 1024x600 çözünürlüğe sahiptir ve 5 noktalı kapasitif dokunmatik kontrolle birlikte temperli cam panel sunar. 6 H'ye kadar sertlik sağlar ve Raspberry Pi ile uyumludur. Raspberry Pi OS, Ubuntu, Kali ve RetroPie sistemlerini destekler. I²C iletişim protokolünü kullanır ve düşük güç tüketimiyle ekonomik kullanım sağlar.

Raspberry Pi 7" dokunmatik ekran, eğitim alanında programlama ve elektronik mühendisliği pratiği için kullanılmaktadır. Ayrıca robotik uygulamalar, IoT projeleri ve çeşitli otomasyon sistemlerinde de yer alır. Ekranın boyutu, taşınabilirliğini artırırken dokunmatik yüzey, projelerin daha verimli bir şekilde kontrol edilmesine yardımcı olur (Lobo, 2023). Çalışmada kullanılan dokunmatik ekran Şekil 8'de verilmiştir.

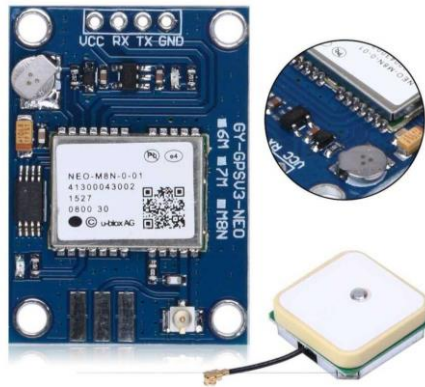


Şekil 8. 7 inç Kapasitif Dokunmatik LCD Ekran Modülü (Robotistan, 2024b)

Çalışmada bu ekran modülünün kullanılma nedeni uçaklardaki TCAS ekranına benzer bir görüntünün oluşturularak pilotun burada sunulacak bilgilerden istifade etmesini sağlamaktır. Sıcak hava balon pilotu bu ekran üzerinde kendi konum, hız ve yön bilgilerini görebileceği gibi, diğer sıcak hava balonlarının bilgilerini de izleyebilecektir. Ayrıca, gerekli acil uyarılar ve ikazlar da bu ekranda belirtilecektir. Pilot görüntülü bildirimler aracılığıyla bilgilendirilecektir.

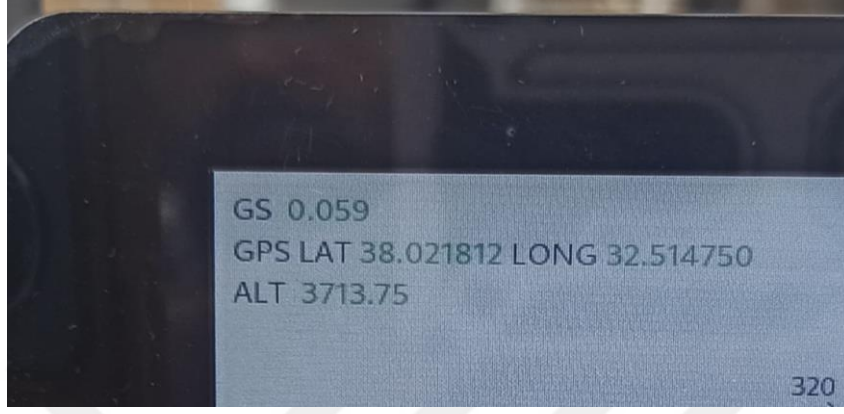
4.2.4. Ublox GYGPSV1 NEO-M8N GPS Modülü

Seramik antenli Ublox GYGPSV1 NEO-M8N GPS modülü, düşük maliyetli olup en iyi performansı ve daha kolay RF entegrasyonunu sağlamak üzere optimize edilmiştir. Düşük güç tüketimi seviyelerinde de yüksek performans sunar. Donanım yazılımı güncellemelerine izin veren dahili bir Flash içerir. Buda NEO-M8N'yi endüstriyel ve otomotiv uygulamalarına mükemmel şekilde uygun hale getirir (Robotistan, 2024c). Şekil 9'da bu modülün görüntüsü verilmiştir.



Şekil 9. Ublox GYGPSV1 NEO-M8N GPS Modülü (Robotistan, 2024c)

Bu modül, tasarlanan sistemin bulunacağı balonların anlık konumlarının tespiti için kullanılmaktadır. Modülün aldığı koordinat bilgileri enlem ve boylam olarak ekran üzerinde kullanıcı pilota sunulmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. GPS modülünden elde edilen konum bilgilerinin ekrana yansıtılması

4.2.5. Yayın Anteni Modülü LoRa

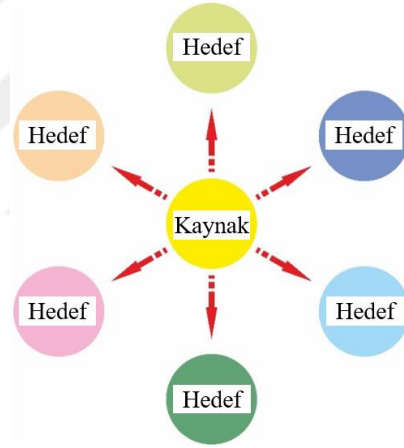
LoRa, "Long Range" (Uzun Mesafe) kelimelerinin kısaltması olup, WiFi ve kablolu haberleşme gibi rakip teknolojilere kıyasla çok daha uzun mesafelerde iletişim sağlayan ve radyo frekanslarını kullanan bir modülasyon tekniğidir. LoRa haberleşme teknolojisi, gelecekte büyük bir potansiyele sahiptir. LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) ise bölgesel, ulusal veya küresel ölçekte bir ağ üzerinde düşük güçlü geniş alan ağı spesifikasyonu sunan ve kablosuz olarak çalışan ürünlere yönelik tasarlanmış bir sistemdir.

LoRaWAN sunucusu, ağ geçidinden alınan verileri çözerek uygulama sunucusunda kullanılacak protokole dönüştürür ve kullanıma uygun hale getirir. Son aşamada, uygulama sunucuları düğüm noktasından alınan verilerin kontrolünü ve takibini gerçekleştirir.

Çalışmada kullanılan SX1262, düşük bant genişliğinde çalışarak veriyi geniş mesafelerde iletir ve sinyallerin engellerden geçmesine, zorlu ortam koşullarında bile iletimin sürdürülmesine olanak tanır (Semtech, 2023). 868 MHz veya 915 MHz gibi endüstriyel, bilimsel ve medikal bantlarda çalışır. Lisans gerektirmeyen frekans aralıkları, özellikle IoT cihazları için uygundur. Pil ile çalışan cihazlar için optimize edilen SX1262, ultra düşük güç tüketimi sağlar. Uyku modundaki düşük güç tüketimi, bataryanın uzun ömürlü olmasına katkı sağlar. LoRa teknolojisi sayesinde kilometrelerce mesafede kablosuz iletişim kurabilir; menzil, çevresel koşullara ve engellere bağlı olarak değişse

de açık alanda birkaç kilometreye kadar iletişim mümkündür. Ayarlanabilir iletim gücü ve düşük hassasiyetle bile sinyal alabilme özelliği, zorlu çevre koşullarında güvenilir veri iletişimi sağlar. LoRa protokolü dışında, standart frekans kaydırmalı anahtarlama/gauss frekans kaydırmalı anahtarlama (Frequency Shift Keying, FSK/Gaussian Frequency Shift Keying, GFSK) modülasyonunu da destekler. Bu da farklı uygulama ve gereksinimlere göre esneklik sunar (Chengdu, 2020).

Tasarlanan sisteme ait cihazların hepsinde yayın yöntemi olarak broadcast kullanılmaktadır. Bilindiği gibi broadcast, her yöne yapılan bir yayındır ve belirli bir hedefi yoktur. Şekil 11’de görüleceği üzere kaynak cihaz, mesajı sistemdeki tüm cihazlara gönderir. Bu yöntem sayesinde, tüm cihazlar anlık ve sürekli iletişim halinde kalmaktadır. Bir cihaz diğerine veri gönderirken, başka bir cihaz sisteme dahil olduğunda aynı yayın o cihaza da gönderilmektedir. Böylece, ağdaki tüm cihazlar eş zamanlı olarak bilgi alışverişinde bulunabilmektedir.



Şekil 11. Broadcast yayın

Bütün cihazlarda aynı prensibin bulunması sayesinde sürekli iletişim sağlanabilmektedir. Veri aktarımının hızlı olabilmesi için sadece tanımlama ve tespit için gerekli bilgilerin aktarımı gerçekleştirilmektedir. Böylece ağ üzerindeki cihazlar arasında hızlı ve verimli bir iletişim sağlanmaktadır.

4.2.6. Barometrik Basınç Sensörü (BMP180)

BMP180 barometrik basınç sensörü, Bosch Sensortec tarafından üretilmiş bir mikro elektro mekanik sistemler (Micro-Electro-Mechanical Systems, MEMS) sensörüdür. Hava basıncı ile sıcaklığı ölçen bu sensör basınç verilerini kullanarak deniz seviyesinden yükseklik hesaplaması yapabilir. Çevresel izleme, hava durumu tahminleri

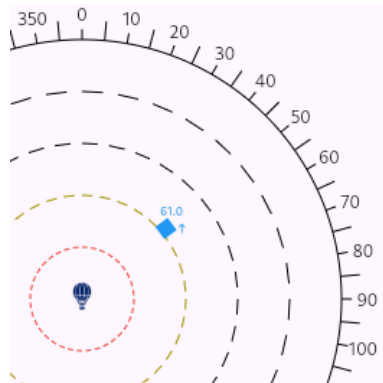
ve yüksek irtifa uygulamalarında yaygın olarak kullanılan BMP180 modülü Şekil 12’de görülmektedir.



Şekil 12. BMP180 Barometrik Basınç Sensörü(tinyosshop, 2024)

BMP180, 300 hPa ile 1100 hPa arasında atmosferik basınç ölçebilir. Dolayısıyla deniz seviyesinden 9.000 metre yüksekliğe kadar olan irtifalarda kullanılabilir. Basınç verileri, sıcaklık düzeltmesiyle birlikte elde edilir, bu da hassas ölçümler sağlar. BMP180, 0.01 hPa hassasiyetle yüksek çözünürlüklü basınç ölçümleri sunar. Ayrıca -40 °C ile 85 °C arasındaki sıcaklıkları ölçme özelliğine sahiptir. I²C ve SPI (Serial Peripheral) protokollerini destekler. Böylece Arduino ve Raspberry Pi gibi mikrodenetleyicilerle kolayca entegre edilebilir.

Çalışmada hem balonun kendi irtifasını hem de birbirlerine göre göreceli irtifalarını tespit edebilmek için BMP180 kullanılmıştır. Sistem tasarlanırken her bir balonun irtifası Şekil 10’da da görüldüğü gibi kendi ekranının sol üst köşesinde koordinat bilgisi ile birlikte feet cinsinden gösterilmektedir. Diğer balonlara göre irtifası ise izleme yapılan diğer balonun ekranında, o balonun kaç feet altında ya da üzerinde olduğu görülecek şekilde pilota sunulmaktadır. Şekil 13’de paylaşılan görsel incelendiğinde balonun diğer balona göre göreceli irtifasının 61.0 feet olduğu ve yükselmeye devam ettiği görülmektedir.

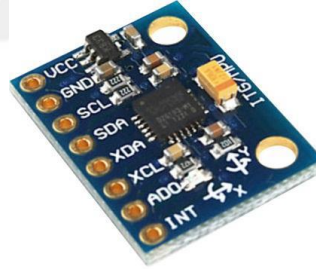


Şekil 13. Balonun, diğer balonun ekranında pilota sunulan göreceli irtifası

4.2.7. İvme ve Gyro Sensörü (MPU6050)

MPU6050, 3 eksenli bir gyro ve 3 eksenli bir açısal ivme ölçer barındıran 6 eksenli bir sensör kartıdır. Hareket ve konum ölçümü yapmak için kullanılır. Hızlanma veya yavaşlama durumlarını tespit ederek ivmeyi ölçer. Genellikle hareketli cihazlar (dronlar, oyuncak arabalar) ve hareket kontrol sistemlerinde kullanılır. Cismin eksen etrafındaki dönme hızını ölçerek ne kadar hızlı döndüğünü belirler. İvmeölçerle birlikte kullanıldığında, hareketi daha kapsamlı izlemek için idealdir. Özellikle dronlar ve stabilizasyon sistemlerinde önemlidir. MPU6050, mikrodenetleyicilere genellikle I²C veya SPI protokolleri ile bağlanır, yüksek çözünürlükte ölçümler yaparak hassas hareket ve dönme hızı verileri sağlar.

Kart üzerindeki voltaj regülatörü sayesinde 3-5 V arasında bir gerilimle beslenebilir. İvme ölçer ve gyro çıkışları ayrı kanallardan I²C çıkışı verir ve her ekseninde 16 bitlik bir çözünürlük sunar. Pinler arası boşluk standart olarak ayarlandığı için breadboard ve diğer devre kartlarında rahatlıkla kullanılabilir. Çalışmada kullanılan MPU6050'nin görseli Şekil 14'de verilmiştir.

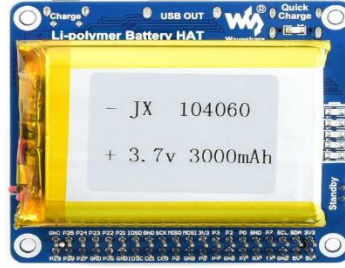


Şekil 14. MPU6050 kodlu gyro sensörü (Robotus, 2024)

Bu sensörün çalışmadaki kullanım nedeni, balonun anlık olarak yükselmekte ya da alçalmakta olduğunu tespit edip bu bilginin diğer balon ekranında gösterilebilmesini sağlamaktır. Bu durum Şekil 13'de de gösterilmektedir.

4.2.8. Li-Polimer Pil

Çalışmada kullanılan WaveShare Raspberry Pi Li-Polimer pil, Raspberry Pi gibi mikrodenetleyici tabanlı projelerde enerji sağlayan bir Lityum-Polimer bataryadır. Bu pil, taşınabilir projelerde kullanılmak üzere optimize edilmiştir ve genellikle Raspberry Pi sistemlerine yedek güç kaynağı olarak eklenir (WaveShare., 2024). Çalışmada kullanılan bu pilin görseli Şekil 15'de verilmiştir.



Şekil 15. Raspberry Pi Li-Polimer pil (Market, 2024)

WaveShare Li-Polimer piller, enerji verimliliği sağlayan ve yeniden şarj edilebilen bataryalardır. Micro USB veya Type-C bağlantı noktaları aracılığıyla şarj edilebilirler, bu da sürekli yeniden kullanılmalarını sağlayarak maliyetleri düşürür. 1000mAh, 3000mAh, 5000mAh gibi çeşitli kapasitelere sahip türleri vardır. Daha yüksek mAh değerleri, daha uzun çalışma süreleri sağlar.

4.2.9. Raspberry Pi 4 Adaptör

Raspberry Pi 4 adaptörü, Raspberry Pi 4'ü çalıştırmak için kullanılabildiği gibi Raspberry Pi Li-Polimer pili şarj etmek için de kullanılmaktadır (Upton, 2016). Çalışmada Raspberry Pi 4 kullanıldığı için bu adaptöre de ihtiyaç duyulmuştur. Adaptörün görseli Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. Raspberry Pi 4 Adaptör (Robolinkmarket, 2024)

4.3. Kullanılan Yazılımlar

Tasarlanan sistemin oluşturulması sırasında Python ve Linux kullanılmış olup bunlarla ilişkin detaylar ayrı başlıklar altında aşağıda paylaşılmıştır. Tasarlanan sistemin arayüzü Linux işletim sistemi kullanılarak oluşturulmuştur.

4.3.1. Python

Python, yüksek seviyeli ve genel amaçlı bir programlama dilidir. 1990'ların başında Guido van Rossum tarafından geliştirilen bu dil, okunabilirliği ön planda tutar ve karmaşık yazılımların kolayca geliştirilmesine olanak tanır. Python'un geniş standart kütüphanesi, farklı görevleri yerine getirmek için birçok modül ve paket sunar. Yapay

zeka, veri analitiği, web geliştirme ve daha pek çok alanda yaygın olarak kullanılır. Python'un basit ve anlaşılır sözdizimi, hem yeni başlayanlar hem de deneyimli programcılar için idealdir.

Python'un geniş topluluğu ve aktif geliştirici ağı, kullanıcıların karşılaştıkları sorunlara hızlı ve etkili çözümler bulmalarını sağlar. Ayrıca, Python'un açık kaynak olması, kullanıcıların dilin gelişimine katkıda bulunabilmesini ve kendi özel çözümlerini geliştirebilmesini mümkün kılar. Bu programlama dili, Django ve Flask gibi güçlü web çerçeveleri, TensorFlow ve PyTorch gibi makine öğrenimi kütüphaneleri, Pandas ve NumPy gibi veri işleme araçları ile donatılmıştır. Python'un esnekliği ve çok yönlülüğü, onu çeşitli projeler için vazgeçilmez bir araç haline getirir.

Tasarlanan sistemde balonlar arasındaki mesafenin hesaplanarak arayüzde pilota sunulması gerekir. Bu hesaplama için Phyton kullanılmıştır. Phyton kullanılarak iki balon arasındaki mesafenin hesaplanmasında Denklem (1)-(3)'teki Haversine formülü kullanılmıştır. Bilindiği gibi Haversine formülü, dünya gibi küresel bir yüzey üzerinde bulunan iki nokta arasındaki en kısa mesafeyi hesaplamak için kullanılır.

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (1)$$

$$c = 2 \cdot \arctan2(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (2)$$

$$d = R \cdot c \quad (3)$$

Yukarıda verilen denklemlerdeki semboller ve anlamları şunlardır.

φ_1, φ_2 : İki noktanın enlem değerleri (radyan cinsinden)

$\Delta\varphi$: İki nokta arasındaki enlem farkı (radyan cinsinden)

$\Delta\lambda$: İki nokta arasındaki boylam farkı (radyan cinsinden)

a : Hesaplama kullanılan bir ara değer

c : İki nokta arasındaki merkezi açı (radyan cinsinden)

R : Dünya'nın yarıçapı (yaklaşık olarak 6.371 km)

d : İki nokta arasındaki mesafe (birimi, R 'nin birimine göre değişir)

Koordinatları Radyana Dönüştürmek için enlem ve boylam değerlerini radyan cinsine çevirerek hesaplama yapılabilir.

Harvesine formülünü hesaplamak için yazılan Phyton kodlarına dair bir ekran görüntüsü Şekil 17'de verilmiştir. Kodlardan da anlaşılacağı üzere öncelikle koordinatlar radyan cinsine çevrilmiştir. Ardından iki nokta arasındaki enlem ve boylam farkları

hesaplanmıştır. Ara değer olan a değeri hesaplandıktan sonra, c değeri için hesaplama yapılmıştır. Daha sonrasında R yarı çapı ve c değeri kullanılarak d (aradaki mesafe) değeri hesaplanmıştır.

```
import math

def haversine(lat1, lon1, lat2, lon2):
    R = 6371000 # Dünya'nın yarıçapı (metre cinsinden)
    phi1 = math.radians(lat1)
    phi2 = math.radians(lat2)
    delta_phi = math.radians(lat2 - lat1)
    delta_lambda = math.radians(lon2 - lon1)

    a = math.sin(delta_phi / 2.0) ** 2 + math.cos(phi1) * math.cos(phi2) *
    c = 2 * math.atan2(math.sqrt(a), math.sqrt(1 - a))

    distance = R * c # Mesafe (metre cinsinden)
    return distance

# Örnek kullanım
mesafe = haversine(39.9334, 32.8597, 40.7486, -73.9864)
print(f"Mesafe: {mesafe} metre")
```

Şekil 17. Harvesine formülü ile mesafeyi hesaplamak için yazılan Python kodu

Çalışmada kullanılan donanımların birbirleri ile olan iletişimlerini sağlamak ve gerekli diğer hesaplamaları yapmak için de Python kullanılmıştır. Python'da yazılan kodlar ve açıklamaları aşağıda detaylandırılmıştır.

4.3.1.1. Gerekli Modüllerin Yüklenmesi

Tasarımda kullanılan modüllerin ve aralarındaki haberleşmenin sağlanması için yazılan kodlar ve kodların anlamları aşağıda verilmiştir.

```
import serial
import time
import smbus2
import bme280
import smbus
import math
```

- serial: Seri port üzerinden GPS ve LoRa ile haberleşmeyi sağlar.
- time: Kodun çeşitli yerlerinde zamanlama kontrolü için kullanılır.
- smbus2: I²C protokolü üzerinden BMP180 ve MPU6050 sensörleriyle iletişim için kullanılır.
- bme280: BMP180/BME280 sensöründen veri almak için kullanılan bir kütüphane.

- math: Matematiksel işlemler için yüklenmiş ancak bu kodda kullanılmamış.

4.3.1.2. Seri Port Ayarları

GPS ve LoRa modüllerine yönelik seri portun ve baud hızının ayarlanması için yazılan kodlar ve kodların anlamları aşağıda verilmiştir.

```
gps_ser = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 115200, timeout=1)
lora_ser = serial.Serial('/dev/ttyUSB1', 9600, timeout=1)
```

- GPS ve LoRa cihazları seri port üzerinden haberleşir. GPS cihazı ttyUSB0, LoRa cihazı ttyUSB1 portundan bağlanmıştır.
- GPS için baud hızı 115200, LoRa için 9600 olarak ayarlanmıştır.
- timeout=1: Seri portun 1 saniye içinde yanıt vermesini bekler.

4.3.1.3. Yardımcı Fonksiyonlar

Sensörlerden veri okunması, seri port restlenmesi, LoRa modülü ile veri gönderilmesi ve GPS bufferın temizlenmesi için yazılan kodlar ve kodların anlamları aşağıda verilmiştir.

GPS Buffer Temizleme

```
def clear_gps_buffer(ser):
    ser.reset_input_buffer()
```

- GPS cihazından gelen eski verilerin temizlenmesi için buffer sıfırlanır.

LoRa Veri Gönderme

```
def send_lora_data(ser, data):
    try:
        ser.write(data.encode())
        print(f"Veri gönderildi: {data}")
    except Exception as e:
        print(f"Hata oluştu: {e}")
        reset_serial_connection(ser)
```

- Data parametresi LoRa cihazına gönderilir.
- Veri gönderimi sırasında hata oluşursa reset_serial_connection fonksiyonu çağrılır.

Seri Portu Resetleme

```
def reset_serial_connection(ser):
    ser.close()
    time.sleep(1)
    ser.open()
    print("Seri port resetlendi")
```

- Seri port kapanır, 1 saniye beklenir ve yeniden açılır.

BMP180 Sensör Verisi Okuma

```
def read_bmp180():
    bus = smbus2.SMBus(1)
    address = 0x76
    calibration_params = bme280.load_calibration_params(bus, address)
    data = bme280.sample(bus, address, calibration_params)
    return data.temperature, data.pressure, data.humidity
```

- BMP180 sensöründen sıcaklık, basınç ve nem verileri alınır.
- I²C adresi 0x76 olarak ayarlanmıştır.

MPU6050 Sensör Verisi Okuma

```
def read_mpu6050():
    bus = smbus.SMBus(1)
    address = 0x68
    bus.write_byte_data(address, 0x6B, 0)
    acc_x = bus.read_byte_data(address, 0x3B)
    acc_y = bus.read_byte_data(address, 0x3D)
    acc_z = bus.read_byte_data(address, 0x3F)
    return acc_x, acc_y, acc_z
```

- MPU6050 sensöründen x, y ve z eksenlerinde ivme verileri okunur.
- Sensör uyandırmak için 0x6B adresindeki register'a 0 yazılır.

4.3.1.4.Seri Portları Açma ve Kontrol

Seri portların açılması ve kontrol edilmesi için yazılan kodlar ve kodların anlamları aşağıda verilmiştir.

```
if gps_ser.isOpen() and lora_ser.isOpen():
    print("Seri portlar açık")
else:
```

```
gps_ser.open()
lora_ser.open()
print("Seri portlar açıldı")
```

- Seri portların açık olup olmadığını kontrol eder. Kapalıysa, portlar açılır.

4.3.1.5.GPS Buffer Temizleme

GPS buffer verilerinin temizlenmesi için yazılan kodlar ve kodların anlamları aşağıda verilmiştir.

```
clear_gps_buffer(gps_ser)
print("GPS buffer temizlendi")
```

- GPS cihazından eski veriler temizlenir.

4.3.1.6.Verİ Gönderme Döngüsü

Sensörlerden toplanan verilerin LoRa aracılığı ile diğer balona gönderilmesi için yazılan kodlar ve kodların anlamları aşağıda verilmiştir.

```
try:
    while True:
        temperature, pressure, humidity = read_bmp180()
        bmp180_data = f"Sıcaklık: {temperature:.2f} C, Basınç: {pressure:.2f} hPa, Nem: {humidity:.2f} %"

        gps_data = gps_ser.readline().decode('utf-8').rstrip()

        acc_x, acc_y, acc_z = read_mpu6050()
        mpu6050_data = f"AccX: {acc_x}, AccY: {acc_y}, AccZ: {acc_z}"
        send_lora_data(lora_ser, f"{bmp180_data}, {gps_data}, {mpu6050_data}")

        time.sleep(5)
except Exception as e:
    print(f"Döngü hatası: {e}. Döngü yeniden başlatılıyor...")
    continue
```

- BMP180: Sıcaklık, basınç ve nem verileri alınır.
- GPS: Seri porttan gelen GPS verileri okunur.
- MPU6050: İvmeölçer verileri alınır.
- LoRa: Toplanan tüm veriler birleştirilerek gönderilir.
- 5 saniyelik bekleme eklenmiştir.

4.3.1.7.Seri Portların Kapatılması

```
gps_ser.close()
lora_ser.close()
```

- Kod sona erdiğinde portlar kapatılır.

4.3.2. Flutter

Google'ın açık kaynaklı bir kullanıcı arayüzü (UI) yazılım geliştirme kiti olan Flutter, uygulama geliştirme sürecini hızlandırmak için önceden tanımlanmış birçok bileşen ve araç içerir. Tasarlanan arayüz balonun konum, yükseklik ve hız gibi verilerini gerçek zamanlı olarak kullanıcıya iletir. Kullanıcılar, bu verileri kullanarak balonun hareketlerini izleyebilir ve kontrol edebilir. Flutter'ın güçlü grafik özellikleri sayesinde, kullanıcı arayüzü hem görsel olarak çekici hem de işlevsel hale gelmektedir. Böylece kullanıcılar, uygulamanın hem işlevselliğinden hem de görselliğinden memnun kalmaktadır.

Flutter'ın çok platformlu yapısı, aynı kod tabanı ile hem iOS hem de Android cihazlar için uygulama geliştirmeye olanak tanımaktadır. Bu, geliştirme sürecini daha verimli hale getirmekte ve zaman kazandırmaktadır. Aynı zamanda, uygulamanın birden fazla platformda tutarlı bir şekilde çalışmasını sağlar. Flutter kodlama dili Linux tabanlı Raspberry Pi-4 bilgisayarında programı çalıştırmak için kullanılmıştır.

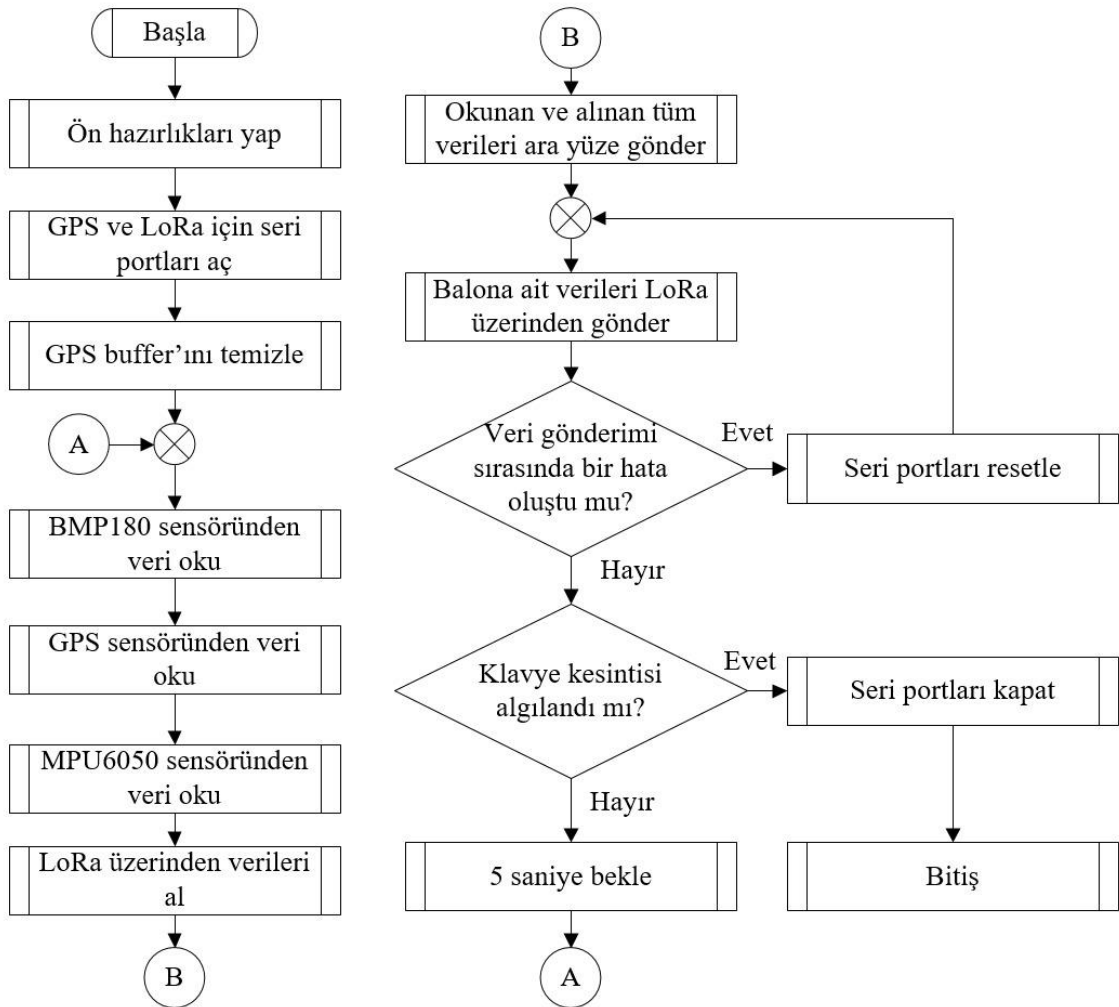
4.3.3. Linux

Linux, 1991 yılında Linus Torvalds tarafından geliştirilen açık kaynaklı ve özgür bir işletim sistemidir. Çekirdek (kernel) üzerine inşa edilen Linux, farklı donanımlarla uyumlu çalışabilecek esneklik sunmaktadır. Unix benzeri bir yapıya sahip olan Linux, özellikle güvenilirliği, çoklu kullanıcı desteği ve özelleştirilebilir olmasıyla öne çıkmaktadır.

Kullanıcıların kendi ihtiyaçlarına uygun arayüzler tasarlamasına olanak tanıyan Linux, özgür yazılım felsefesi sayesinde GNOME, KDE Plasma, XFCE, ve LXDE gibi farklı masaüstü ortamlarını kullanıcıların seçimine sunmaktadır. Bu ortamlar, kullanıcı deneyimini özelleştirmek için çeşitli araçlar ve temalar sağlar. Ayrıca, geliştiriciler GTK veya Qt gibi açık kaynaklı grafik kütüphanelerini kullanarak kendi uygulamalarını ve arayüzlerini oluşturabilmektedirler. Çalışmada kullanılmasının nedeni Raspberry Pi-4 ün Linux tabanlı bir sisteme sahip olmasıdır. Arayüz bu nedenle Flutter programlama dili kullanılarak Linux tabanına uyumlu bir şekilde kodlanmıştır.

4.3.4. Tasarlanan Sistemin Algoritması

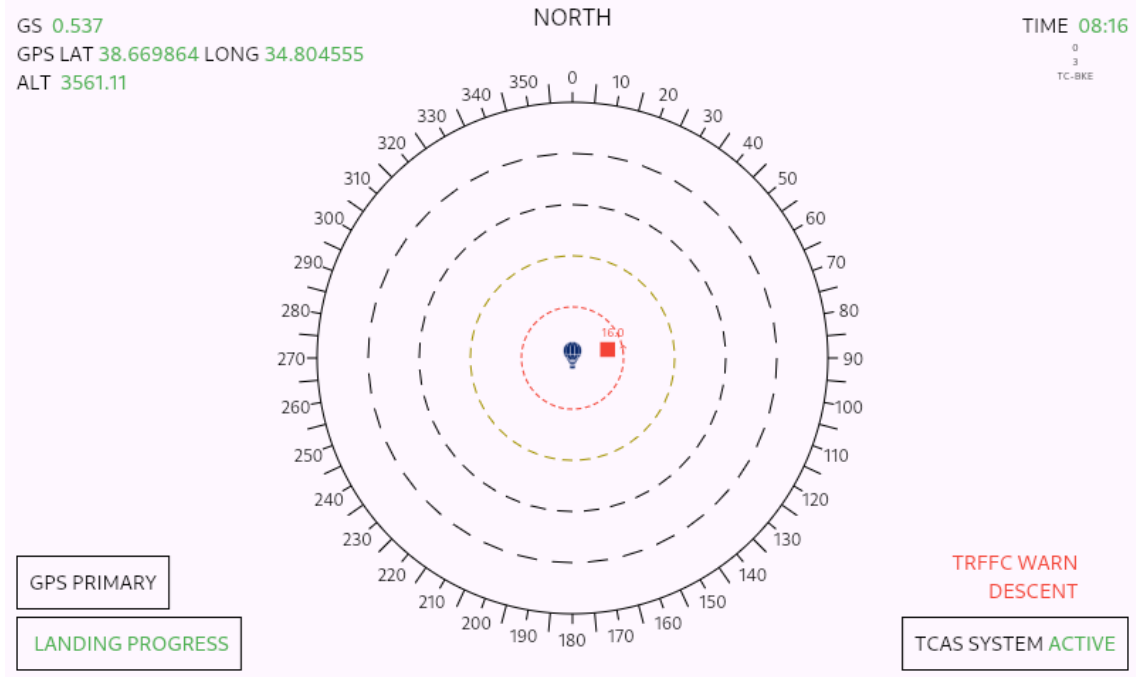
Tasarlanan sistemde sensörlerden verilerin okunması, okunan verilerin diğer balonlarla paylaşılması, diğer balonlardan verilerin alınması ve bütün verilerin tasarlanan arayüze gönderilmesi için yazılan programın akış diyagramı Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. Akış diyagramı

4.4.Tasarlanan Sistemin Arayüzü

Tasarlanan arayüzde TCAS ekranına benzer bir şekilde 2 boyutlu bir yapı oluşturulmuştur. Arayüzde ekranın ortasında merkezlenecek şekilde bir balon, balon çevresinde ise her biri arasında 100 m uzaklığa denk gelecek toplam 5 halka oluşturulmuştur. Dolayısıyla sistem, balona 500 m ve daha yakın olan diğer balonları kendi ekranında göreceği şekilde tasarlanmış olup bu durum Şekil 19’da görülmektedir.



Şekil 19. Tasarlanan sistemin arayüzü (LANDING PROGRESS aşamasındaki)

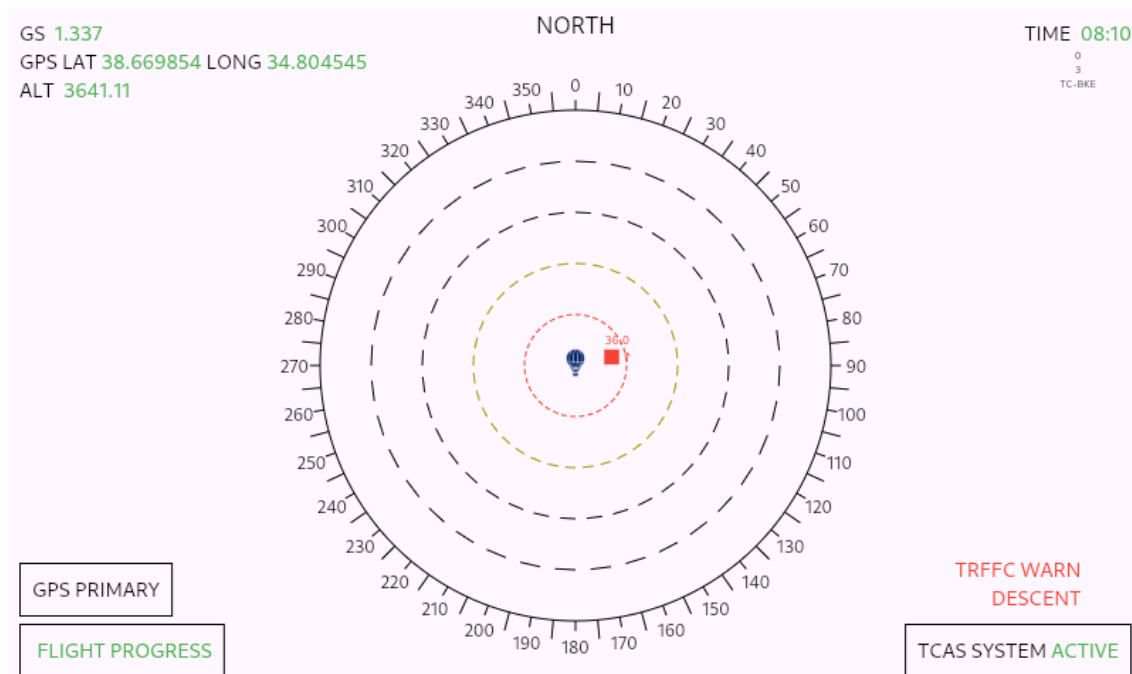
Cihazın ekranının üst tarafında NORTH olarak yazılan bölge manyetik pusulaya göre kuzeyi işaret etmektedir. En dış halkanın etrafında bulunan ve sıfırdan başlayıp 350’ye kadar belirtilen sayılar manyetik kuzeye göre havacılıkta kullanımına uygun şekilde açıları belirtmek amacıyla kullanılmıştır. 5’er derece açıyla yerleştirilen bu açılar balonda HEADING durumunu gösteremeyeceğimiz için sabit bir şekilde yerleştirilmiştir. Amacı pilotun kuzeye göre yaklaşan balonun hangi açıdan yaklaştığını fark etmesini sağlamaktır.

Ekranın sol üst köşesinde, uçuş yapılan balondaki cihazdan alınan veriler doğrultusunda elde edilen yer hızı (GS), yükseklik (ALT) ve bulunduğu noktanın koordinat (GPS LAT, LONG) bilgileri sunulmaktadır.

Ekranın sağ üst köşesinde GMT olarak saat, balonun tescil kodu bilgisi, bağlı olduğu GPS sayısı ve veri akışını gösteren bir süre sayacı bulunmaktadır. Süre sayacı,

diğer cihazdan ne kadar süredir veri alamadığını görmek için eklenmiş olup testler sırasındaki olası veri kopmalarını tespit etmek için kullanılmaktadır.

Ekranın sol alt köşesinde balonun uçuş aşamasını göstermek için eklenen bilgiler bulunmaktadır. Eğer balon zemine 50 ft'den daha yakınsa, balonun kalkış/iniş aşamasında olduğunu göstermesi için LANDING PROGRESS ikazı ekrana yazdırılmaktadır. Zeminden yüksekliği 50 ft'den daha fazla olduğunda ise sistem balonun normal uçuş evresinde olduğunu değerlendirip FLIGHT PROGRESS bilgisini vermektedir (Şekil 20). Ekranın bu bölümündeki diğer bilgi olan GPS PRIMARY, ekrandaki görüntünün 2D olması nedeniyle ekranda yansıtılan görüntüde önceliğin GPS'de olduğunu vurgulamaktadır.



Şekil 20. Tasarlanan sistemin arayüzü (FLIGHT PROGRESS aşamasındaki)

Ekranın sağ alt köşesinde TRFFC WARN uyarısı bulunmaktadır. Bu uyarı, yaklaşan balonun yatay düzlemde 100m ve daha yakında olduğu durumda ortaya çıkar. Bu aşamada sistem balona “çözüm tavsiyesi” verir. Bu uyarı yaklaşan balonun kullanımdaki balona göre alçakta veya yüksekte olmasına göre değişmekte ve pilota DESCENT ya da CLIMB tavsiyesi vermektedir. Uyarı altında bulunan TCAS SYSTEM bilgisinin yanında ACTIVE ifadesi varsa tasarlanan sistemin aktif olduğunu göstermektedir. Şayet TCAS SYSTEM bilgisinin yanında INACTIVE ifadesi yer alıyorsa bu da sistemin on çalışmadığını göstermektedir. Dolayısıyla bu bilgi, tasarımın o an çalışıp çalışmadığının kontrol edilmesine imkân verir.

Intruder balonun ekrandaki simgesi, cihazın kullanımda olduğu balona olan yatay düzlemdeki mesafesine göre değişkenlik gösterir. Bu simgeler kırmızı kare, sarı daire ve mavi elmas şeklindedir. Simgelerin rengi ve şekli aşağıdaki durumlara göre değişmektedir.

- Intruder durumundaki balon 200-500 m arasındaki bir mesafedeyse simge mavi elmas şeklini alır. Bu simge, iki balon arasında tehdit oluşturacak bir durum olmadığı ifade eder.
- Uzaklık 100-200 m aralığında ise simge sarı daire şeklinde görünür. Simgenin sarı daire olarak görünmesi, yaklaşmakta olan balonun dikkat edilmesi gereken bir mesafede olduğunu ifade etmektedir. Bu mesafedeki sarı daire simgesi trafik uyarısı anlamına gelir ve pilotun dikkatinin çekilmesini hedefler.
- Intruder balon 100 m veya daha yakınıdaysa yani çözüm önerisi mesafesinde ise, simge kırmızı kare şeklini alır. Bu durum intruder balonun tehlikeli bir şekilde yaklaştığını pilota sunar. Yukarda bahsedilen yükselme ya da alçalma tavsiyeleri bu durumda verilir.

Intruder balon simgesi üzerinde yazan rakamlar ise intruder balon ile kullanımda olan balon arasındaki yükseklik farkını feet cinsinden göstermektedir. Bu fark, eğer intruder balon yüksekte ise sadece sayısal olarak gösterilir, alçakta ise önünde eksi (-) işareti ile gösterilir. Simge yanındaki ok ise intruder balonun dikey olarak hareket yönünü göstermektedir.

5.TASARLANAN SİSTEMİN SAHA TESTLERİ

Tez kapsamında yapılan çalışmada prototipin birden fazla yapılmasının temel amacı, her bir prototipin ayrı sıcak hava balonlarına monte edilmesini sağlamaktır. Bu sayede, test sırasında balonlar arasında konum ve hız bilgileri aktarılabilecek ve gerçekleştirilen sistemin doğruluğu ve etkinliği ortaya konulacaktır. Ancak maliyetin yüksek olması nedeni ile iki tane prototip üretilmiş ve testler bu iki prototip ile gerçekleştirilmiştir.

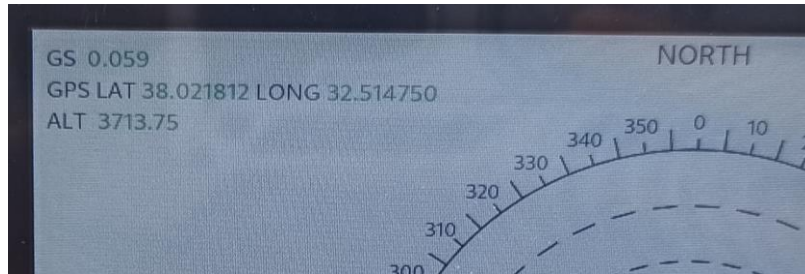
Tasarlanan sistemde sensörlerden alınan verilerin doğruluk seviyesini görebilmek, cihazlar arasındaki olası iletişim hatalarını tespit edebilmek ve bunlara göre gerekli yazılım güncellemelerini yapabilmek için öncelikle yerde testler gerçekleştirilmiştir. Ardından gerçek bir sıcak hava balonunda test uçuşu gerçekleştirilmiştir.

5.1.Yer testleri

Cihazın GPS bağlantısı, sensörlerden veri alınması, alınan verilerin aktarımı, sistem bütünlüğü ve yazılımsal hesaplamaları bu aşamada detaylı bir şekilde test edilmiştir.

5.1.1. Konum Bilgilerinin Doğruluğunun Test Edilmesi

Öncelikle tasarımda kullanılan GPS sensörlerinden alınan konum bilgilerinin doğruluğu test edilmiştir. Hatırlanacağı üzere modülün aldığı koordinat bilgileri enlem ve boylam olarak ekran üzerinde kullanıcı pilota sunulmaktadır. Pilota anlık olarak sunulan bu bilgilerin enlem ve boylam için sırasıyla 38.021812 ve 32.514750 olduğu Şekil 21’de görülmektedir.



Şekil 21. GPS modülünden elde edilen konum bilgilerinin ekrana yansıtılması

GPS’den alınan bu konum verilerinin doğruluğunu test etmek için Play Store’da bulunan ve akıllı telefonlarda kullanıma sunulan GPS Koordinatlarım isimli uygulama kullanılmıştır. Uygulama, konum bilgisini WGS84’e dayandırmaktadır. Bilindiği gibi

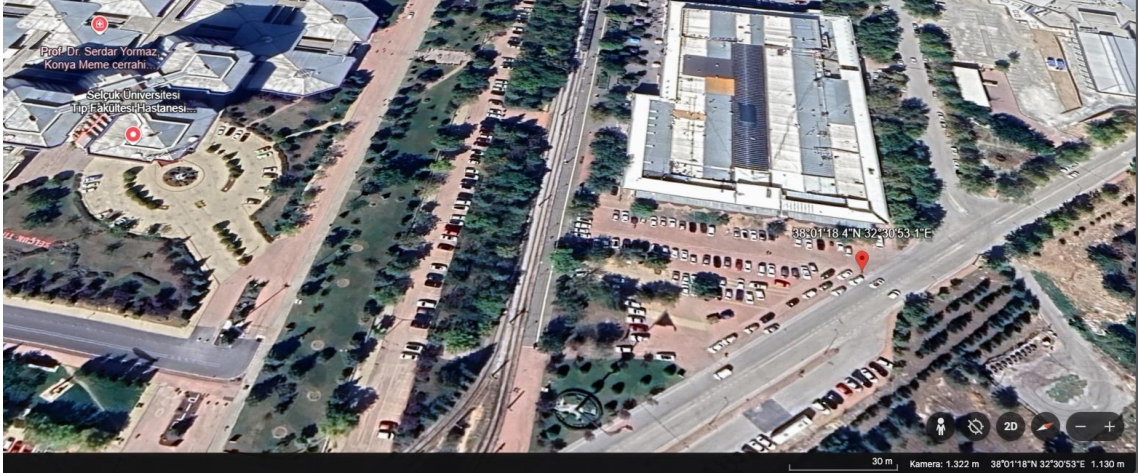
WGS84 (World Geodetic System 1984), dünyanın şekli ve boyutlarını tanımlamak için kullanılan bir jeodezik referans sistemidir. Özellikle uydu navigasyonu, haritacılık ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi uygulamalarda standart bir küresel koordinat sistemi olarak kullanılmaktadır.

Söz konusu uygulamadan alınan konum bilgisi ile modülden alınıp ekranda görüntülenen konum bilgisi aynı kare içerisinde olacak şekilde Şekil 22’de paylaşılmıştır.



Şekil 22. GPS modülünden alınan konum bilgisinin doğruluğunun test edilmesi

Şekil 22’deki telefonun sağladığı koordinatlar (enlem 38,021820, boylam 32,514746) ile ekranda sunulan koordinatlar (enlem 38.021812, boylam 32.514750) karşılaştırıldığında, enlem ve boylam değerleri arasında sırasıyla 0,000008 ve 0,000004’lük bir fark olduğu görülmektedir. Enlemdeki 0,000008’lik farkın 0,89 m, boylamdaki 0,000004’lük farkın 0,445 m olduğu dikkate alındığında iki konum bilgisi arasındaki fark Pisagor teorimi sayesinde 1,297 m olarak hesaplanmıştır. İlgili GPS modülünün kataloğu incelendiğinde hata toleransının 2,5 m olduğu görülecektir. Dolayısıyla 1,297 m’lik konum hatası bu tasarım için oldukça küçük ve kabul edilebilir bir hatadır. Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Yerleşkesi içerisindeki yapılan bu testin konumu Şekil 23’deki haritada işaretlenmiştir.



Şekil 23. Tasarlanan cihazın test sırasındaki konumunun Google Earth üzerindeki lokasyonu ve rakım bilgisi

5.1.2. İrtifa Bilgilerinin Doğruluğunun Test Edilmesi

Şekil 21’de verilen ekran görüntüsünde o anki konumun irtifa değeri 3713,75 feet (1131.95 m) olarak okunmaktadır. O konumun Şekil 23’de görülmekte olan Google Earth üzerindeki konumuna karşılık gelen irtifası ise 1130 m olup ekran görüntüsünün sağ alt köşesinde konum bilgisi ile beraber bulunmaktadır. Tasarlanan sistemin test sırasında 1,46 m tavan yüksekliğine sahip olan bir aracın (Renault Megane-2) tavanı üzerine bırakılması dikkate alındığında ölçüm hatasının sadece 0,49 m olduğu anlaşılabacaktır. Bu da tasarımın kullanılacağı sistem açısından oldukça küçük olup kabul edilebilir bir hatadır.

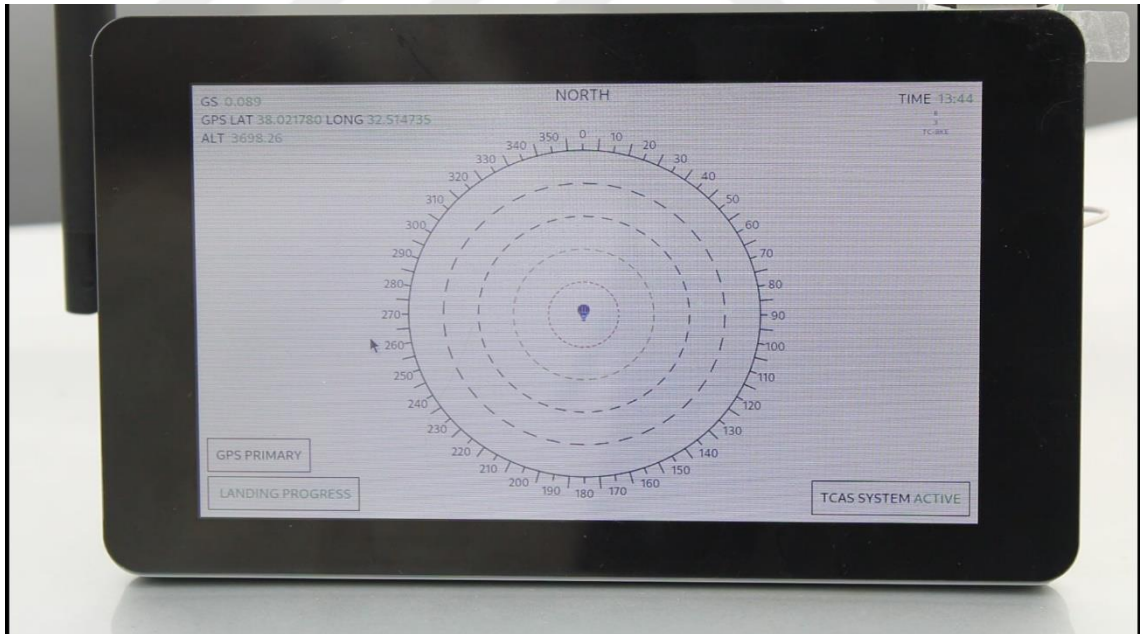
5.1.3. Cihazlar Arasındaki Haberleşmenin Test Edilmesi

Testin bu aşamasında hem cihazlar arasındaki haberleşmenin sağlıklı çalışıp çalışmadığı hem de birbirlerine göre eş zamanlı olarak konumlarının doğruluğu test edilmiştir. Tasarlanan cihazlardan bir tanesi test sırasında sabit bırakılıp ekran görüntüsü bir kamera aracılığıyla sürekli kayıt altına alınmıştır. Diğeri ise elde taşınarak hareket ettirilmiştir. Sabit bırakılan cihazın kayıt altına alınmasına dair bir görsel Şekil 24’de görülmektedir.



Şekil 24. Sabit cihaz için kurulmuş video kayıt düzeneği

Test boyunca konumu sabit bırakılan cihazın konum bilgileri (enlem 38,021780, boylam 32,514735) Şekil 25’de görülmektedir. İlgili koordinatın derece, dakika ve saniye cinsinden değerleri ise $38^{\circ}01'18.4''N$, $32^{\circ}30'53.1''E$ dir.



Şekil 25. Sabit cihaz

Testin yapıldığı güzergâh ve test sırasında ekran görüntülerinin alındığı konumlar Google Earth üzerinde işaretlenmiş olup Şekil 26’da paylaşılmıştır.



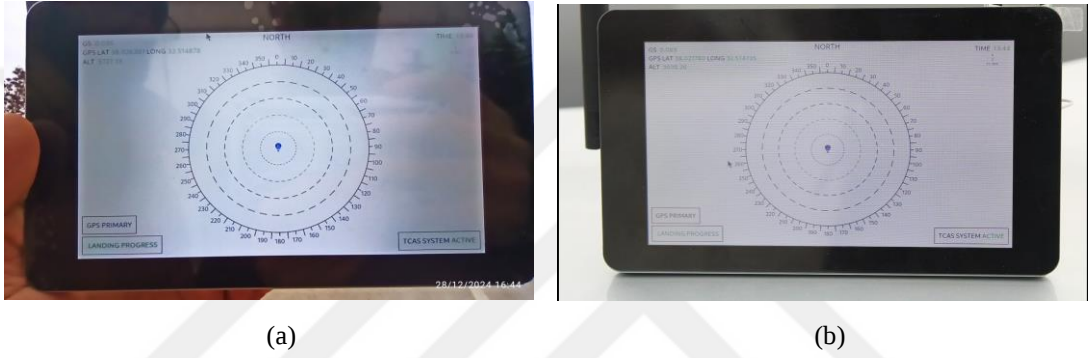
Şekil 26. Test güzergahı ve ekran görüntüsü alınan konumlar

Şekil 26 incelendiğinde toplam 7 konumun işaretlendiği ve her bir konumun koordinat bilgilerinin bulunduğu görülecektir. Ekran görüntüsünün en solundaki ilk işaretli nokta, test sırasında sabit kalan cihazın konumunu göstermektedir. Test sırasında görüntü alınan tüm konumlar ve bu konumların sabit cihazın konumuna olan uzaklıkları Tablo 1. 'de verilmiştir.

Tablo 1. Test sırasında cihazlardan ekran görüntüsü alınan konumlar

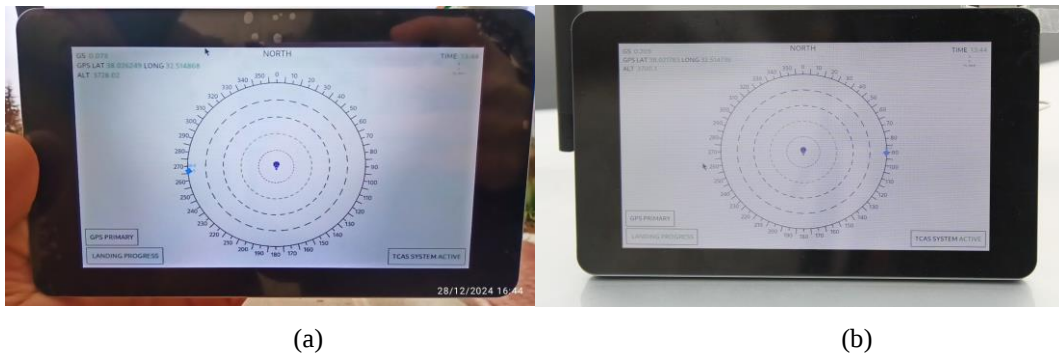
Konum numarası	Ekrandaki koordinat bilgisi (LAT, LONG)	Ekrandaki koordinatın derece, dakika, saniye cinsinden karşılığı	1. Konuma göre uzaklığı (m)
1	38.021780, 32.514735	38°1'24.29"K, 32°30'53.41"D	0
2	38.022653, 32.514886	38°1'24.29"K, 32°30'53.41"D	97
3	38.023413, 32.514836	38°1'24.29"K, 32°30'53.41"D	180
4	38.024270, 32.514874	38°1'27.37"K, 32°30'53.55"D	280
5	38.024782, 32.514857	38°1'29.22"K, 32°30'53.49"D	350
6	38.026249, 32.514868	38°1'34.50"K, 32°30'53.52"D	500
7	38.026301, 32.514878	38°1'34.68"K, 32°30'53.56"D	504

Tasarlanan ara yüzde balonlar arasındaki mesafe 500 m ve altına düştüğünde birbirlerinin ekranında görüntüleneceklerinden öncelikle iki cihaz arasındaki mesafenin 500 m'den fazla olduğu 7 numaralı konumdan ekran görüntüleri alınmaya başlanmıştır. 7 numaralı konumdaki cihazın ekran görüntüsü Şekil 27.(a)'da, 1 numaralı konumdaki cihazın ekran görüntüsü ise Şekil 27.(b)'de verilmiştir. Her iki cihaz arasındaki mesafe 504,8m olduğundan bir cihaz diğer cihazın ekranında görüntülenmemektedir. İki cihaz arasındaki bu 504 m'lik mesafe, Şekil 26'daki Google Earth'den alınan görüntüsünün sağ alt köşesinde 504 m olarak görülmektedir. Dolayısıyla cihazlar arasındaki mesafenin doğru bir şekilde ölçüldüğü böylelikle bir kez daha teyit edilmiştir.



Şekil 27. İki cihaz arasındaki mesafenin 504,8 m olduğu durumdaki ekran görüntüleri, (a) 7 numaralı konumdaki cihaz, (b) 1 numaralı konumdaki cihaz

Testin ikinci aşamasında iki cihaz arasındaki mesafenin 500 m olduğu uzaklıktaki ekran görüntüleri alınmıştır. 6 numaralı konumdaki cihazın ekran görüntüsü Şekil 28.(a)'da, 1 numaralı konumdaki cihazın ekran görüntüsü ise Şekil 28.(b)'de verilmiştir. Arayüzdeki her bir halka arasındaki uzaklığın 100 m olduğu hatırlanacak olursa, iki cihazın birbirlerine göre konumlarının doğru bir şekilde her iki ekranda da görüntülendiği görülecektir.

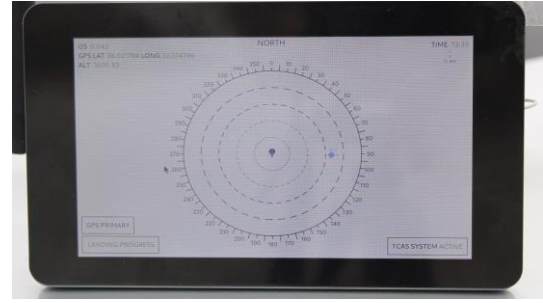


Şekil 28. İki cihaz arasındaki mesafenin 500 m olduğu durumdaki ekran görüntüleri, (a) 6 numaralı konumdaki cihaz, (b) 1 numaralı konumdaki cihaz

Testin üçüncü aşamasında iki cihaz arasındaki mesafenin 350 m olduğu uzaklıktaki ekran görüntüleri alınmıştır. 5 numaralı konumdaki cihazın ekran görüntüsü Şekil 29.(a)'da, 1 numaralı konumdaki cihazın ekran görüntüsü ise Şekil 29.(b)'de verilmiştir.



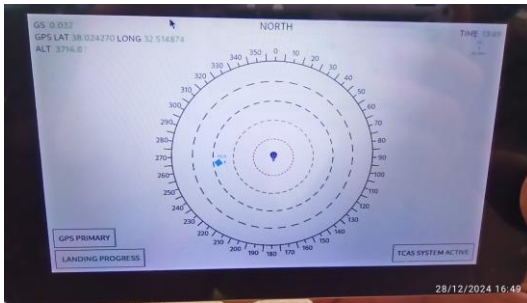
(a)



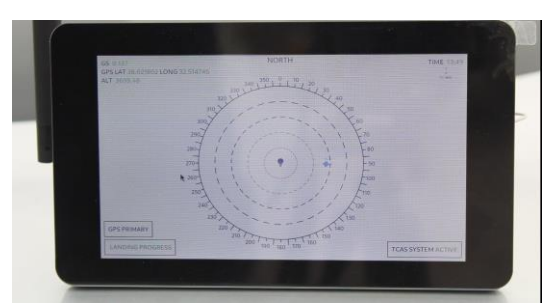
(b)

Şekil 29. İki cihaz arasındaki mesafenin 350 m olduğu durumdaki ekran görüntüleri,
(a) 5 numaralı konumdaki cihaz, (b) 1 numaralı konumdaki cihaz

Testin dördüncü aşamasında iki cihaz arasındaki mesafenin 280 m olduğu uzaklıktaki ekran görüntüleri alınmıştır. 4 numaralı konumdaki cihazın ekran görüntüsü Şekil 30.(a)'da, 1 numaralı konumdaki cihazın ekran görüntüsü ise Şekil 30.(b)'de verilmiştir.



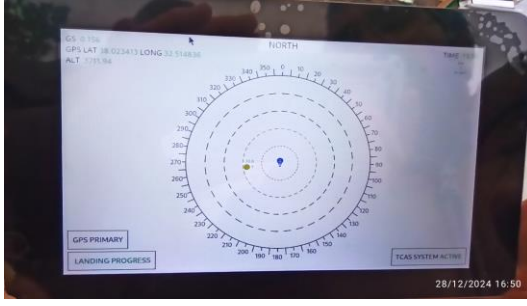
(a)



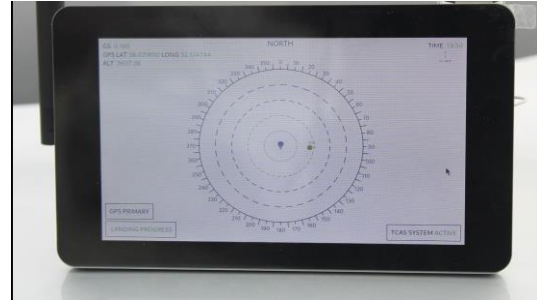
(b)

Şekil 30. İki cihaz arasındaki mesafenin 280 m olduğu durumdaki ekran görüntüleri,
(a) 4 numaralı konumdaki cihaz, (b) 1 numaralı konumdaki cihaz

Testin beşinci aşamasında iki cihaz arasındaki mesafenin 180 m olduğu uzaklıktaki ekran görüntüleri alınmıştır. 3 numaralı konumdaki cihazın ekran görüntüsü Şekil 31.(a)'da, 1 numaralı konumdaki cihazın ekran görüntüsü ise Şekil 31.(b)'de verilmiştir.



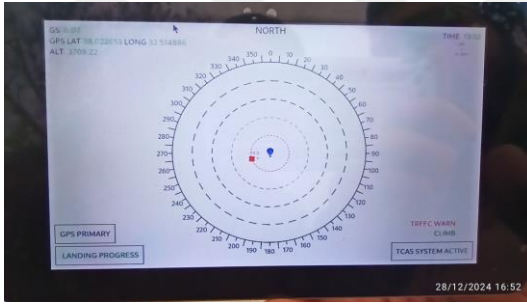
(a)



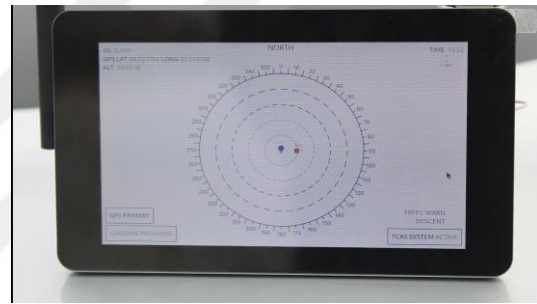
(b)

Şekil 31. İki cihaz arasındaki mesafenin 180 m olduğu durumdaki ekran görüntüleri,
(a) 3 numaralı konumdaki cihaz, (b) 1 numaralı konumdaki cihaz

Testin altıncı aşamasında iki cihaz arasındaki mesafenin 97 m olduğu uzaklıktaki ekran görüntüleri alınmıştır. 2 numaralı konumdaki cihazın ekran görüntüsü Şekil 32.(a)'da, 1 numaralı konumdaki cihazın ekran görüntüsü ise Şekil 32.(b)'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 32. İki cihaz arasındaki mesafenin 97 m olduğu durumdaki ekran görüntüleri,
(a) 2 numaralı konumdaki cihaz, (b) 1 numaralı konumdaki cihaz

5.2. Uçuş Öncesi Alınan Resmi İzinler

Tasarlanan sistemin balonlarda test edilebilmesi için yapılacak uçuşların planlanması ve gerçekleştirilmesi sürecinde, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün (SHGM) belirlediği prosedürlere uygun olarak çeşitli izinler alınması ve uçuş planlamasının yapılması gerekmektedir. Bu izinler ve uçuş planlaması alındıktan sonra ilgili tarihte yaşanacak bir hava muhalefeti nedeniyle uçuşun gerçekleştirilememesi, ilerleyen tarihlerde planlanan uçuşlar için geçerliliğini yitirmektedir. Dolayısıyla her uçuş planlaması öncesinde mutlaka bu izinlerin alınması ve planlamanın yapılması gerekmektedir.

Tasarlanan sistemin yerdeki testleri bittikten sonra balonda test edilmesi için toplam 5 kez balon testi planlanmış ve özel uçuş için SHGM'den gerekli izinler alınmıştır.

Ancak planlanan tarihlerin tümünde hava muhalefeti ve farklı gerekçelerle SHGM tarafından bu uçuş izinleri iptal edilmiştir. SHGM'den izin alma süreci şu şekildedir:

İlk olarak, test uçuşunun yapılabilmesi için SHGM Nevşehir Temsilciliği'ne özel uçuş izni başvurusu yapılmıştır. Uçuşun planlandığı tarihten üç gün önce, SHGM'nin Sıcak Hava Balon Koordinatörlüğü'ne test uçuşunun amacı, kapsamı ve detaylarını açıklayan bir bilgilendirme e-postası gönderilmiştir. Gönderilen bu e posta, uçuş planı, sıcak hava balonunun rotası, kalkış ve iniş noktaları, uçuş süresi ve irtifası, uçuş sırasında balonun belirli irtifalarda yapacağı manevralar ve bu manevralar sırasında toplanacak veriler, test sırasında yapılacak ölçümler ve gözlemler hakkında ayrıntılı bilgiler içermektedir.

İzin süreci, güvenlik ve düzenlemeler açısından önemli bir adım olup, projenin yasal çerçevede yürütülmesini sağlamıştır. Bu detaylı planlama hem hava sahasının güvenliğini sağlamak hem de test uçuşunun verimli bir şekilde gerçekleştirilmesini temin etmek amacıyla yapılmıştır. Uçuş planının önceden hazırlanmış olması, operasyonel risklerin minimize edilmesini ve beklenmedik durumlara karşı hazırlıklı olunmasını sağlar. Özel uçuş izni gönderilen bu detaylı planlama sayesinde alınmıştır.

Uçuş izni alındıktan sonra, test uçuşunun gerçekleştirileceği günün 12 saat öncesinde Nevşehir Slot Hizmet Merkezi'ne uçuş planı sunulmuştur. Bu uçuş planı, hava sahasının koordinasyonu ve uçuş güvenliğinin sağlanması açısından kritik bir öneme sahiptir. SHGM Nevşehir Slot Hizmet Merkezi tarafından verilen uçuş izninin detayları Şekil 33'de gösterilmektedir.

BALON TESCİLİ	UÇUŞ TÜRÜ	SORUMLU PILOT	ÖĞRENCİ PILOT	P. KALKIŞ ALANI	P. KALKIŞ BÖLGESİ	P. KALKIŞ ZAMANI (UTC)	P. UÇUŞ SÜRESİ	SHM DETAY
TC-BY1	ÖZEL UÇUŞ	YALÇIN KARS	YALÇIN KARS	PASABAG	BÖLGE-3	04:45	01:00	-
TC-BKE	ÖZEL UÇUŞ	SEZER İREM	SEZER İREM	PASABAG	BÖLGE-3	04:45	01:00	-

Şekil 33. SHGM Nevşehir Slot Hizmet Merkezi tarafından verilen uçuş planı

Uçuşun gerçekleştirileceği sahada, öncelikle gerekli tüm hazırlıkların titizlikle yapılmış olması gerekir. Sıcak hava balonu pilotlarına, sistemin işleyişi, test süreci ve uçuş sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar hakkında ayrıntılı bilgiler verilmesi gerekir. Pilotlara ayrıca tasarlanan sistemle balonlar arasında nasıl haberleşme sağlanacağı, veri aktarımının nasıl gerçekleştirileceği ve uçuş boyunca test edilecek parametreler hakkında kapsamlı bir bilgilendirme yapılmalıdır. Cihazın ekran

görüntüsünde verilen değerler, semboller ve uyarılar hakkında bilgiler de pilotlara verilmelidir.

Bu bilgilendirmelerin ardından, uçuşun güvenli ve planlandığı şekilde ilerlemesini sağlamak için ayrıntılı bir uçuş senaryosu hazırlanmalıdır. Hazırlanacak senaryoda, balonların kalkış, seyir ve iniş aşamaları detaylı olarak belirlenmeli, haberleşme sisteminin test edileceği kritik anlar tespit edilmeli ve olası acil durumlar için gerekli önlemler planlanmalıdır. Ayrıca, uçuş sırasında beklenmedik durumlarla karşılaşıldığında alınacak tedbirler de senaryoya dahil edilmelidir. Tüm bu kapsamlı hazırlıklar, test uçuşunun güvenli ve sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

5.3. Balon Testi

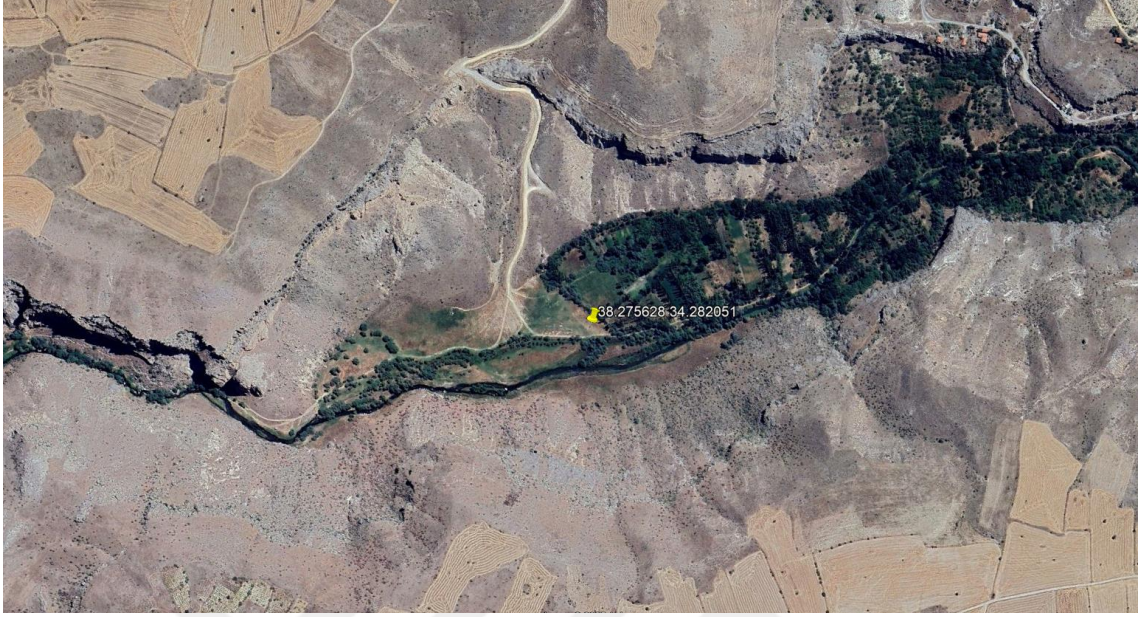
Tasarlanan sistemin verdiği konum ve irtifa bilgileri yerde yapılan testlerle doğrulandıktan sonra balon testine geçilmiştir. Tasarlanan prototiplerin öncelikle ayrı ayrı balonlarda konumlandırılarak test edilmesine çalışılmıştır. Ancak sonrasında SHGM'den özel uçuş izni alınamadığı için bu gerçekleştirilememiştir. Bu durumda ticari uçuşlarda testin gerçekleştirilmesine çalışılmıştır.

Öncelikle cihazların iki farklı balonda, balonların farklı yön ve irtifalarda ve birbirine göre konumları değişkenlik arz edecek şekilde olmalarını sağlayarak testlerin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bunu sağlamak için iki ticari balonun kiralanması düşünülmüştür ancak 12 kişilik bir balonun kiralanma bedeli yaklaşık 3600 Euro'dur. Dolayısıyla 2 balon için bu fiyat 7200 Euro olduğundan bu mümkün olamamıştır. Bu durumda ticari balona normal bir müşteri olarak binilip cihazların test edilmesine karar verilmiştir.

Uçuştan önce balon pilotlarıyla yapılan görüşmede iki balonun birbirine göre farklı irtifa ve konumlarda olması istenmiş, ancak rüzgârın ani yön değiştirmesi ve bu uçuşun turistik bir uçuş olması nedeniyle bunun mümkün olamayacağı pilotlar tarafından ifade edilmiştir. Ayrıca balonların hazırlanmaya başlanmasının eş zamanlı olmaması ve uçuşa hazırlanan bir balonun da hemen yolcularını alıp uçuşuna başlaması gerektiği için tek seçenek olarak cihazlardan birisi balonda, diğeri yerde olacak şekilde testin yapılması kalmıştır.

Bu şartlarda balon testi LAT 38,275628, LONG 34,282051 konum bilgilerine sahip olan ve görseli Şekil 34'de verilen İhlara Vadisi'nde yapılmıştır. İlgili konumun

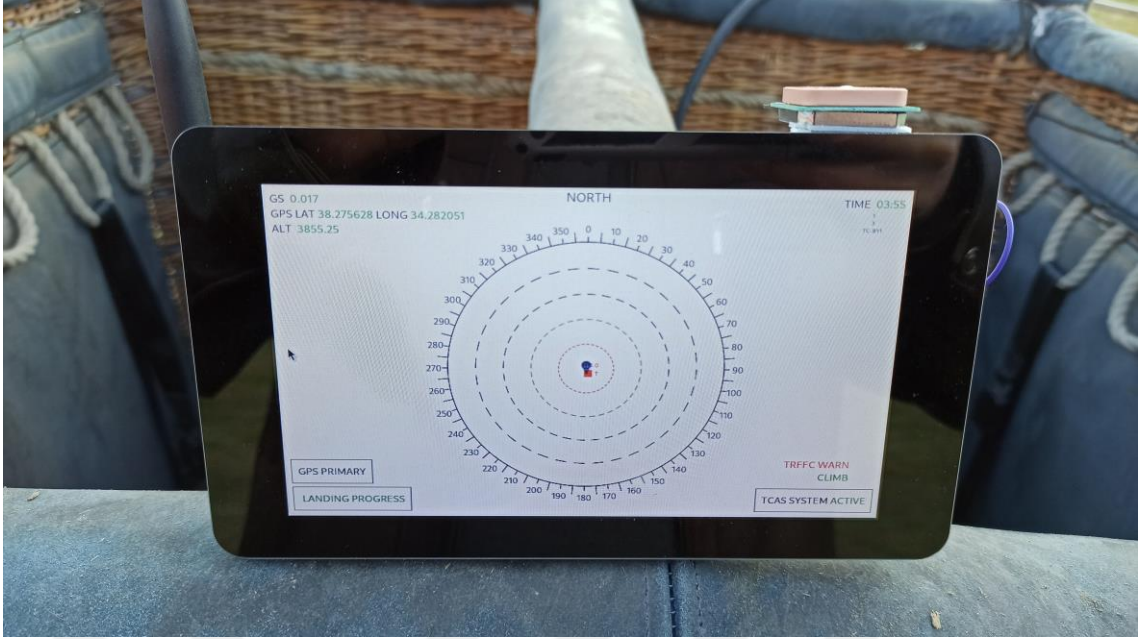
balondan çekilmiş görüntüsü Şekil 35’de, konum ve irtifa bilgilerinin okunduğu cihazın ekran görüntüsü ise Şekil 36’da verilmiştir.



Şekil 34. Balon testinin gerçekleştirildiği konum ve bilgisi



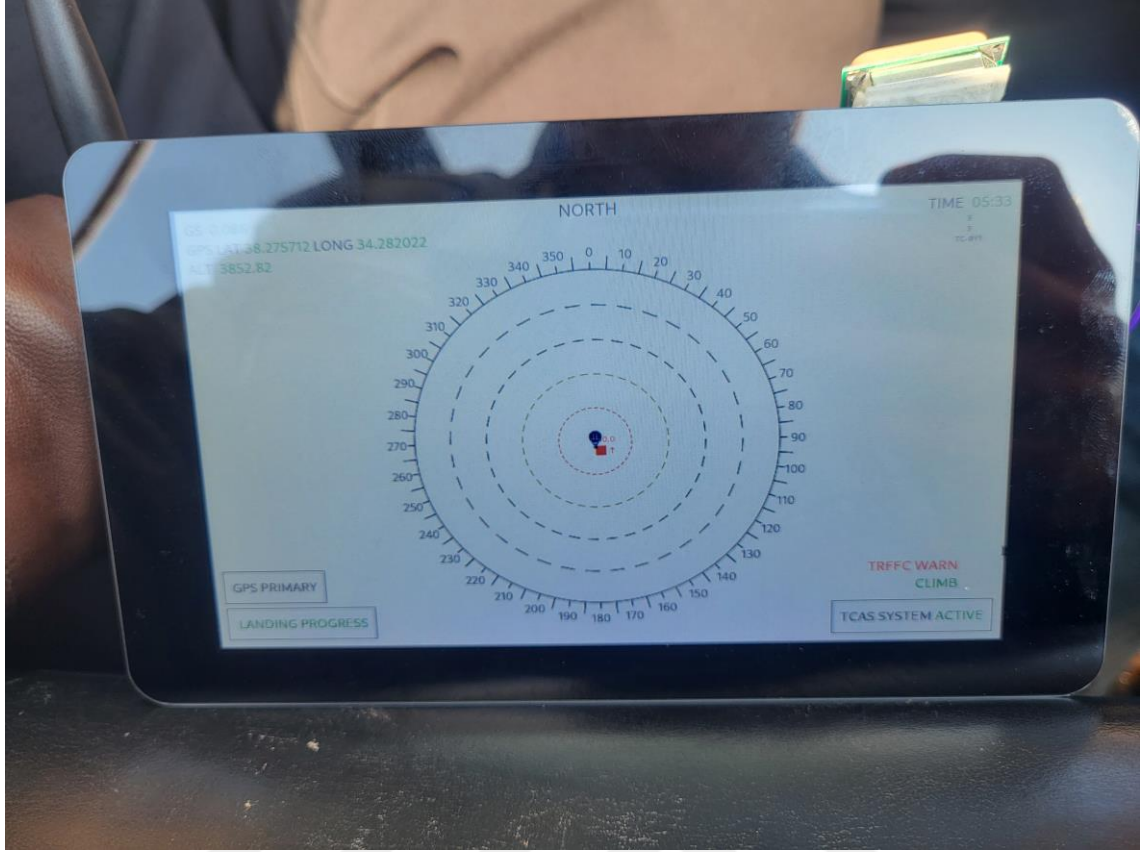
Şekil 35. Testin yapılmaya başlandığı konumun balondan çekilmiş görseli



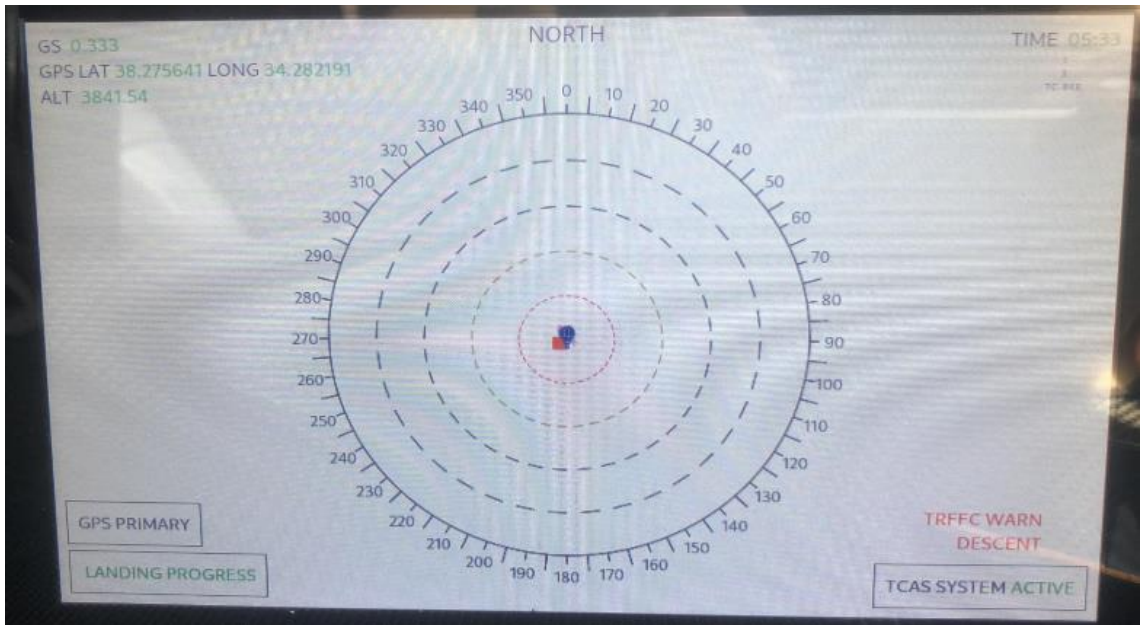
Şekil 36. Testin yapılmaya başlandığı konum ve irtifa bilgisinin cihaz ekranına yansımaları

Tasarlanan cihazların test edilmesi, balondaki ve yerdeki cihazın aynı anda alınmaya çalışılan görselleri verilerek sunulacaktır. Bu kapsamda uçuşun başlangıcından cihazların birbirlerinin menzillerinden çıkıncaya kadarki sürece kadar, kendilerinin ve birbirlerinin konumlarını ekranlarında nasıl gördükleri çekilen resimler paylaşılarak verilecektir.

Kalkış anında alınan görüntüler Şekil 37’de ve Şekil 38’de verilmiştir. Şekil 37 balondaki cihaza, Şekil 38 yerdeki cihaza aittir. Balondaki cihazda irtifa bilgisi 3852,82 ft iken yerdeki cihazda irtifa bilgisi 3841,54 ft olarak okunmaktadır. Aradaki 11,28 ft’lik fark balondaki cihazın ekranına 10 ft olarak yansımıştır. Bu da % 11,34’lük kabul edilebilir bir hataya denk gelmektedir.



Şekil 37. Balondaki cihazın kalkış konumundaki yerden 10ft yüksekten alınan görüntüsü



Şekil 38. Yerdeki cihazın ekran görüntüsü

Şekil 37 ve Şekil 38'deki cihaz ekranlarının sol alt köşelerindeki bilgi incelendiğinde, tasarım gereği cihazlar aktif edildikleri irtifadan 50 ft yükselmedikleri

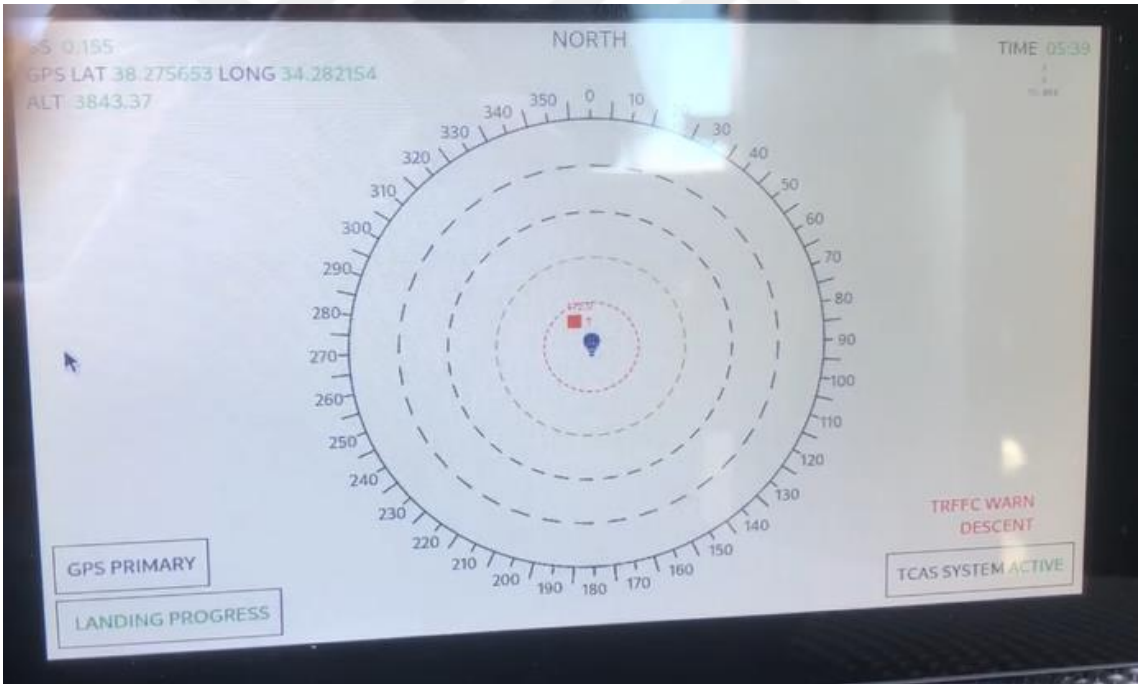
için LANDING PROGRESS ifadesi yer almaktadır. Sağ alt köşelerindeki bilgi incelendiğinde ise Şekil 37'deki ekranda TRFFC WARN CLIMB, Şekil 38'deki ekranda ise TRFFC WARN DESCENT ikazları görülmektedir. Bu ikazlar, her iki cihaz arasındaki yatay uzaklığın 100 m'den az olması nedeniyle, tasarımın bir gereği olarak cihazlar tarafından üretilmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, Şekil 37'deki cihaz çarpışmadan kaçınmak için kullanıcıya çözüm tavsiyesini yükselme (CLIMB) olarak verirken Şekil 38'deki cihaz pilotuna çözüm tavsiyesini alçalma (DESCENT) olarak vermektedir.

Balonun kalktığı noktadan konum ve irtifa olarak uzaklaşmaya başladığı anda alınan görüntülerden ilki Şekil 39 ve Şekil 40'da paylaşılmıştır. Şekil 39 balondaki, Şekil 40 yerdeki cihaza aittir. Balondaki cihazda irtifa bilgisi 4005,64 ft iken yerdeki cihazda irtifa bilgisi 3843,37 ft olarak okunmaktadır. Aradaki 162,27 ft'lik fark balondaki cihazın ekranına 162 ft, yerdeki cihazın ekranına ise 172 ft olarak yansımıştır. Dolayısıyla yerdeki cihaz balondaki cihazla olan irtifa farkını 10 ft'lik bir hata ile göstermiştir. Bu da % 6,17'lik kabul edilebilir bir hataya denk gelmektedir. Şekil 39'daki cihazın sol üst köşesinde bulunan ve içinde bulunduğu balonun yere göre hız değerini (Ground Speed, GS) knot cinsinden veren değer anlık olarak 3,261 knot (6,03 km/h) okunmaktadır.

Şekil 39 ve Şekil 40'daki cihaz ekranlarının sol alt köşelerindeki bilgi incelendiğinde, balondaki cihaz aktif edildiği irtifadan 50 ft'den fazla (162 ft) yükseldiği için LANDING PROGRESS ifadesinin yerine FLIGHT PROGRESS ifadesinin geldiği görülmektedir. Ancak yerdeki cihaz irtifasında 50 ft'lik bir yükselme olmadığı için tasarım gereği LANDING PROGRESS ifadesi yer almaya devam etmiştir. Sağ alt köşelerindeki bilgi incelendiğinde ise Şekil 39'daki ekranda TRFFC WARN CLIMB, Şekil 40'daki ekranda ise TRFFC WARN DESCENT ikazları görülmektedir. Bu ikazlar, her iki cihaz arasındaki yatay uzaklık 100 m'yi geçmediği için ekranda görüntülenmeye devam etmiştir.



Şekil 39. Cihazların ilk 100 m’lik yarıçaptaki bir konumunda balondaki cihazdan alınan görüntü

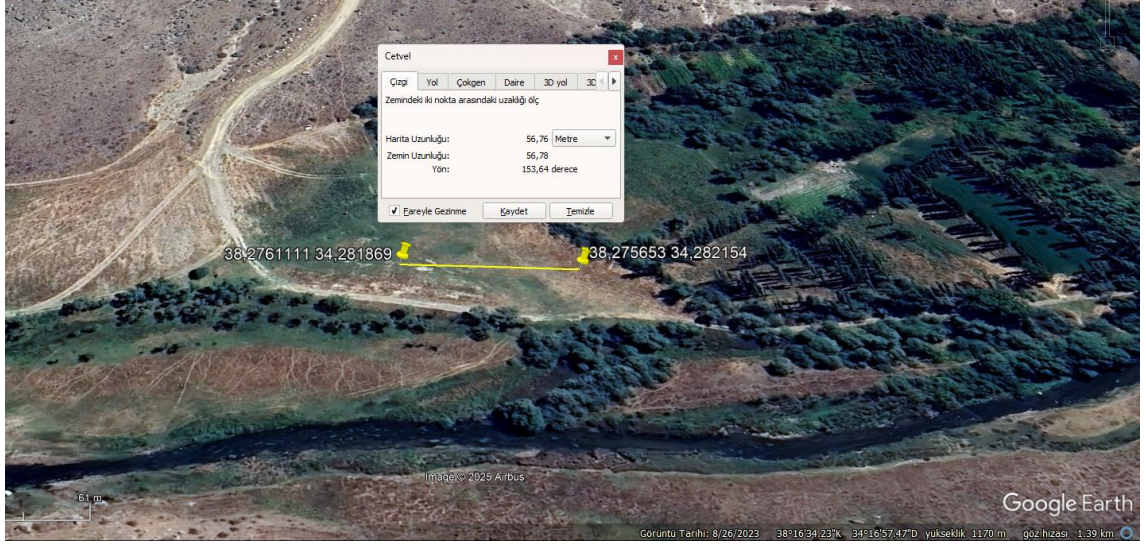


Şekil 40. Cihazların ilk 100 m’lik yarıçaptaki bir konumunda yerdeki cihazdan alınan görüntü

Şekil 39 ve Şekil 40 birlikte değerlendirildiğinde cihazların birbirlerine göre göreceli konumları da net bir şekilde görülmektedir. Örneğin yerdeki cihaz balondaki cihazın ekranında kuzeye göre yaklaşık 155 radyalde görüntülenirken balondaki cihazın yerdeki cihazın ekranındaki göreceli konumu da yaklaşık 335 radyaldir. Dolayısıyla

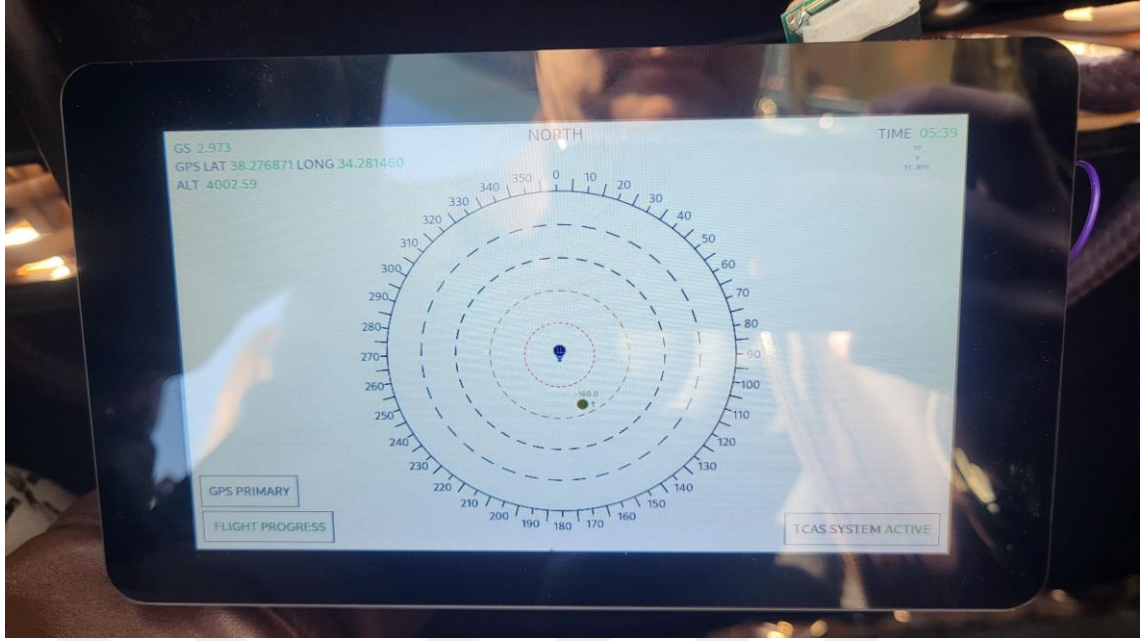
birbirlerine göre göreceli konumları arasında bulunması gereken 180 derecelik radyal farkı da her iki cihazın ekranında doğru bir şekilde görülmektedir.

Bu durum cihazlardan okunan GPS konumlarının Google Earth’deki gösteriminin paylaşıldığı Şekil 41’de de görülmektedir. Şöyle ki Google Earth’in sahip olduğu özellik sayesinde işaretlenen iki noktanın birbirlerine göre kaç derecelik radyalde olduklarını görmek mümkündür. Burada balondaki cihaz konumu baz alınarak yerdeki cihazın konumuna doğru mesafe ölçümü yapıldığında, hem iki konum arasındaki uzaklığın yaklaşık 57 m olduğu hem de yerdeki cihazın balondaki cihaza göre yaklaşık 154 derecelik radyalde bulunduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 39’daki diğer cihaza ait radyal bilgisi değerini doğrulamaktadır.

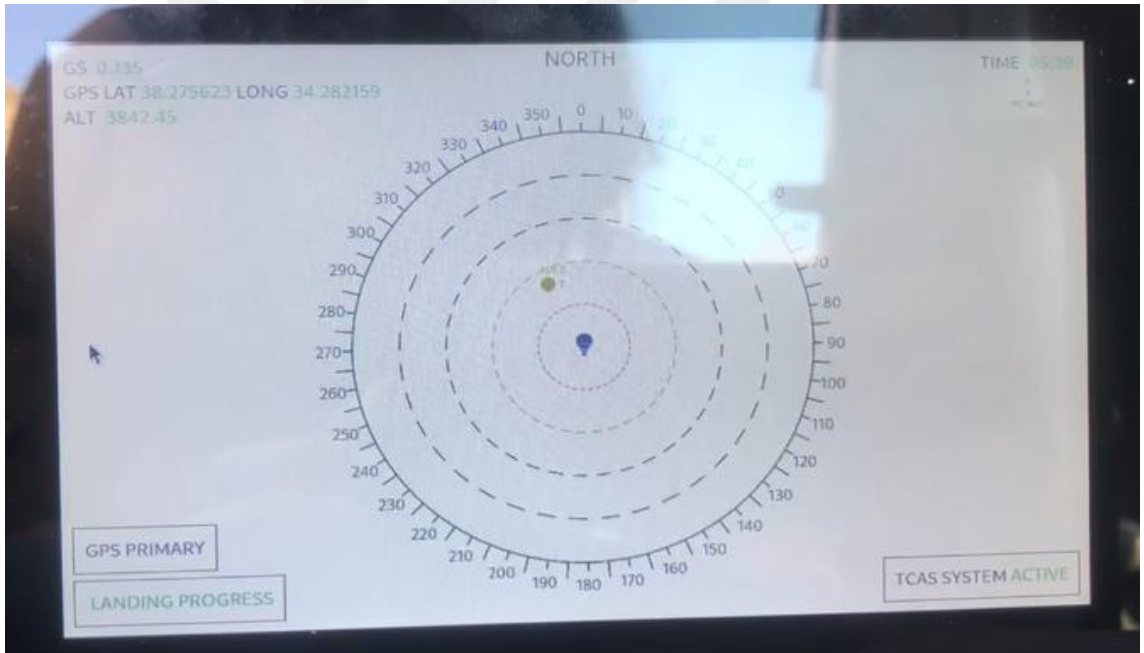


Şekil 41. Cihazlardan okunan GPS konumlarının Google Earth’de gösterimi

Balonun kalktığı konumdan yataydaki uzaklığı 200 m’nin altındayken alınan görüntüler Şekil 42 ve Şekil 43’de paylaşılmıştır. Şekil 42 balondaki, Şekil 43 yerdeki cihaza aittir. Balondaki cihazda irtifa bilgisi 4002,59 ft iken yerdeki cihazda irtifa bilgisi 3842,45 ft olarak okunmaktadır. Aradaki 160,14 ft’lik fark balondaki cihazın ekranına 160 ft, yerdeki cihazın ekranına ise 159 ft olarak yansımıştır. Dolayısıyla yerdeki cihaz balondaki cihazla olan irtifa farkını 1 ft’lik bir hata ile göstermiştir. Bu da % 0,63’lük oldukça düşük bir hataya denk gelmektedir. Testin bu anında balonun yere göre hızının da 2,973 knot (5,506 km/h) olduğu görüntülenmektedir.



Şekil 42. Cihazların 200 m'lik yarıçaptaki bir konumunda balondaki cihazdan alınan görüntü



Şekil 43. Cihazların 200 m'lik yarıçaptaki bir konumunda yerdeki cihazdan alınan görüntü

Şekil 42 ve Şekil 43 sırasıyla incelendiğinde yerdeki cihazın balondaki cihazın ekranında kuzeye göre yaklaşık 155 radyalde görüntülediği, balondaki cihazın yerdeki cihazın ekranındaki göreceli konumunun da yaklaşık 335 radyalde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla birbirlerine göre göreceli konumları arasında bulunması gereken 180 derecelik radyal farkı da her iki cihazın ekranında doğru bir şekilde görülmektedir.

Şekil 42 ve Şekil 43'deki cihaz ekranlarının sağ alt köşelerindeki bilgi incelendiğinde, Şekil 39 ve Şekil 40'da sırasıyla görülmekte olan TRFFC WARN CLIMB ve TRFFC WARN DESCENT ikazlarının Şekil 42 ve Şekil 43'deki cihaz ekranlarında artık görülmediği anlaşılabacaktır. Bunun temel nedeni, her iki cihaz arasındaki yatay uzaklığın 100 m'yi geçmesidir. Yatay uzaklığın 100 m'yi geçmesi, intruder balonun ekranda görüntülenme şeklini ve rengini de değiştirmiştir. Şekil 39, 40, 42 ve 43'deki ekranlar bu açıdan karşılaştırıldıklarında, intruder balon gösteriminin Şekil 39 ve 40'da içi dolu kırmızı kare sembolü şeklindeyken, Şekil 42 ve 43'de bu sembolün içi dolu sarı daire şekline dönüştüğü anlaşılabacaktır. Intruder balonun bu şekilde gösterimi, iki cihaz arasındaki yatay uzaklık 100-200 m arasında olduğu müddetçe devam etmektedir.

Bu durum cihazlardan okunan GPS konumlarının Google Earth'deki gösteriminin paylaşıldığı Şekil 44'de de görülmektedir. Burada yerdeki cihaz konumu baz alınarak balondaki cihazın konumuna doğru mesafe ölçümü yapıldığında, hem iki konum arasındaki uzaklığın yaklaşık 153 m olduğu hem de balondaki cihazın yerdeki cihaza göre yaklaşık 336 derecelik radyalde bulunduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 43'deki diğer cihaza ait radyal bilgisi değerini doğrulamaktadır.



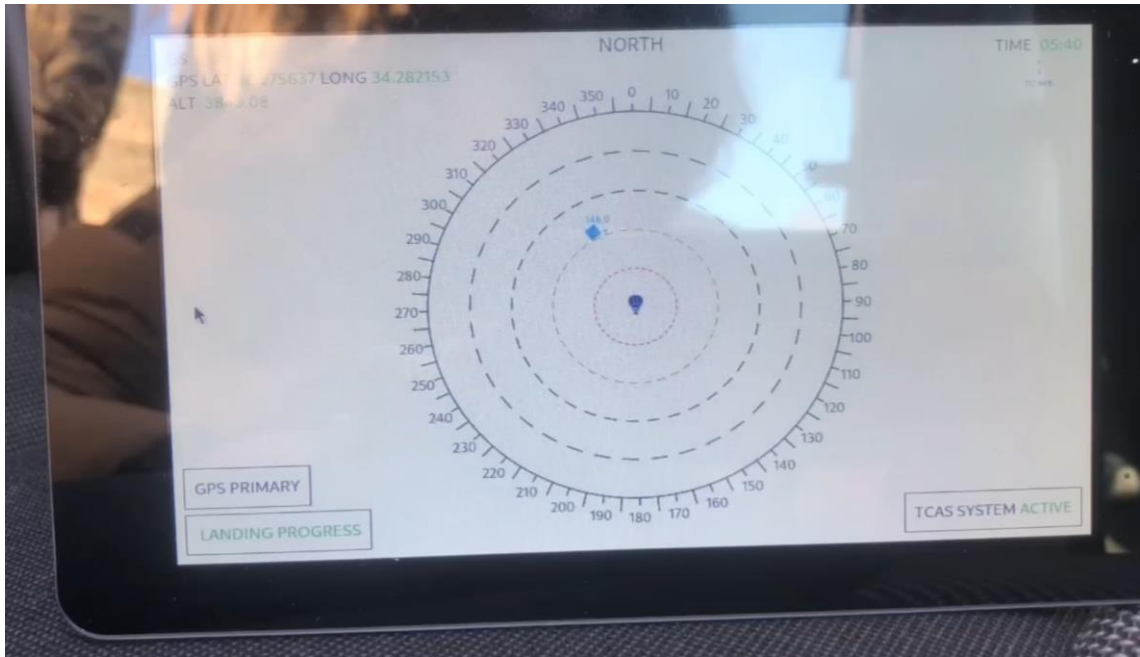
Şekil 44. Cihazlardan okunan GPS konumlarının Google Earth'de gösterimi

Balonun kalktığı konumdan yataydaki uzaklığı 300m'nin altındayken alınan görüntüler Şekil 45 ve Şekil 46'de paylaşılmıştır. Şekil 45 balondaki, Şekil 46 yerdeki cihaza aittir. Balondaki cihazda irtifa bilgisi 3994,0 ft iken yerdeki cihazda irtifa bilgisi

3843,08 ft olarak okunmaktadır. Aradaki 150,92 ft'lik fark balondaki cihazın ekranına 152 ft, yerdeki cihazın ekranına ise 148 ft olarak yansımıştır. Dolayısıyla iki cihaz arasındaki irtifa farkını balondaki cihaz 1,08 ft, yerdeki cihaz ise 2,92 ft'lik bir hata ile göstermiştir. Bu da balondaki cihaz için % 0,72, yerdeki cihaz için ise %1,93'lük oldukça düşük bir hataya denk gelmektedir. Testin bu anında balonun yere göre hızının 3,123 knot (5,784 km/h) olduğu da görülmektedir.



Şekil 45. Cihazların 300 m'lik yarıçaptaki bir konumunda balondaki cihazdan alınan görüntü



Şekil 46. Cihazların 300 m'lik yarıçaptaki bir konumunda yerdeki cihazdan alınan görüntü

Şekil 45 ve Şekil 46 sırasıyla incelendiğinde yerdeki cihazın balondaki cihazın ekranında kuzeye göre yaklaşık 155 radyalde görüntülediği, balondaki cihazın yerdeki cihazın ekranındaki göreceli konumunun da yaklaşık 335 radyalde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla birbirlerine göre göreceli konumları arasında bulunması gereken 180 derecelik radyal farkı da her iki cihazın ekranında doğru bir şekilde görülmektedir.

Yatay uzaklığın 200 m'yi geçmesi, intruder balonun ekranda görüntülenme şeklinin ve renginin yine değişmesine neden olmuştur. Şekil 42, 43, 45 ve 46'daki ekranlar bu açıdan karşılaştırıldıklarında, intruder balon gösteriminin Şekil 42 ve 43'de içi dolu sarı daire sembolü şeklindeyken, Şekil 45 ve 46'da bu sembolün içi dolu mavi elmas şekline dönüştüğü anlaşılabacaktır. Intruder balonun bu şekilde gösterimi, iki cihaz arasındaki yatay uzaklık 200 m'den fazla olduğu müddetçe devam etmektedir.

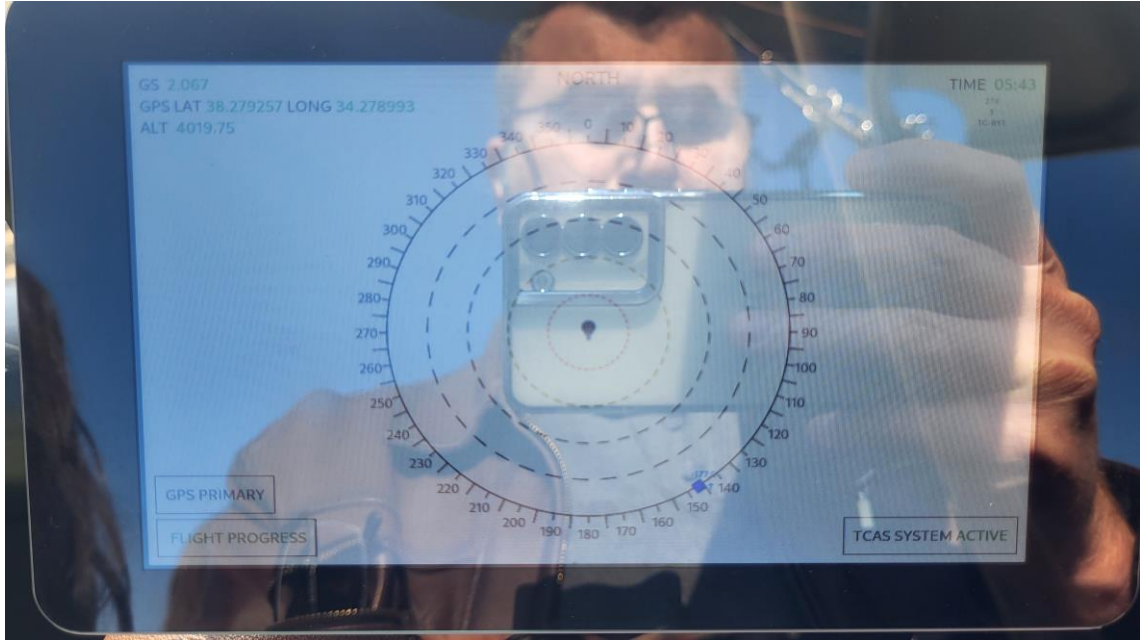
Bu, cihazlardan okunan GPS konumlarının Google Earth'deki gösteriminin paylaşıldığı Şekil 47'de de görülmektedir. Burada yerdeki cihaz konumu baz alınarak balondaki cihazın konumuna doğru mesafe ölçümü yapıldığında, hem iki konum arasındaki uzaklığın yaklaşık 205 m olduğu hem de balondaki cihazın yerdeki cihaza göre yaklaşık 335 derecelik radyalde bulunduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 46'deki diğer cihaza ait radyal bilgisi değerini doğrulamaktadır.



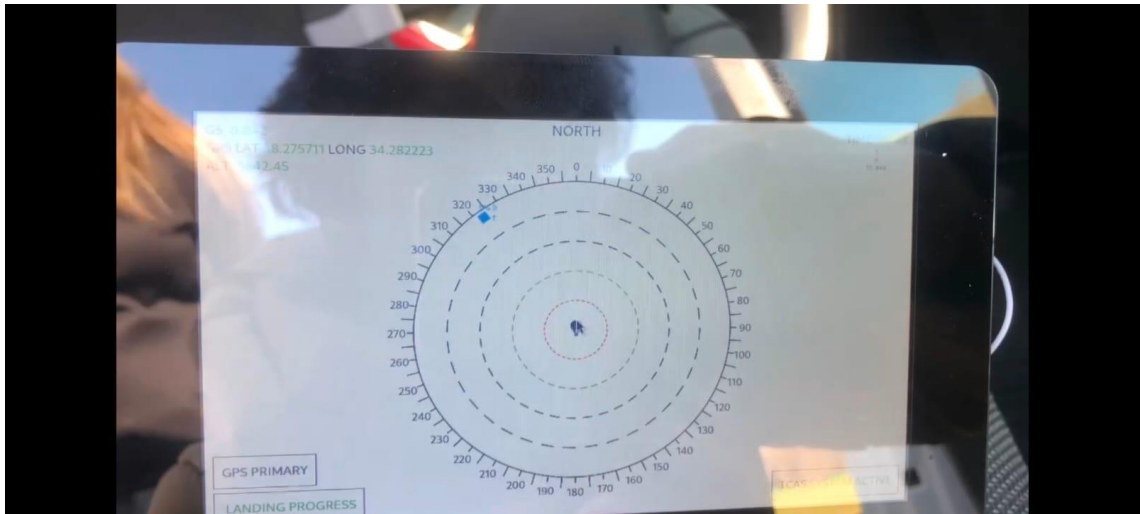
Şekil 47. Cihazlardan okunan GPS konumlarının Google Earth'de gösterimi

Balonun kalktığı konumdan yataydaki uzaklığı 500 m'nin altındayken alınan görüntüler Şekil 48 ve Şekil 49'da paylaşılmıştır. Şekil 48 balondaki, Şekil 49 yerdeki cihaza aittir. Balondaki cihazda irtifa bilgisi 4019,75 ft iken yerdeki cihazda irtifa bilgisi

3842,45 ft olarak okunmaktadır. Aradaki 177,3 ft'lik fark balondaki cihazın ekranına 177 ft, yerdeki cihazın ekranına ise 176 ft olarak yansımıştır. Dolayısıyla iki cihaz arasındaki irtifa farkını balondaki cihaz 0,3 ft, yerdeki cihaz ise 1,3 ft'lik bir hata ile göstermiştir. Bu da balondaki cihaz için % 0,17, yerdeki cihaz için ise % 0,73'lük oldukça düşük bir hataya denk gelmektedir. Testin bu anında balonun yere göre hızının 2,067 knot (3,828 km/h) olduğu da görülmektedir.



Şekil 48. Cihazların 500 m'lik yarıçaptaki bir konumunda balondaki cihazdan alınan görüntü



Şekil 49. Cihazların 500 m'lik yarıçaptaki bir konumunda yerdeki cihazdan alınan görüntü

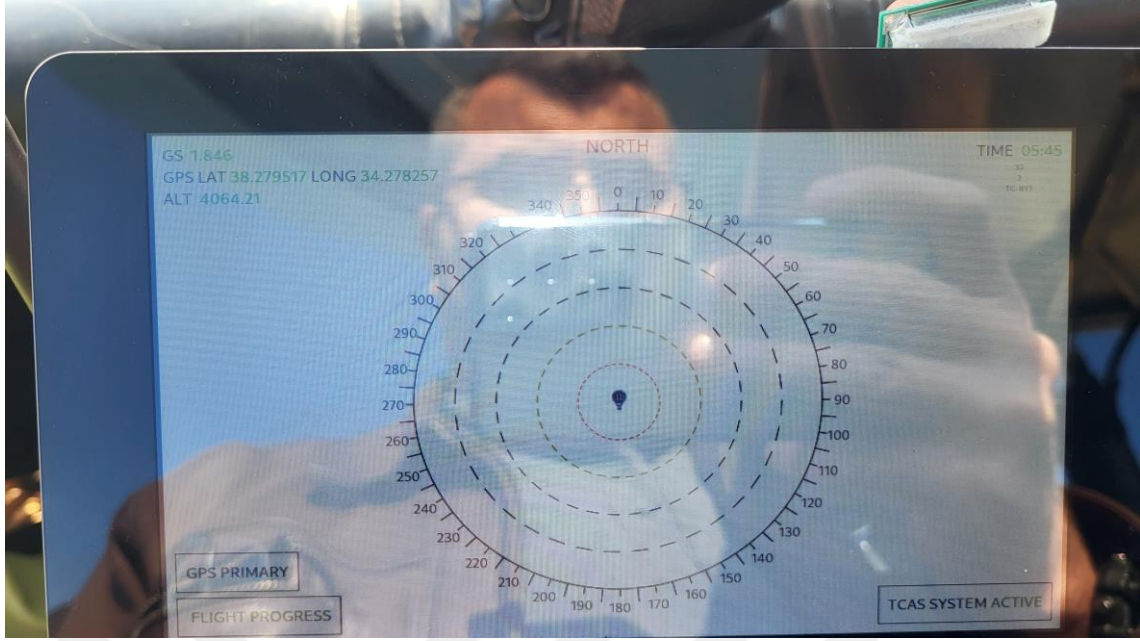
Şekil 48 ve Şekil 49 sırasıyla incelendiğinde yerdeki cihazın balondaki cihazın ekranında kuzeye göre yaklaşık 145 radyalde görüntülediği, balondaki cihazın yerdeki

cihazın ekranındaki göreceli konumunun da yaklaşık 325 radyalde olduğu görülmektedir. Bu, cihazlardan okunan GPS konumlarının Google Earth’deki gösteriminin paylaşıldığı Şekil 50’de de görülmektedir. Burada yerdeki cihaz konumu baz alınarak balondaki cihazın konumuna doğru mesafe ölçümü yapıldığında, hem iki konum arasındaki uzaklığın yaklaşık 484 m olduğu hem de balondaki cihazın yerdeki cihaza göre yaklaşık 325 derecelik radyalde bulunduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 49’daki diğer cihaza ait radyal bilgisi değerini doğrulamaktadır.

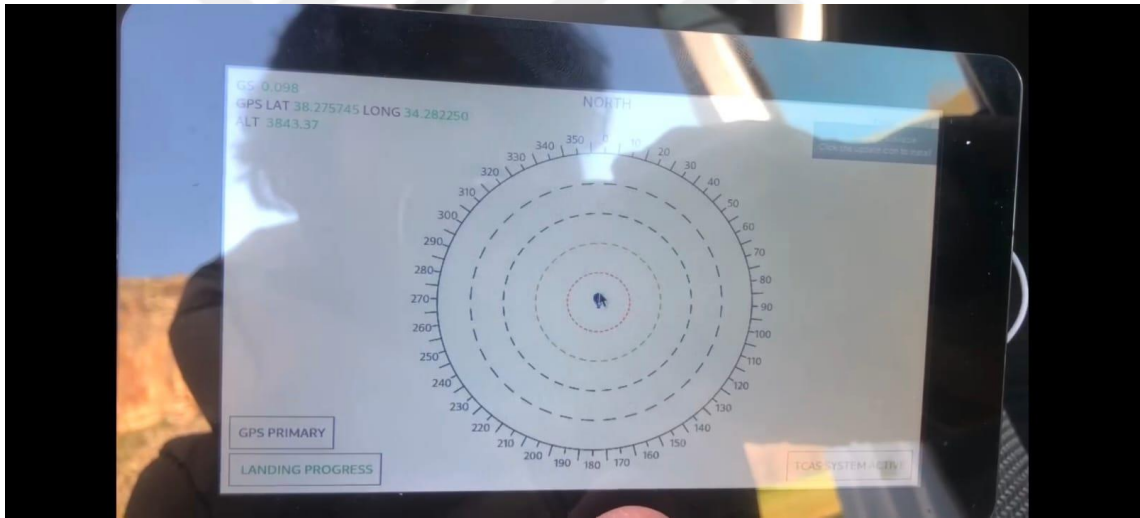


Şekil 50. Cihazlardan okunan GPS konumlarının Google Earth’de gösterimi

İki cihaz arasındaki yatay uzaklık 500 m’yi geçtiğinde tasarım gereği intruder balonun diğer cihaz ekranında görüntülenmesi istenmemiştir. Testin bu aşamasında bu 500m’lik sınır değer aşılması incelenmiştir. Bu kapsamda alınan görüntüler Şekil 51 ve Şekil 52’de paylaşılmıştır. Şekil 51 balondaki, Şekil 52 yerdeki cihaza aittir. Balondaki cihazda irtifa bilgisi 4064,21 ft iken yerdeki cihazda irtifa bilgisi 3843,37 ft olarak okunmaktadır. Testin bu anında balonun yere göre hızının 1,846 knot (3,419 km/h) olduğu da görülmektedir.



Şekil 51. Cihazların 500 m'lik yarıçaptaki bir konumunda balondaki cihazdan alınan görüntü



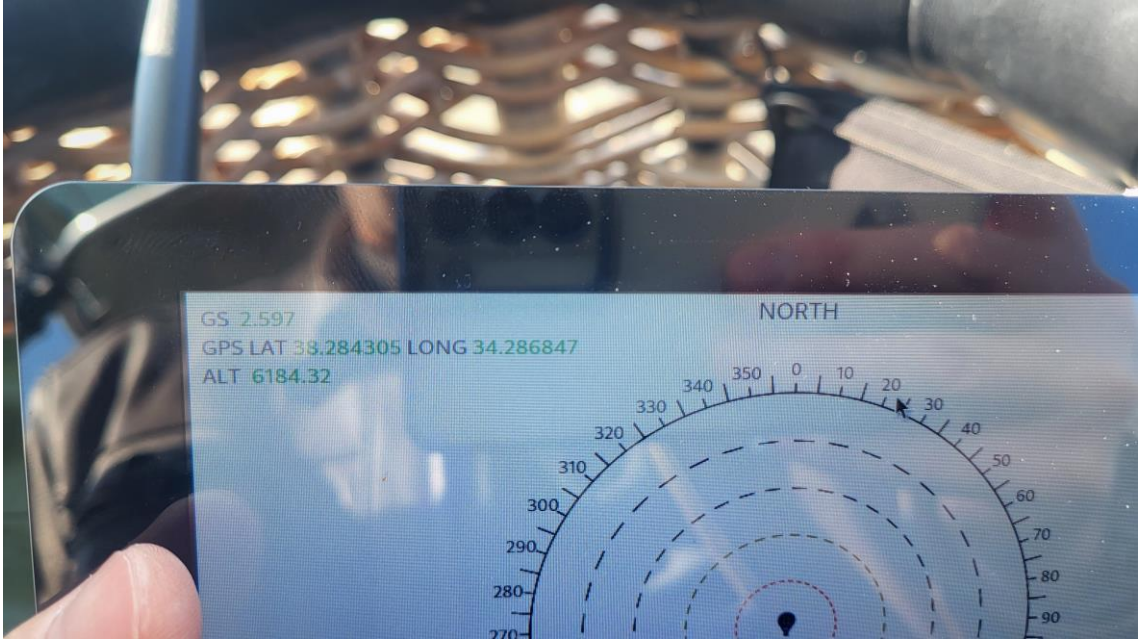
Şekil 52. Cihazların 500 m'lik yarıçap dışında bir konumunda yerdeki cihazdan alınan görüntü

Balondaki cihazın konumu LAT 38,279517 LONG 34,278257, yerdeki cihazın konumu LAT 38,275745 LONG 34,282250 olarak görülmektedir. Bu iki konum arasındaki yatay uzaklık hesaplandığında yaklaşık 545 m olduğu görülecektir. Söz konusu konumların Google Earth'de işaretlenmesi ve ardından aradaki uzaklığın tespiti sırasında alınan ekran görüntüsü Şekil 53'de verilmiştir. Bu bilgiler ışığında cihazın tasarlandığı gibi çalıştığı, dolayısıyla sınır değeri aşıldığı için diğer cihaz ekranında görüntülenmediği net bir görülmektedir.



Şekil 53. Cihazların 500 m'lik yarıçap dışındaki bir konumunda aralarındaki uzaklığın Google Earth'de görüntülenmesi

Buraya kadar yapılan testlerle tasarlanan cihazların etkinlikleri ortaya konulmuştur. Yerdeki cihazın konumunu 1-2 metrelik yer değişimini dikkate almayıp genel itibariyle sabit kabul edecek olursak, balonun yataydaki uzaklığı 500m'nin çok üzerine çıktığı durumlara ilişkin her iki cihaz ekran görüntülerini paylaşmak suretiyle konum bilgilerinin burada sunulması testlere bir katkı sağlamayacaktır. Ancak bu noktada balonun test sırasında çıktığı maksimum irtifa değerini ortaya koymak açısından Şekil 54'deki görsel paylaşılmıştır.



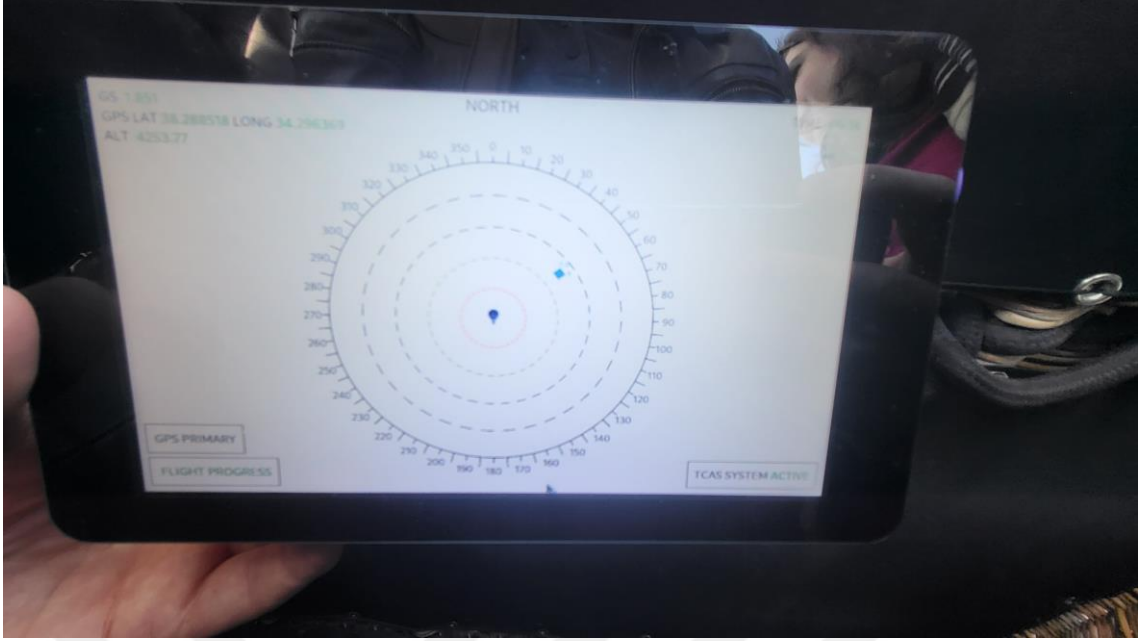
Şekil 54. Balonun çıktığı maksimum irtifa anında alınan görüntü

Şekil 54’de de görüleceği üzere balon, test aşamasında maksimum 6184,32 ft irtifaya çıkmıştır. Balonun Şekil 54’deki görüntüye yansıyan GPS konumu Şekil 55’de gösterilmiştir. Şekil 55’deki Google Earth ekranının en alt satırındaki bilgi bölümünden de anlaşılabacağı üzere, yeryüzündeki bu konumun deniz seviyesinden yüksekliği 1306 m (4284,78 ft)’dir. Dolayısıyla balon yerden 1899,54 ft (579 m) yükselmiştir.



Şekil 55. Balonun çıktığı maksimum irtifanın anlık konumunun Google Earth kullanılarak 2D gösterimi

Bilindiği gibi balonların navigasyonunda rüzgârın yönü ve şiddeti belirleyici olduğundan pilotun balonu kaldırmadan önce indireceği nihai noktayı kesin olarak tespit etmesi mümkün olamamaktadır. Bu durum test sırasında da gözlenmiştir. Şekil 56’daki cihaz görüntüsü balonun iniş yaptığı esnada alınmıştır. İlgili GPS koordinatlarının Google Earth görüntüsü ise Şekil 57’de verilmiştir.



Şekil 56. Balonun iniş yaptığı anda balondaki cihazdan alınan görüntü



Şekil 57. Balonun iniş yaptığı LAT 38,288518 LONG 34,296369 konumunun Google Earth'deki gösterimi

Şekil 57 incelendiğinde balonun bir tarım arazisine inmek zorunda kaldığı anlaşılabacaktır. Bu durum balon indiği anda ve indikten sonra çekilen ve sırasıyla Şekil 58 ve Şekil 59'da paylaşılan görsellerden de rahatlıkla anlaşılmaktadır.



Şekil 58. Balonun tarım arazisine indiği anda alınan görüntü



Şekil 59. Balonun tarım arazisine indikten sonra alınan görüntüsü

Yapılan bu testlerden elde edilen veriler Tablo 2. Ancak, hatırlanacağı üzere teste cihazlar aynı konumdayken başlandığı için aralarında çok fazla uzaklığın olmadığı ve Şekil 37’de görseli verilen aşamaya dair sayısal veriler tabloda paylaşılmamıştır.

Tablo 2. Balon testinden elde edilen veriler

No	Balondaki cihazın konumu		Yerdeki cihazın konumu		Balondaki cihazın yere göre hızı (knot)	Aralarındaki gerçek yatay uzaklık (m)	Aralarındaki uzaklığın cihaz ekranlarına yansıdığı aralık (m)	İrtifa (ft)		Aralarındaki gerçek irtifa farkı (ft)	Balondaki cihaza göre irtifa farkı		Yerdeki cihaza göre irtifa farkı		Cihaz ekranındaki radyal bilgileri ()	
	LAT	LONG	LAT	LONG				Balondaki cihazdan okunan	Yerdeki cihazdan okunan		Ft	Hata (%)	Ft	Hata (%)	Balondakine göre yerdekine bulunduğu	Yerdekiye göre balondakinin bulunduğu
1	38,276111	34,281869	38,275653	34,282154	3,261	57	0-100	4005,64	3843,38	162,27	162	0	172	6,17	155	335
2	38,276871	34,281460	38,275623	34,282159	2,973	153	100-200	4002,59	3842,45	160,14	160	0	159	0,63	155	335
3	38,277317	34,281178	38,275637	34,282153	3,123	205	200-300	3994,0	3843,08	150,92	152	0,72	148	1,93	155	335
4	38,279257	34,278993	38,275711	34,282223	2,067	484	400-500	4019,75	3842,45	177,3	177	0,17	176	0,73	145	325
5	38,279517	34,278257	38,275745	34,282250	1,846	545	-	4064,21	3843,37	220,84	-	-	-	-	-	-

Tablo 2 incelendiğinde 5 numaralı satırda bazı yerlerde sayısal verilerin olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni tasarımdaki 500 m sınırının aşılmasıdır. Yani iki cihaz arasındaki uzaklık yatayda 500 m'yi geçtiği için diğer cihazın ekranında görüntülenmemesidir. Dolayısıyla sayısal verilerin olmadığı hücrelere bir değer yazılamamıştır.

Tablo 2'deki iki cihaz arasındaki gerçek irtifa farklarının yüzde cinsinden hata oranları incelendiğinde, balondaki cihaza göre ortalama hata % 0,22'dir. Ancak yerdeki cihazda ortalama hata değeri % 2,37'ye karşılık gelmektedir.

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada sıcak hava balonlarının birbirleri ile çarpışmaları sonucunda yaşanacak kazaların ve akabinde meydana gelebilecek olası can ve mal kayıplarının önlenmesine yardımcı olacak bir sistem tasarlanmış ve iki adet prototip üretilmiştir.

Gerçekleştirilen sistemde Raspberry Pi platformu ile BMP180 basınç sensörü, MPU6050 ivme sensörü ve GYGPSV1 NEO-M8N GPS modülleri kullanılmıştır. Sensörlerden elde edilen irtifa, konum ve hız bilgileri, LoRa uzun mesafe modülü aracılığıyla iki cihaz arasında broadcast yayını şeklinde paylaşılmış ve hem kendi bilgileri hem de 500 m'lik yarı çap içerisinde bulunan intruder balonun bilgileri 7 inçlik ekranlarda sunulmuştur.

Tasarlanan sistemin arayüzünde verilen bilgilerin renkleri ve yerleri insanların algısını en yüksek seviyede tutmak için özenle seçilmiş ve yerleştirilmiştir. Sistem, cihazın bulunduğu balonu merkeze alıp her biri arasında 100'er m mesafeye denk gelen 5 halkadan oluşacak şekilde, uçaklardaki TCAS ekranını andıracak biçimde, yani 360 derecelik bir açıya sahip şekilde tasarlanmıştır. Intruder balonun 100-200 m arasındaki bir uzaklıkta yaklaşması durumunda her iki cihaz trafik uyarısı vermektedir. Bu mesafe 100 m ve altına düştüğünde ise yine her iki cihaz çözüm önerisi sunmaktadır. Öneri kapsamında balonlardan birisine alçalması önerilirken diğerine yükselmesi önerilmektedir.

Cihaz, eğer balon yere 50 ft'den daha yakınsa, balonun kalkış/iniş aşamasında olduğunu da gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Eğer balon aktif edildiği irtifaya 50 ft'den daha yakınsa LANDING PROGRESS ikazı ekrana yazdırılmaktadır. Zeminden yüksekliği 50 ft'den daha fazla olduğunda ise sistem balonun normal uçuş evresinde olduğunu değerlendirip FLIGHT PROGRESS bilgisini pilota sunmaktadır.

Üretilen prototiplerin testleri ilk olarak yerde gerçekleştirilmiştir. Öncelikle cihazın sağladığı konum bilgileri test edilmiştir. Test kapsamında GPS sensöründen alınan konum bilgileri bir Android uygulaması ve Google Earth üzerinden karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda cihazın 1,297 m'lik kabul edilebilir bir hata ile konumu tespit ettiği görülmüştür. Ancak, tasarımdaki her bir halka arasındaki mesafenin 100 m olduğu dikkate alındığında bu değer oldukça önemsiz kalmaktadır.

Yerdeki testin ikinci aşamasında cihazın sağladığı irtifa bilgisinin doğruluğu araştırılmıştır. Yapılan testte cihazın gösterdiği irtifa değeriyle cihazın bulunduğu

konuma ait Google Earth'den elde edilen irtifa bilgisi kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama sonucunda Google Earth ile cihazın sağladığı irtifa değeri arasında 0,49 m'lik bir hata olduğu görülmüştür. Ortalama bir balon yüksekliğinin 25-30 m civarında olduğu düşünüldüğünde, 0,49 m'lik bir hata ile balonların birbirlerine göre irtifalarını tespit edebilmeleri kabul edilebilir bir hatadır.

Yerdeki testin üçüncü aşamasında hem cihazlar arasındaki haberleşmenin sağlıklı çalışıp çalışmadığı hem de birbirlerine göre eş zamanlı olarak konumlarının doğruluğu test edilmiştir. Tasarlanan cihazlardan bir tanesi test sırasında sabit bırakılıp, diğeri arayüzdeki her bir halka arasında kalacak şekilde belirli bir güzergahta hareket ettirilmiştir. Yapılan test sırasında hareketli cihaz 6 farklı konuma götürülerek eş zamanlı olarak her iki cihazdan ekran görüntüleri alınmıştır. Alınan bu ekran görüntüleri ile ilgili konumların Google Earth'deki konumları ve bunların sabit cihazın konumuna göre uzaklıkları tespit edilmiş ve ekrandaki intruder balonun konumu karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda her iki balonun kendi ekranındaki intruder balonun uzaklığını doğru bir şekilde gösterdiği tespit edilmiştir.

Yerdeki testler bu şekilde tamamlandıktan sonra tasarlanan cihazların gerçek bir balon uçuşunda test edilmesi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada öncelikle SHGM'den özel uçuş izni alınarak cihazların eş zamanlı uçan iki farklı balonda test edilmesi amaçlanmıştır. Ancak gerekli izinler alınamadığı için cihazları ticari uçuşlarda denemek zorunda kalınmıştır. Bu durumda da öncelikle iki ticari balon kiralanarak her iki cihazın balonda olması ve balonların pilotlar tarafından birbirlerine göre kontrol edilebilir bir irtifa ve yakınlıkta uçmaları sağlanmak istenmiştir. Ancak ticari uçuş gerçekleştirecek iki balonu kiralama bedeli 7200 €'yu bulduğundan normal bir yolcu olarak sadece bir balona binilmesine karar verilmiştir. Cihazlardan diğerrinin yerde bırakılma nedeni ise, uçuşların ticari olması nedeniyle iki balon pilotunun bizim isteklerimize göre uçuş gerçekleştiremeyeceklerini beyan etmesidir.

Ihlara Vadisi'nde yapılan ticari sıcak hava balonu uçuşlarında yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı test boyunca cihazlardan bir tanesi yerde bırakılmıştır. Test sırasında eş zamanlı olarak her iki cihazın ekranı görüntülenmiştir. Alınan ekran görüntüleri üzerindeki sayısal veriler alınarak Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'deki iki cihaz arasındaki gerçek irtifa farklarının yüzde cinsinden hata oranları incelendiğinde, balondaki cihaza göre ortalama hata % 0,22 olarak gerçekleşmiştir. Ancak yerdeki cihazda ortalama hata değeri % 2,37 olmuştur.

Testler sırasında cihazlar arasındaki yatay uzaklık değerleri sırasıyla 57, 153, 205 ve 484 m olduğunda bu değerlere bağlı olarak bir cihaz diğer cihaz ekranında sırasıyla 0-100, 100-200, 200-300 ve 400-500 m aralığında görüntülenmiştir. Ancak tasarlanan 500 m'lik yarı çap aşıldığında tasarım gereği cihazların göreceli konum ve irtifa bilgileri diğer cihazın ekranında görüntülenmemiştir.

Testler sırasında intruder balonun yatay uzaklığına bağlı olarak ekranda görüntülenme şekli ve renginin tasarlandığı gibi değiştiği gözlenmiştir. Intruder balon yatayda 100 m'den daha yakın olduğunda içi dolu kırmızı kare, 100-200 m arasındaki bir uzaklıktayken içi dolu sarı daire, 200 m'den daha uzaktayken ise içi dolu mavi elmas şeklinde görüntülenmiştir.

Cihazlar arasındaki yatay uzaklık değerinin 100 m'den az olması durumunda tasarlanan cihazların bir sistemin parçası gibi davranmak suretiyle kullanıcının bir tanesine CLIMB diğerine DESCENT tavsiyesi verdiği de testler sırasında gözlenmiştir.

Balon testi sırasında balondaki cihaz aktif edildiği irtifadan 50 ft'den fazla yükseldiğinde LANDING PROGRESS ifadesinin yerine FLIGHT PROGRESS ifadesinin geldiği görülmüştür. Ancak yerdeki cihaz irtifasında 50 ft'lik bir yükselme olmadığı için tasarım gereği LANDING PROGRESS ifadesinin test boyunca yer almaya devam ettiği görülmüştür.

Balon testleri sırasında cihazların tasarıma bağlı olarak diğer cihazın radyal bilgisini de doğru bir şekilde ekranında görüntülediği, her iki cihazın konum bilgileri dikkate alınıp bu konumların Google Earth'de işaretlenmesi ve birbirlerine göre kaç derecelik radyalde bulundukları tespit edilerek teyit edilmiştir.

Testler sırasında balondaki cihaz, balonun yere göre hızını sürekli olarak göstermiştir. Ancak bu gösterdiği değer, balonda bunu tespit edecek cihazın sürekli olarak pilot tarafından kullanılmasına bağlı olarak kayıt altına alınamaması nedeniyle teyit edilememiştir.

Bilindiği gibi normal bir sıcak hava balonu uçuşu sırasında telsiz haberleşmesi ve Flytec isimli cihaz kullanılmaktadır. Cihaz balonun anlık konumunu, irtifasını, hızını ve yönünü tespit edip kendi ekranında sunmaktadır. Ayrıca cihaz, uçuş boyunca sağladığı konum bilgilerini uçuş tamamlandıktan sonra bir yazılım aracılığıyla Google Earth üzerinden görüntülenmesini sağlayacak şekilde kaydeder. Bu cihazın en büyük dezavantajı, diğer balonlardaki cihazlarla herhangi bir haberleşme yapmaması nedeni ile

yaşanacak bir balon trafiğinin bilgisini pilota sunamaması ve dolayısıyla iki balonun temas etmesi sonucunda yaşanabilecek kazaların önlenmesine yardımcı olamamasıdır.

Bu açıdan bakıldığında mevcut durumda sıcak hava balonlarının özellikle kubbe-sepet şeklinde birbirleriyle teması nedeniyle yaşanacak kazaların önlenmesine yönelik bir uyarı cihazı ya da sistemi bulunmamaktadır. Bu nedenle, tez kapsamında balonlara yönelik olarak tasarlanan ve gerçekleştirilen bu sistem önemli bir boşluğu dolduracak ve olası kazaların önlenmesine büyük katkı sağlayacaktır. Ayrıca bu çalışma uçaklardaki TCAS sisteminden farklı olarak Raspberry Pi sistemi ve sensör modüllerinin kullanımıyla sıcak hava balonları için basit ve uygun maliyetli bir TCAS ortaya koymakta ve bu alanda örnek teşkil etmektedir.

Sonuç olarak, tasarlanan cihazın balonlara yönelik bir TCAS sistemi gibi kullanımının mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Cihazın küçük boyutlu olması, her balonda rahatlıkla kullanılabilmesini sağlamaktadır.

6.2.Öneriler

Geliştirilen bu sisteme anlık konum bilgilerinin sürekli kaydedilmesi özelliği eklenerek Flytec isimli cihazın sunmuş olduğu uçuş sonrasında uçuş rotasının incelenmesi özelliği kazandırılabilir. Bu sayede Flytec isimli cihazdan daha iyi bir ticari ürün ortaya konulabilir.

Mevcut durumda cihaz yere yaklaşım sırasında önceden kodlanmış olan irtifa değerine göre iniş uyarısı vermektedir. Ancak balonlara eklenecek bir radio altimetre ve cihazda yapılacak bir modifikasyonla balonun kalkış yaptığı yerden farklı bir konuma inişi sırasında zeminle olan irtifası rahatlıkla izlenebilir. Veya uçaklardaki EGPWS'de olduğu gibi belirli periyotlarda güncellenecek bir topografik harita bilgisi cihaza eklenerek, o konuma ait rakım bilgisi sayesinde arazi yaklaşım uyarısı verdirilebilir.

Cihaz içerisine uçuş verilerinin kaydedilmesi sağlanabilir. Takip için bir yer istasyonu oluşturularak, herhangi bir kaza/kırım olayında uçuş veri kaydedicisi (Flight Data Recorder, FDR) olarak kullanılabilir. Bu, herhangi bir balon kazası sonrasında yapılacak araştırmalarda, kazanın nedenine yönelik tasarlanan sistemden faydalı verilerin alınmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Acarbay, C., 2014, Deneysel Uçuş Gösterge Sistemi Tasarımı ve Benzetimi, M.Sc, *Anadolu University (Turkey)*, Turkey, 193.
- Armenise, M. N., Ciminelli, C., Dell'Olio, F. ve Passaro, V. M., 2010, Advances in gyroscope technologies, Springer Science & Business Media, p.
- Britannica, 2024, The Editors of Encyclopaedia "balloon", <https://www.britannica.com/technology/balloon>. Accessed 6 November 2024: [30.12.2024].
- Chappell, S. L., 1990, Pilot Performance Research for TCAS, *SAE Transactions*, 99, 2408-2425.
- Chengdu, E. E., 2020, E220-900T22D User Manual, Chengdu Ebyte Electronic Technology Co., Ltd., p. 22.
- Clark, R., and Minh Nguyen, 2021, Sustainable Tourism and the Role of Eco-Friendly Transport. Oxford: Oxford University Press. 2021.
- Cumhuriyet, 2022, 2 turistin öldüğü Kapadokya'daki 'balon' kazasında pilot tutuklandı, <https://www.cumhuriyet.com.tr/turkiye/2-turistin-oldugu-kapadokyadaki-balon-kazasinda-pilot-tutuklandi-1993861>: [19.10.2022].
- Doe, J., Brown, A., & Lee, C. , 2017, Challenges in Detecting Slow-Moving Aerial Objects with Radar., *Aviation Technology Review*.
- Doe John ve Sarah, J., 2019, Navigational Instruments in Modern Aviation." *Journal of Aeronautical Sciences*.
- FAA, 2000. Installation of Terrain Awareness and Warning System (TAWS) Approved for Part 23 Airplanes p.
- Ferguson, T., 2022, Ground Proximity Warning System (GPWS) - A comprehensive analysis.
- Folarin, K. D., 2021, Tenerife Airport Disaster, 1-4.
- Hu, J., 2015, Research Progress in Visualized Aeronautical Chart for Early Warning of Low-Altitude Flight, *International Conference on Logistics Engineering, Management and Computer Science (LEMCS 2015)*, 1545-1550.
- Hueschen, R. M., 1994, Modeling of Instrument Landing System (ILS) Localizer Signal on Runway 25L at Los Angeles International Airport, National Aeronautics and Space Administration, Langley Research Center, p.
- Johnson, E. ve Mark, T., 2020, Control Systems for Autonomous Vehicles, *Newyork*, Springer, p.

- Jones, B. ve Brown, C., 2019, Environmental Factors Affecting Hot Air Balloon Safety., *Journal of Aerospace Engineering*, 30, 198-210.
- Kafalı, H. ve Keskin, G., 2019, Sıcak Hava Balonlarında Bakım Prosedürleri.
- Kaiser, U. ve Steinhagen, W., 1995, A low-power transponder IC for high-performance identification systems, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 30 (3), 306-310.
- Khalel, A. M., 2010, Position location techniques in wireless communication systems.
- Kılıç, B., 2020, The analysis of hot-air balloon accidents by human factor analysis and classification system, *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 13 (1), 17-24.
- Kochenderfer, M. J., Holland, J. E. ve Chryssanthacopoulos, J. P., 2012, Next generation airborne collision avoidance system, *Lincoln Laboratory Journal*, 19 (1), 17-33.
- Laxminarayan, N., Lokeshwaran, G., Murugan, K. ve Jothilakshmi, V., 2022, Design of Conformal Antenna For Aircraft Applications, *International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS 17)*, 1-2.
- Lobo, V., 2023, "Raspberry Pi 7-inch Touchscreen Display: The Complete Guide." MakeUseOf, 2023. makeuseof.com., [30.12.2024].
- Market, S., 2024, <https://market.samm.com/raspberry-pi-li-polimer-pil-hat-5v-cikis-hizli-sarj>, <https://market.samm.com/raspberry-pi-li-polimer-pil-hat-5v-cikis-hizli-sarj>: [30.12.2024].
- Miller, B., and Jonathan Thompson, 2018, Environmental Monitoring with Hot Air Balloons: A Low-Cost Approach." *Journal of Environmental Monitoring* 32.
- Montgolfier, J. M., E. , 1783, The First Aerostatic Experiments, *History of Ballooning*.
- Raspberrypi, 2024, Raspberry pi 4, p. 4.
- Robolinkmarket, 2024, <https://robolinkmarket.com/raspberry-pi-4-lisansli-guc-adaptoru-5v-3a-type-c-beyaz>, [30.12.2024].
- Robotistan, 2024a, Raspberry Pi 4 8GB, <https://www.robotistan.com/raspberry-pi-4-8gb-yeni-versiyon?src=raspberrypi>: [30.12.2024].
- Robotistan, 2024b, <https://www.robotistan.com/raspberry-pi-7inc-dokunmatik-ekran>, [30.12.2024].
- Robotistan, 2024c, Ublox GYGPSV1 NEO-8M GPS Modülü, <https://www.robotistan.com/ublox-gygpsv1-gps-modulu>: [30.12.2024].
- Robotus, 2024, MPU6050 6 Eksen İvme ve Gyro Sensörü - GY-521, <https://www.robotus.net/mpu6050-6-eksen-ivme-ve-gyro-sensoru-gy-521>: [30.12.2024].

- Semtech, 2023, "SX1262 LoRa Transceiver." Semtech, 2023. semtech.com., [30.12.2024].
- SHGM, 2005, Balonla Ticari Havacılık Faaliyetleri Talimatı (SHT-BALON Rev.3), [10.11.2005].
- Smith, A., Jones, B., & Williams, C. , 2018a, Analyzing Hot Air Balloon Accidents: Causes and Preventive Measures., *International Journal of Aviation Science*, 145-158.
- Smith, J., 2018b, History of Aviation: From Balloons to Jets (New York: HarperCollins, 2018), 45.
- Taylor, C., 2017, The Use of Hot Air Balloons in Advertising: A Visual Impact Study." *Marketing and Advertising Review* 22.
- tinyosshop, 2024, https://www.tinyosshop.com/index.php?route=product/product&product_id=765 : [30.12.2024].
- Upton, E., and Gareth Halfacree., 2016, Raspberry Pi User Guide. 4th ed. Chichester: Wiley, 2016.
- UTED, 2018, Yardımcı Radar Fonksiyonları, <https://web.archive.org/web/20200706151600/https://uteddergi.com/yardimci-radar-fonksiyonlari/>: [12.01.2024].
- WaveShare., 2024, "Raspberry Pi Li-Po Battery." WaveShare, 2024. waveShare.com., [30.12.2024].
- Wilson, P., 2020, Integration of Lidar and Radar for Hot Air Balloon Collision Avoidance.