



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN KONTROL SİSTEMİNİN
TASARIMI VE GERÇEKLENMESİ

AHMET EREN KÜRPE

031911506

MÜHENDİSLİK TASARIMI 1

BURSA 2023

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN KONTROL SİSTEMİNİN
TASARIMI VE GERÇEKLENMESİ

AHMET EREN KÜRPE

031911506

Projenin Danışmanı : Doç. Dr. Sait Eser KARLIK

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu Bitirme Projesi çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri, akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları, bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda, ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü üniversitemde veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

Tarih

İmza

Ad-Soyad

Danışmanlığında hazırlanan Bitirme Projesi çalışması, tarafımdan kontrol edilmiştir.

Tarih

İmza

Öğretim Üyesi/Elemanı (Ünvan, Ad-Soyad)

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN KONTROL SİSTEMİNİN TASARIMI VE GERÇEKLENMESİ

ÖZET

İnsansız hava araçları konusundaki çalışmalar pil ve mekatronik teknolojisinin gelişmesi ile birlikte 2002'den bu yana yüksek bir ivme ile artış göstermiştir. Bu çalışmasının konusu İnsansız Hava Araçlarında Kontrol sisteminin taslanması ve tasarlanan bu sistemin gerçekleştirilmesidir. Tasarım kapsamında öncelikle İnsansız Hava araçlarının ne olduğuna ve kontrol yöntemlerine yer verilmiştir. Daha sonra benzer kumanda sistemleri araştırılarak literatür taraması yapılmıştır. Yapılan taramadan sonra ihtiyaç parametreleri ve isterler çıkartılarak tasarım kısmına geçilmiştir. Tasarım kısmında kumanda ve alıcı kartlarının giriş çıkışları belirlenip devre şeması hazırlanmıştır. Hazırlanan şemadan sonra PCB tasarımına geçilip malzeme temini yapılmaya başlanmıştır. Malzeme temininden sonra üretim aşamasına geçilmiştir. Gerçeklenen tasarımdan sonra menzil ve veri aktarım hızı testleri yapılmıştır. En son gerçekleştirilen kontrol devresinin sonuçları tartışılmış ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

CONTROL SYSTEM FOR UNMANNED VEHICLES DESIGN AND REALIZATION

ABSTRACT

Studies on unmanned aerial vehicles have increased rapidly since 2002 with the development of battery and mechatronics technology. The subject of this study is the drafting of the Control system in Unmanned Aerial Vehicles and the implementation of this designed system. Within the scope of the design, firstly, what Unmanned Aerial vehicles are and their control methods are included. Then, similar control systems were searched and a literature review was made. After the scanning, the need parameters and requirements were removed and the design part was started. In the design part, the inputs and outputs of the control and receiver cards were determined and the circuit diagram was prepared. After the prepared schema, PCB design was started and material procurement was started. After the material supply, the production phase was started. After the realized design, range and data transfer rate tests were carried out. The results of the last implemented control circuit are discussed and suggestions for future work are presented.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2. İnsansız Hava Aracı (İHA) nedir?.....	1
1.3. İHA Kontrol Sistemi nedir?.....	2
1.4. İHA Kontrol Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	3
1.4.1 Tam Otonom Otomatik Kontrollü Sistemleri.....	3
1.4.2 Yarı Otonom Destekli Kontrol Sistemleri.....	3
1.4.3 Manuel Kumanda Kontrollü Sistemler.....	4
1.4.4 Karma Kontrollü ve Yer İstasyonlu Sistemler.....	4
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	6
2.1 Kontrol Sistemi Kumandalarının Araştırılması.....	6
2.2 Piyasada Bulunan Kumandaların Özelliklerinin Araştırılması.....	7
3. KULLANICI İHTİYAÇLARI VE SİSTEM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ.....	11
3.1. Kablosuz Haberleşme.....	11
3.2. Telemetry Bilgi Aktarımı.....	11
3.3. Sayısal Haberleşme.....	11
3.4. Kanal Sayısı.....	12
3.5. Kontrol Arayüzü.....	12
4. SİSTEMİN TASARIMI.....	13
4.1. Kumanda Sisteminin Giriş-Çıkışlarının Belirlenmesi.....	13
4.1.1. Kumanda Kartının Giriş Çıkışlarının Belirlenmesi.....	13
4.1.2. Alıcı Kartının Giriş Çıkışlarının Belirlenmesi.....	14
4.2. Kumanda Sisteminin Blok Şemasının Oluşturulması.....	15
4.3. Kumanda Sisteminin Şematik Çizimi ve Malzeme Seçimi.....	16
4.4. Kumanda Sisteminin PCB Çizimi.....	17
5. TASARLANAN SİSTEMİN GERÇEKLENMESİ.....	21
5.1. Elektronik Devre Elemanları Malzeme Listesi.....	21
5.2. Devre Kartı Baskı ve Dizgisi.....	21
6. GERÇEKLENEN SİSTEMİN TEST EDİLMESİ.....	24
6.1. Donanım Kontrol Testleri.....	24
6.2. Programlama ve Haberleşme Testleri.....	24
6.3. Mesafe ve Performans Testleri.....	25

6.4.	Ürün Özellikleri.....	27
6.5.	Maliyet Analizi.....	28
7.	SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	29
8.	EKLER.....	30
9.	KAYNAKLAR.....	32
10.	TEŞEKKÜR.....	33
11.	ÖZGEÇMİŞ.....	34

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Döner Kanatlı İHA Dönme ve Hareket Vektörleri.....	1
Şekil 1.2.	Sabit Kanatlı İHA Dönme ve Hareket Vektörleri.....	1
Şekil 1.3.	İHA Yer İstasyonu Örnekleri.....	4
Şekil 1.4.	İHA Örnek Yer İstasyonu Yazılımı.....	5
Şekil 2.1.	Örnek Kumanda Özellikleri.....	6
Şekil 2.2.	FLYSKY Kumandası.....	7
Şekil 2.3.	FLYSKY Alıcısı.....	7
Şekil 2.4.	Taranis Kumanda ve Alıcısı.....	8
Şekil 2.5.	Futaba Kumanda ve Alıcısı.....	10
Şekil 4.1.	İHA Kumanda Sisteminin Blok Şeması.....	15
Şekil 4.2.	Kumanda ve Alıcı Mikro Denetleyici Şematiği.....	16
Şekil 4.3.	FTDI Programlayıcı Şematiği.....	17
Şekil 4.4.	Kablosuz Haberleşme Modülü Şematiği.....	17
Şekil 4.5.	Kumanda Kartı PCB Çizimi (Ön Yüz).....	18
Şekil 4.6.	Kumanda Kartı PCB Çizimi (Arka Yüz).....	18
Şekil 4.7.	Alıcı Kartı PCB Çizimi (Ön Yüz).....	19
Şekil 4.8.	Alıcı Kartı PCB Çizimi (Arka Yüz).....	19
Şekil 4.9.	Alıcı Kartı 3 Boyutlu Çizimi (Arka-Ön Yüz).....	20
Şekil 4.10.	Kumanda Kartı 3 Boyutlu Çizimi (Ön Yüz).....	20
Şekil 5.1.	PCB Alıcı ve Verici Kartları (ön).....	22
Şekil 5.2.	PCB Alıcı ve Verici Kartları (arka).....	23
Şekil 5.3.	PCB Alıcı ve Verici Kartları (arka).....	23
Şekil 6.1.	Kablosuz Haberleşme Modülü Bağlantısı.....	24
Şekil 6.2.	Veri Paketi – İletim Süresi Grafiği.....	25
Şekil 6.3.	Mesafe-1/Hız Grafiği.....	26
Şekil 6.4.	Testin Yapıldığı Konum.....	26

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1 FS-i Kumanda ve Alıcı Özellikleri Çizelgesi.....	8
Çizelge 2.2 Taranis Kumanda ve Alıcı Özellikleri Çizelgesi.....	9
Çizelge 2.3 Futaba Kumanda ve Alıcısı Özellikleri.....	10
Çizelge 4.1 Kumanda Kartının Giriş Çıkış Parametreleri.....	14
Çizelge 4.2 Alıcı Kartının Giriş Çıkış Parametreleri.....	14
Çizelge 5.1 Kumanda Elektronik Malzeme Listesi.....	21
Çizelge 5.2 Alıcı Elektronik Malzeme Listesi.....	22
Çizelge 6.1 Lora Modülü Yapılandırma Çizelgesi.....	25
Çizelge 6.2 Kumanda Özellikleri Çizelgesi.....	27
Çizelge 6.3 Optimum Maliyet Çizelgesi.....	28

1. GİRİŞ

Bu bölüm sonraki kısımların daha iyi anlaşılabilmesi için İnsansız Hava Araçları, hareket vektörleri, kontrol yöntemleri, kontrol yöntemlerinin birbirleri ile kıyaslanması ve temel literatür bilgileri içermektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada uçuş modlarını ve Karma Kontrollü uçuşu destekleyen uçuş kontrol ve kumanda sistemi tasarlanması ve gerçekleşmesi amaçlanmaktadır. Kumanda sistemlerinde karşılaşılan eksikleri gidermek ve geliştirilebilir bir yapı oluşturmak için sıfırdan yapılan bir tasarımı amaçlamaktadır. Bu tasarımın kapsamında tasarlanan sistemin gerçekleştirilmesi tüm İHA'lar üzerinde kullanılabilir olurken Sivil Havacılığa yönelik kullanılması planlanmıştır.

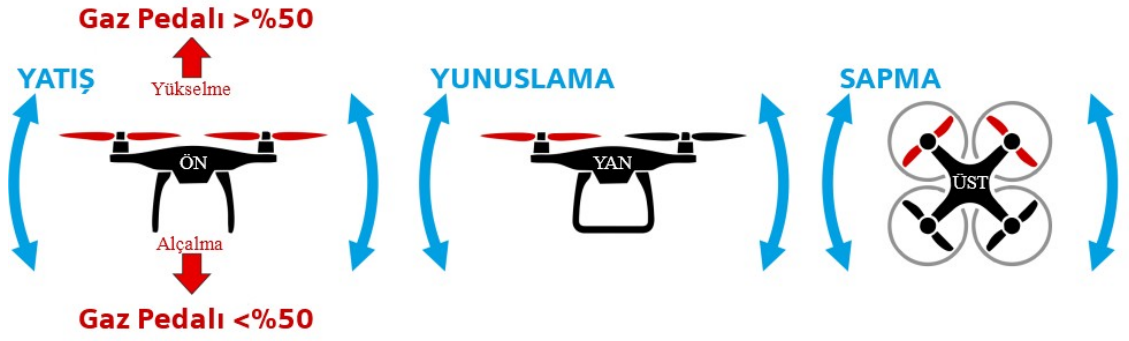
1.2. İnsansız Hava Aracı (İHA) nedir?

İnsansız Hava Aracı (İHA) içerisinde pilot veya yolcu olarak insan bulunmayan belirli bir amaca uygun tasarlanan, tasarlanan amaca uygun ekipman veya ekipmanlar bulunduran otomatik, yarı otomatik veya uzaktan kumanda ile görevini gerçekleştiren hava uçuşu yapabilen araçlardır. Askeri, sivil, ticari, bilimsel amaca yönelik tasarlanmış çok fazla şekil yapısı ve boyutlarda insansız hava araçları bulunmaktadır. Son yıllarda insansız hava araçlarının kullanımının artması otomatik, yarı otomatik ve uzaktan kumandalı kontrollerinin yanı sıra birden fazla insansız hava aracının birbirleri ile haberleşerek sürü veya karma sürü mantığı ile görevlerini icra edebilmektedir. İHA'lar gerek sivil alanda hava fotoğrafçılığı, arazi taraması, ve haritalandırma gibi hava görevleri için manuel uçaklardan daha az maliyetli ve kullanışlı olmasının yanı sıra tarım ilaçlama alanlarında kara araçları yerine de daha az maliyetli bir seçenek olarak kullanılmaktadır. Aynı durum askeri alanda da gün geçtikçe savaş uçakları ve arazi tarama, belirli askeri ekipmanlarla veya silahlarla donatılıp Silahlı İnsansız Hava Aracı

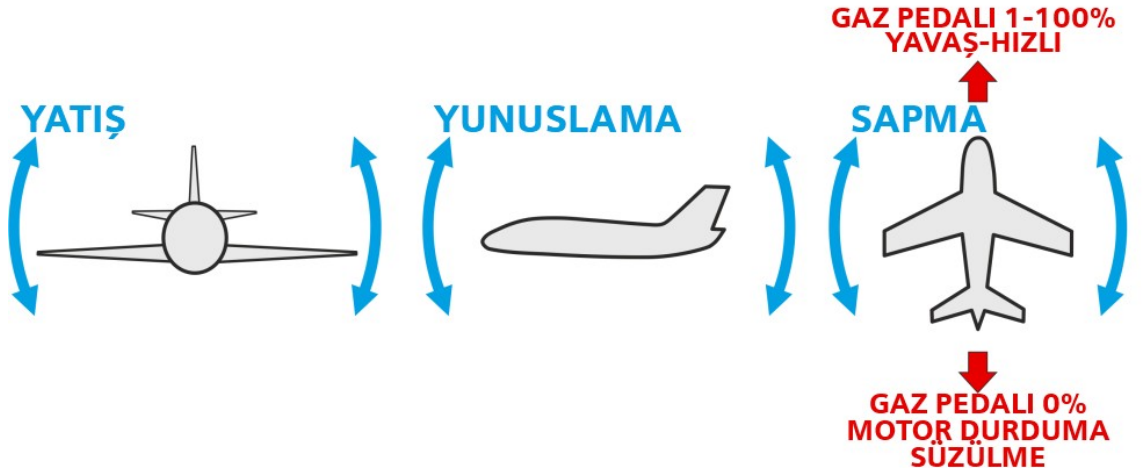
(SİHA) olarak savunmada kullanılmaktadır. Bu örneklerdeki gibi daha uygun maliyetleri ile çoğu alanda ön plana çıkmaya devam etmektedir.

1.3. İHA Kontrol Sistemi nedir?

İHA'ların muhafaza altına alınması ve görevlerini doğru icra edebilmesi için bir kontrol sistemi gerekmektedir. Bu sistem, İHA'yı yönlendirmek, havada tutmak ve olması gerektiği hareketleri yürütmek için kullanılmaktadır. Kontrol sistemi, İHA'nın havalanmasını havadaki belirli hareketlerin kontrolünü sağlamaktadır.



Şekil 1.1 Döner Kanatlı İHA Dönme ve Hareket Vektörleri



Şekil 1.2 Sabit Kanatlı İHA Dönme ve Hareket Vektörleri

İHA kontrol sistemleri Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de de gösterilen Hızlanma, Yatış, Yunuslama ve Sapma hareketleri üç boyutlu uzayda hareketini sağlamaktadır. Uzaktan kumandalı kontrol sistemlerinde şekillerde belirlenen hareketlerin kontrol edilmesi ile

pilot için kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca bu hareketler ile havalandırma organları değiştiğinde de havadaki konumunun, yönlendirilmesinin yönetilmesine imkan tanımaktadır. Bu durumda farklı çeşitlerde tasarlanmış İHA'ların da kolaylıkla kontrol edilebilmesine imkan tanımaktadır.

1.4. İHA Kontrol Sistemlerinin Sınıflandırılması

Bu başlıkta İnsansız Hava Araçlarının Kontrol Sistemleri Tam Otonom, Yarı Otonom ve Manuel sistemler olmak üzere üç bölümde incelenmiştir. İncelenen bu sistemlerden sadece birinin kullanılması ile de yeterli bir kontrol sağlayabilirken tek bir İHA üzerinde hepsinin de kullanılabilmesi mümkündür. Genellikle bu kontrol sistemleri uçuş modları olarak belirlenerek yapılması gereken göreve göre değiştirilebilmesi daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.4.1. Tam Otonom Otomatik Kontrollü Sistemleri

Tam Otonom yani Otomatik Kontrollü Sistemler uçuşu kontrol edebilmesi için elektronik uçuş kontrol kartları veya uçuş kontrol bilgisayarları kullanmaktadır. Uçuş sırasında doğru kontrolü sağlayabilmesi için çeşitli çevre algılayıcıları kullanarak bulunduğu durumlar hakkında çıkarımlar yapmaktadır. Havadaki açısını ve ivmesini ölçebilmek adına elektronik jiroskop ve ivme ölçer gibi algılayıcılardan oluşan atalet ölçüm birimlerini kullanırken belirli bir noktaya gidip belirlenen görevleri icra edebilmesi coğrafi konum, yükseklik, konum ve yön referans sistemlerini de birlikte kullanarak otonom uçuşu kontrol edebilmektedir. Kontrol kumandasına ihtiyaç duymadığı için bağlantı kopması veya menzil sorunu bulunmamaktadır.

1.4.2. Yarı Otonom Destekli Kontrol Sistemleri

Yarı Otonom yani Destekli Kontrol Sistemleri pilotun uçuşu daha kolay kontrol edebilmesi için İHA'yı durağan bir halde tutmaya çalışmaktadır. Özellikle Döner Kanatlı İHA'ların manuel olarak kontrolü oldukça zor olduğu için manuel yerine yarı

otonom olarak kontrol edilmektedir. Atalet ölçüm birimleri ile dengede tutulmaya çalışan İHA pilot tarafından sadece yön vektörleri (Şekil 1.1) kumanda edilerek kontrol edilmektedir. Uçuş için kumanda zorunluluğu olduğu için uçuş menzili kumanda menziline bağımlı olmaktadır. Kumanda bağlantısı kesilmesi durumunda da yarı otonom sistem İHA'yı durağan bir halde tutacağı için kırım riski düşüktür.

1.4.3. Manuel Kumanda Kontrollü Sistemler

Manuel Kumanda Sistemlerinde kontrol tamamen pilotta olmaktadır. Bu durum da elektronik karmaşıklık ve elektronik arıza ihtimali daha düşük olurken görev başarısı tamamen pilotun elinde olmaktadır. Uçuş menzili kumanda sisteminin menziline bağımlıdır. Uçuş organları ve kontrol eksenleri arttıkça kontrol zorlaşmaktadır. Kumanda bağlantısının kopması durumu uçuşu tehlikeye sokarken kırım riski çok yüksektir.

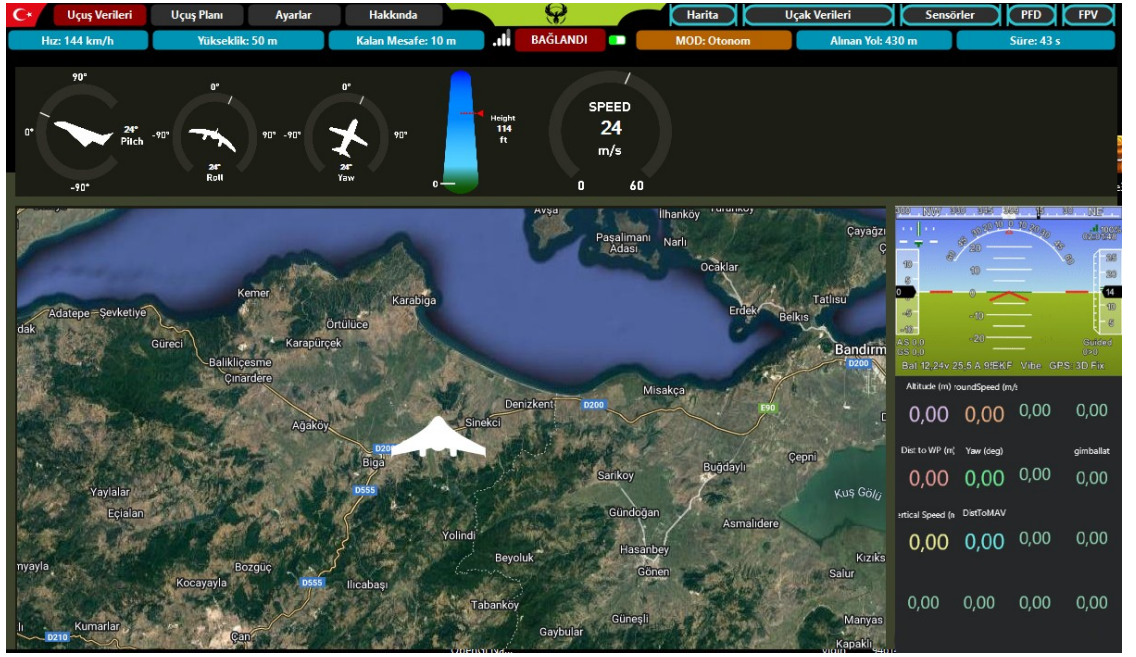
1.4.4. Karma Kontrollü ve Yer İstasyonlu Sistemler

Günümüzde en çok kullanılmakta olan Karma Kontrollü sistemler Otonom, Yarı Otonom, Manuel Kontrolleri bünyesinde uçuş modları olarak bulundurunurken bunun yanında farklı uçuş modlarında bulundurmaktadır. Bu modlar İHA'ya göre farklılık gösterebilmektedir. Bazı modlar tamamen otomatik gerçekleştirilen görevler olarak belirlenebilirken bazı modlar sürüşü değiştirmektedir. Yer istasyonları İHA üzerindeki algılayıcı ve kayıtları gösterip, yapılandırabilip, uçuş görevi oluşturabilmektedir



Şekil 1.3 İHA Yer İstasyonu Örnekleri

Yer istasyonunda İHA ile iletişimi sağlayan çevre birimleri ile haberleşerek sistemin ve görevin hazırlanmasını, incelenmesini sağlayan yazılıma yer istasyonu yazılımı olarak adlandırılmaktadır. Yer istasyonuna aktarılan verilerin kayıtlarını tutarken İHA'nın temel ayarlarının değiştirilebilmesini sağlamaktadır. Varsa İHA üzerindeki kameraların görüntülenmesini kameralar arasında geçiş yapılmasını sağlamaktadır.



Şekil 1.4 İHA Örnek Yer İstasyonu Yazılımı

Yer istasyonu yazılımlarında sıklıkla kullanılan atalet bilgilerinin görselleştirildiği PFD (Primary Flight Display) Birincil uçuş ekranı bulundurmaktadırlar. Bu ekran üzerinden tüm atalet, pusula, yükseklik ve hız verilerine ulaşmak mümkün olmaktadır. Uçuş modlarının yapılandırılmasının yanı sıra Kontrol kumandasında bu modların geçişini sağlayacak bir arayüz bulunmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde İHA kontrol sisteminin Sivil Havacılıkta sıklıkla kullanılan örnekleri araştırılmıştır. Bu örneklerin özellikleri incelenecektir.

2.1.Kontrol Sistemi Kumandalarının Araştırılması



Şekil 2.1 Örnek Kumanda Özellikleri

İHA Kontrol Sistemi Kumandaları sıklıkla birbiri ile kablosuz haberleşen 2 kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan biri yerde veya yer istasyonunda bulunarak pilotun İHA'yı kontrol edebileceği bir panel bulundurmaktadır. Bu panel kullanıcı arayüzü olarak ta adlandırılmaktadır. Diğeri ise İHA üzerinde bulunan doğrudan kullanıcı arayüzünden girilen verilerin İHA'ya aktarılmasını sağlayan sistemdir Kumanda alıcısı olarak ta adlandırılmaktadır. Kullanıcı arayüzünden alınan veriler kumanda sistemi tarafından işlenerek İHA üzerindeki alıcı kısma gönderilmektedir. Alıcı kısmı İHA'nın aviyonik sistemlerini kontrol edebilirken uçuş kontrol kartı bulunduran sistemlerde uçuş kontrol kartı ile haberleşmektedir. Kumanda ile alıcı arasındaki haberleşme bazı sistemlerde tek yönlü olurken bazı sistemlerde iki yönlü bir haberleşme söz konusu olmaktadır. Bu sistem çalışırken gerek sayısal gerek kablosuz olmak üzere çok sayıda haberleşme protokolü kullanılmaktadır.

2.2. Piyasada Bulunan Kumandaların Özelliklerinin Araştırılması

Tasarlanacak kumandaya göre farklı markalarda olacak şekilde piyasada bulunan birkaç kumanda ve alıcılarının özellikleri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarında farklı markalarda da benzerlik gösteren özellikler sistem parametrelerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.



Şekil 2.2 FLYSKY Kumandası



Şekil 2.3 FLYSKY Alıcısı

Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te görüldüğü gibi mekanik ayarlı kablosuz alıcı verici FS-IA6B ve FS-IA6 kumanda sistemi örneğidir. 6 Kanal aynı anda 6 PWM sinyali iletebildiği anlamına gelmektedir. Bu sebeple daha fonksiyonel olan İHA'lar için uygun olmamaktadır.

Çizelge 2.1 FS-i Kumanda ve Alıcı Özellikleri Çizelgesi

FS-i6 Verici Kumanda Özellikleri:	FS-iA6B Alıcı Özellikleri:
Ürün Modeli: FS- i6	Ürün Modeli: FS-iA6B
Kanallar: 6 Model: sabit kanat / planör / helikopter / tekne	PWM kanalı: 6
Kablosuz frekans: 2,4 GHz	Kablosuz frekans: 2,4 GHz
İletim gücü: <20 dBm	Kablosuz protokol: AFHDS 2A
Kablosuz protokol: AFHDS 2A	Menzil: 500 ~ 1500m (havada)
Menzil: 500 ~ 1500m (havada)	Anten tipi: Çift bakır boru anten (150mm * 2)
Kanal çözünürlüğü: 4096	Güç: 4.0-8.4V
Pil: 1.5AA * 4	RSSI: Desteklenir
Şarj bağlantı noktası: Yok	Veri bağlantı noktası: PWM / PPM / i.bus / s.bus
Alçak gerilim alarmı: < 4.2V	Sıcaklık aralığı: -10 °C — + 60 °C
Anten tipi: çift anten	Nem aralığı: %20 - %95
Ekran: STN transflektrik ekran, LCD 128x64 nokta vuruşlu,	Çevrimiçi Güncelleme: Evet
Dil: Çince ve İngilizce	Boyutlar: 47*26.2*15mm
Veri bağlantı noktası: PS / 2 (PPM)	Ağırlık: 10g
Uzaktan Kumanda Rengi: Siyah	
Boyutlar: 174x89x190mm	
Ağırlık: 392g	



Şekil 2.4 Taranis Kumanda ve Alıcısı

Çizelge 2.2 Taranis Kumanda ve Alıcı Özellikleri Çizelgesi

Taranis Kumanda Verici Özellikleri:
Klasik Taranis form faktörü tasarımı
Kolay başlatma anlık düğmesi
Program gezinme düğmesi
Yüksek hızlı modül dijital arayüz
ACCESS protokolü ile kuruldu
Spektrum analizörü işlevini destekler
SWR göstergesi uyarısını destekler
G9D potansiyometre gimbal
Dokunsal titreşim uyarıları ve sesli konuşma çıkışları
Kablolu eğitim işlevini destekler
Boyut: 200 * 194 * 110mm (L * G * Y)
Ağırlık: 670g (pilsiz)
İşletim sistemi: OpenTX
Kanal sayısı: 24 kanal
Dahili RF modülü: ISRM-S-X9
Çalışma voltajı aralığı: 6.5 – 8.4V
Çalışma akımı: 130mA@8.2V (Tip)
Çalışma Sıcaklığı: -10 °C ~ 60 °C (14 °F ~ 140 °F)
Arkadan aydınlatmalı LCD çözünürlüğü: 212 * 64
Akıllı Bağlantı Noktası, Micro SD kart yuvası ve DSC Bağlantı Noktası
Mini USB arayüzü: 2S Li-pil dengeleme şarjını destekler
Model anıları: 60 model (Micro SD kart ile genişletilebilir)

Taranis Kumanda Alıcısı Özellikleri;

X8R, önceki 8 kanal alıcısından daha küçük bir pakette, ancak çok daha fazla kapasiteye sahiptir. Yeni SmartPort özelliği ile, yeni çekirdeksiz algılayıcıları ve eski çekirdek analog algılayıcılarını destekler. X8R, 8 adet servo çıkışını destekler ayrıca SBUS hattını SBUS destekli servolar ile veya FrSky S.BUS kullanarak 16 kanalın tümüne erişilebilmektedir. Tam 16 kanal için SBUS kod çözücü ile veya 2 adet X8R alıcısını birlikte kullanarak ta erişilebilmektedir. Kanallar ilkinde 1-8 ve ikincisinde 9-

16'yı senkronize edecektir. OpenTX işletim sistemi tamamen yazılıma müdahale etmeye izin veren bir işletim sistemidir.



Şekil 2.5 Futaba Kumanda ve Alıcısı

Çizelge 2.3 Futaba Kumanda ve Alıcısı Özellikleri

- Futaba Kumanda ve Alıcısı Özellikleri;
- Futaba S-FHSS 2.4 GHz güvenlik (ayrıca FHSS uyumlu)
- Model verilerini kablosuz olarak bir 8J'den diğerine aktarır
- Yalnızca FHSS modunda 4 kanal
- R2008SB alıcısı 8 PWM kanalı, S.Bus ve HV özelliği ve Çift Anten Çeşitliliği
- Uçak ve helikopter modları
- 10 karakter modeli ve kullanıcı adlandırma ile 20 model hafızası
- Geniş, arkadan aydınlatmalı LCD ekran (128 x 64 nokta) 8 kanal (bir değişken düğme, beş 2 konumlu anahtar, iki 3 konumlu anahtar, bir anlık anahtar ve iki dijital kolları)
- 8 kanalın hepsinde arıza
- Kolay jog dial ve üç düğmeli programlama
- Aux kanalı anahtarı / seviye atanabilirliği
- Futaba Kumanda Uçak Modu Özellikleri;
- 6 Programlanabilir Karışımlar Yapış Rulo
- Diferansiyel Hız Asansör / Flep Karışımına Sahip Flaperonlar
- Kapak Döşeme Havalı Fren / İniş
- Diferansiyel Aileronlar Aileron / Dümen Karıştırma
- V-Tail Karıştırma Kanatçığı / Asansörlü Karıştırma
- Eleven Gyro Hassasiyeti
- Ailevator Gaz Kelebeği Eğrisi (beş puan)
- Gaz Kelebeği İğne Karıştırma (beş puan) Gaz Kelebeği Gecikmesi
- Boşta Durma (herhangi bir anahtar seçilebilir)

3.KULLANICI İHTİYAÇLARI VE SİSTEM PARAMETRELERİNİN

Bu bölümde tasarım için dikkat edilmesi gereken özelliklerin ve isterlerin belirlenmesi, hedeflenen özelliklerin belirlenmesi hakkında bilgiler verilmektedir.

3.1. Kablosuz Haberleşme

Kablosuz haberleşme, yüksek menzille ve kararlı bir şekilde çalışabilmesi için sistemin en önemli parametrelerinden biri olmaktadır. Bu parametrelerin belirlenmesinde en önemli tercihlerden biri olan çalışma frekansı ve kablosuz haberleşme protokolü ile başlanacaktır. Şehir içi kullanımlarda 2.4GHz frekansında kullanılan kumandalar yüksek gürültüye maruz kalmaktadır. Bunun yanında Türkiye frekans tahsis şemasında dikkate alınarak yasal bantlarda olacak şekilde belirlenmelidir.

3.2. Telemetry Bilgi Aktarımı

Sistem kontrol verilerinin dışında daha sonradan programa eklenip özelleştirilebilecek veri paketlerinin kullanımına izin vermelidir.

3.3. Sayısal Haberleşme

Sayısal Haberleşme olarak Taranis ve Futaba modellerinde bulunduğu gibi birçok otopilot kartı ile de haberleşebilen SBUS protokolü bulunmalıdır. Ayrıca otopilot kartı kullanılmadan tasarlanmış manuel kontrollü İnsansız Hava Araçları için de PWM haberleşme limanları bulunmalıdır. Bunun yanında tercih edilecek mikro denetleyiciye göre geliştirilebilir giriş çıkışlar bırakılmalıdır. Harici sistemlerle haberleşebilmesi açısından Seri USB arayüzü bulundurulmalıdır. Aynı şekilde benzer ürünlerde eğitimci modu olarak adlandırılan bir İHA'yı iki kumanda ile kontrolüne destek sağlayabilmesine imkan tanınmalıdır. Bununla birlikte geliştirmeye açık olması ve ekranı bulunmamasından dolayı dışarıdaki çevresel birimlerle iletişim kurabilmesi için Bluetooth veya Wi-Fi özelliği bulundurulmalıdır.

3.4. Kanal Sayısı

Kanal sayısı İHA'nın bir veri paketinde gönderdiği veri uzunluğu ile orantılıdır. ve kanal verileri birbirleriyle bağımlı olabileceği gibi birbirlerinden bağımsız da değer alabilmektedir. Bu sebeple en az 16 Kanallı 8'i gerçek 8'i sanal kanal olarak kabul edilebilir bir kanal yapısına ihtiyaç duyulmaktadır.

3.5. Kontrol Arayüzü

Kontrol arayüzü uçuş sırasında hem kullanım kolaylığı hem de ihtiyaca göre değiştirilebilir olmalıdır. Otopilot kartı ile yapılan uçuşlarda otopilot kartına uçuş modu bilgisini gönderebileceği bir arayüz olması gerekmektedir.

4. SİSTEMİN TASARIMI

Bu bölümde yukarıda gereklilikleri belirlenmiş kartın gerçekleştirilmesi, giriş-çıkışların belirlenmesi, fonksiyonel blok şemasının oluşturulması ve devre şemasının çizimi aşamalarından oluşmaktadır. Teknik özellikleri 6. bölüm sonunda test edilmesiyle birlikte verilecektir.

4.1. Kumanda Sisteminin Giriş-Çıkışlarının Belirlenmesi

Kumanda kartı ve alıcı kartı olarak iki kart tasarımı gerektiren sistemde giriş çıkışlar iki kart için de ayrı olarak belirlenmektedir. Bu sistem özellikle farklı sistemlerle birlikte çalışacağı için esnek bir yapıda olması gerekmektedir. Programlanabilir denetleyici kartında giriş ya da çıkış olarak programlanabilen elektronik limanlar tasarlanacaktır. Giriş çıkış parametreleri belirlenirken iletişim yönü üç farklı başlık altında değerlendirilmektedir (Giyantara ve diğerleri, 2018). Giriş yönlü, Çıkış Yönü ve Haberleşme olarak adlandırıldığında giriş yönü denetleyici tarafından okunan değerler çıkış yönü yazılması gereken değerler ve haberleşme olarak belirlenen başlık haberleşmenin yapılabilmesi için hem giriş hem çıkış yönlü elektronik limanlara ihtiyaç duyan çevresel birimlerle haberleşebilmesi sağlanan elektronik limanlar olarak belirlenmektedir (Popa ve diğerleri, 2006).

4.1.1. Kumanda Kartının Giriş Çıkışlarının Belirlenmesi

Kumanda kartının giriş çıkışları belirlenirken daha çok kullanıcı ile iletişimde olacağı için iyi bir kontrol arayüzünün bulunması gerekmektedir. Ağırlıklı olarak girişlerin bulunacağı anlamına gelmektedir. Alıcı kartı ile haberleşebilmesi için belirlenen kablosuz haberleşme modülüne göre tasarlanacak çevresel bir haberleşme arayüzü bulunmalıdır. Ayrıca çevresel haberleşme modülleri ile de iletişim kurabilmesi gerekmektedir. Giriş çıkış ve haberleşme olarak kart üzerinde bulunması gereken parametreler Çizelge 4.1 de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 Kumanda Kartının Giriş Çıkış Parametreleri

Parametreler	İletişim Yönü
Uçuş Modu Seçim Tuşları	Giriş
5 Yönlü Kontrol Tuşu	Giriş
Kumanda Kolları	Giriş
Gaz Kesme Şarteli	Giriş
SBUS Haberleşme Girişi	Giriş
Uyarı Sesi	Çıkış
Durum Işığı	Çıkış
SPI Haberleşme Arayüzü	Haberleşme
USB-Seri Haberleşme Arayüzü	Haberleşme
Çevresel Bluetooth Haberleşme Arayüzü	Haberleşme
Çevresel Kablosuz Haberleşme Arayüzü	Haberleşme

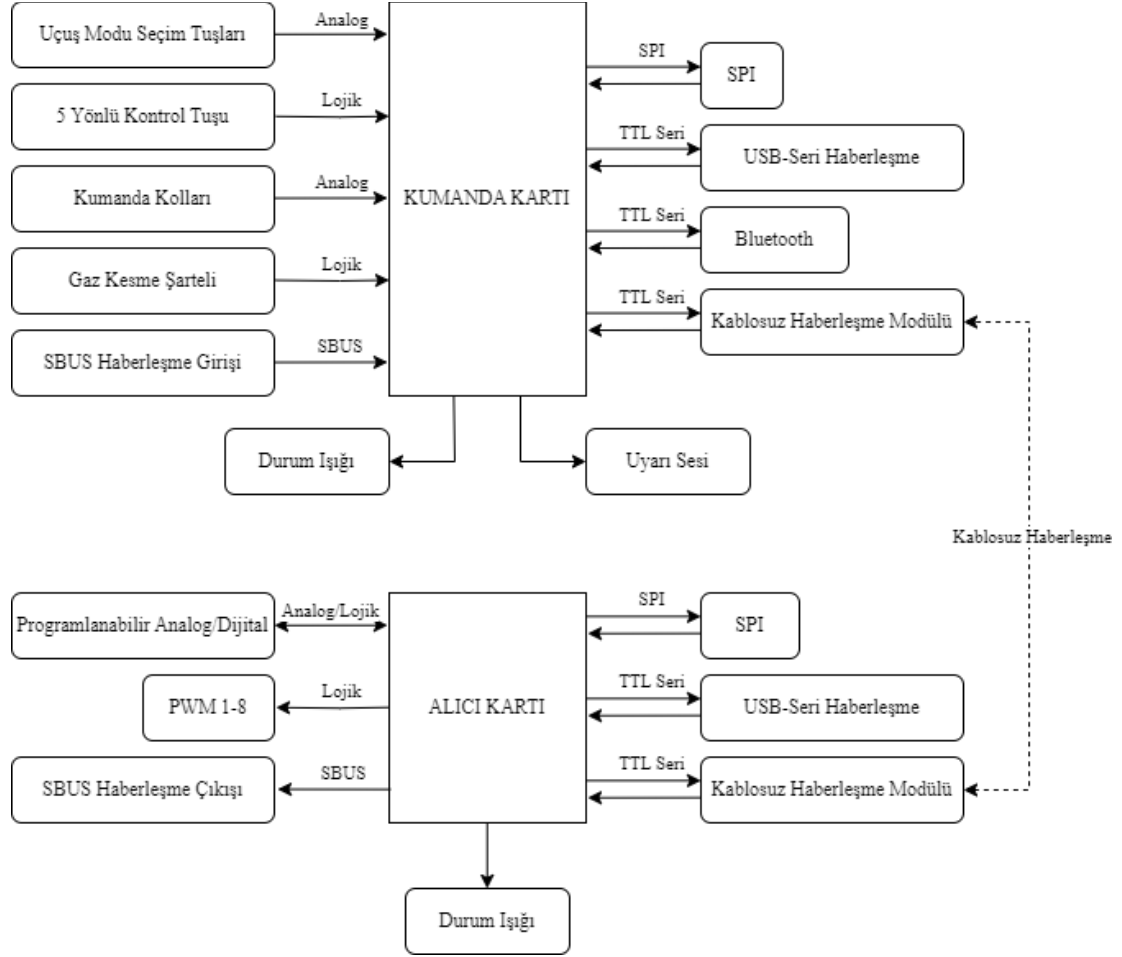
4.1.2. Alıcı Kartının Giriş Çıkışlarının Belirlenmesi

Alıcı kartının giriş çıkışları belirlenirken İHA üzerinde bulunmasından dolayı doğrudan İHA aviyonikleri ile haberleşmeli ya da uçuş kontrol kartı bulunduran İHA larda uçuş kontrol kartı ile haberleşebilmesi gerekmektedir. Ağırlıklı olarak çıkış bulunduran bu kartta geliştirebilme amaçlı programlanabilir çıkışları olmasının yanı sıra çevresel haberleşme sistemleri ve İHA ile haberleşme sistemleri bulunmalıdır. Kumanda kartı ile haberleşebilmesi için belirlenen kablosuz haberleşme modülüne göre tasarlanacak çevresel bir haberleşme arayüzü bulunmalıdır. Uçuş kontrol kartı bulundurmayan İHA'ların aviyonik sistemleri ile haberleşebilmesi için sıklıkla kullanılan PWM haberleşme çıkışları bulunmalıdır. Giriş çıkış ve haberleşme olarak kart üzerinde bulunması gereken parametreler Çizelge 4.2 de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 Alıcı Kartının Giriş Çıkış Parametreleri

Parametreler	İletişim Yönü
Programlanabilir Analog Dijital Limanlar	Giriş/Çıkış
PWM 1-8 Çıkışları	Çıkış
SBUS Haberleşme Çıkışı	Çıkış
Durum Işığı	Çıkış
SPI Haberleşme Arayüzü	Haberleşme
USB-Seri Haberleşme Arayüzü	Haberleşme
Çevresel Kablosuz Haberleşme Arayüzü	Haberleşme

4.2. Kumanda Sisteminin Blok Şemasının Oluşturulması



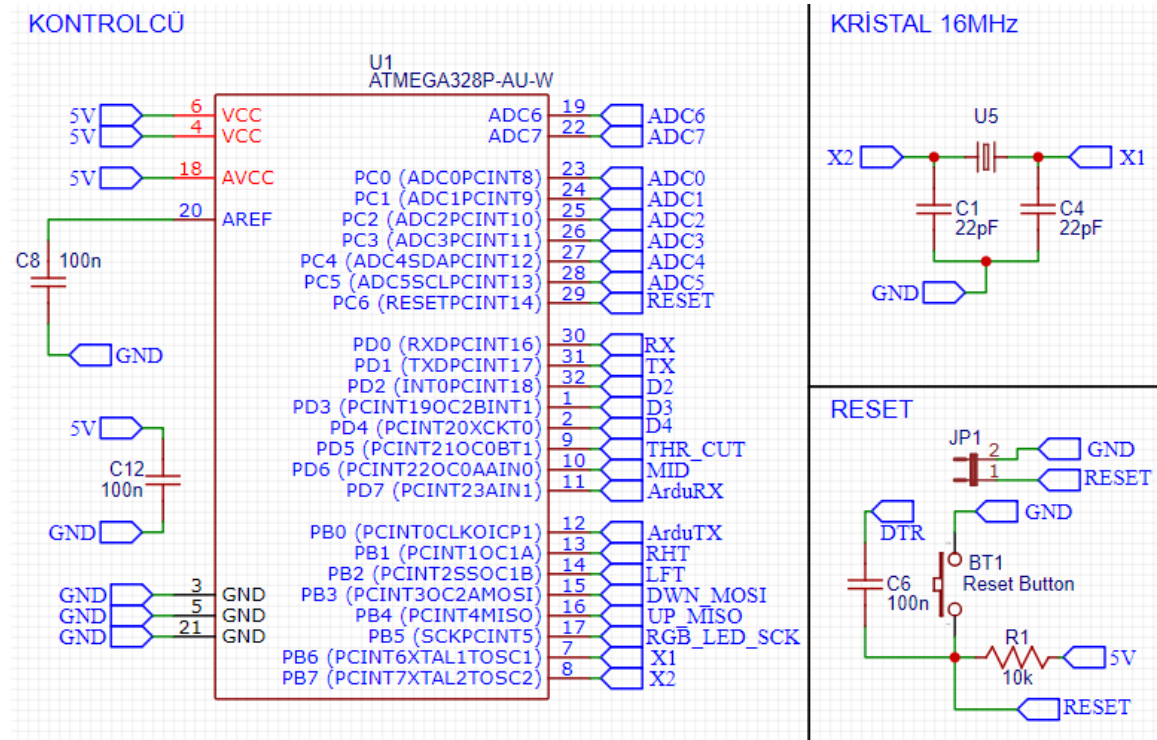
Şekil 4.1 İHA Kumanda Sisteminin Blok Şeması

Blok şema üzerinde haberleşme protokolleri ve giriş çıkış arayüzleri belirlenmiştir. Sistem görüldüğü üzere iki kısımdan oluşacaktır. İlk kısımda kumanda kartı panel üzerindeki uçuş modu seçim tuşların, 5 yönlü kontrol tuşu, Kumanda kolları, gaz kesme şarteli ve isteğe bağlı olarak SBUS Haberleşme girişinden aldığı verileri işleyerek haberleşme arayüzü olan SPI, USB, Bluetooth ve Kablosuz haberleşme modülüne ileticektir. Uçuş Hareket vektörleri karıştırılıcaksa kumanda üzerinden de karıştırılabilme imkanı sunulmaktadır. İşlem sonucu veri paketi olarak vektörler kablosuz olarak alıcı kartının haberleşme modülüne gidecektir. Alıcı modülü bu paketleri açarak yapılandırılmış çıkış portlarına veya haberleşme portlarına ileticektir.

Durum ışığı ve Uyarı Sesi kart üzerinde ayak izi bulunmalıdır. Ama kullanıcının ihtiyacına göre kullanılmayabilir.

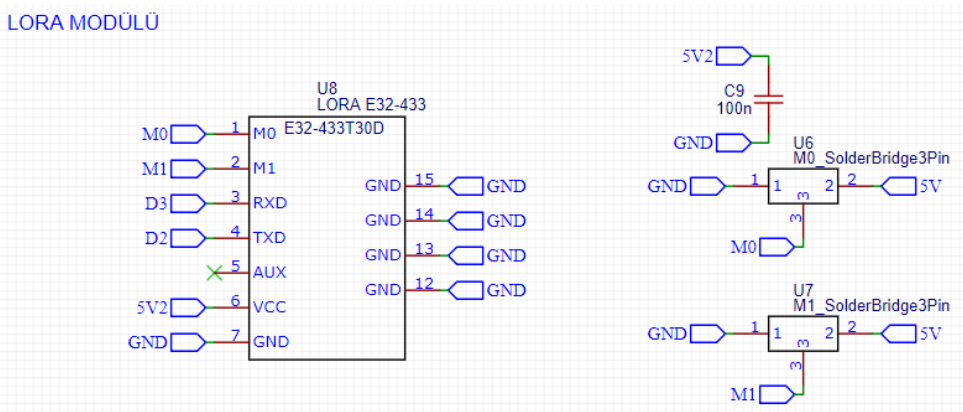
4.3. Kumanda Sisteminin Şematik Çizimi ve Malzeme Seçimi

Kumanda sisteminde kullanıcı parametreleri kısmında belirlenen özelliklere görevi bir malzeme araştırması ve şematik çizimi yapılmıştır. Tasarlanan şematiğin tam hali en son kısımda ek olarak paylaşılacaktır.



Şekil 4.2 Kumanda ve Alıcı Mikro Denetleyici Şematiği

Bu kısım hem alıcı hemde kumanda kartı devresinde aynı şekilde tasarlanmıştır. Mikrodenetleyici olarak Atmel firmasının ATMEGA328P modeli seçilmiştir. Uygun fiyat yeterli sayıda giriş-çıkış bacaklarının bulunması ve büyük program hafızası sebebi ile kullanılmıştır. Ayak izi SMD TQFP-32 kılıf olarak seçilmiştir. Tek başına çalıştırılabilmesi için ve bir hata durumunda sistemin yeniden başlatılabilmesi için kristal devresi ve yeniden başlatma devresi de tasarlanmıştır. Tasarlanan devrede hem tuş ile yeniden başlatılabilirken hem de yeniden başlatma tuşunu farklı bir konuma taşıyabilmek açısından yeniden başlatma bacakları bırakılmıştır.

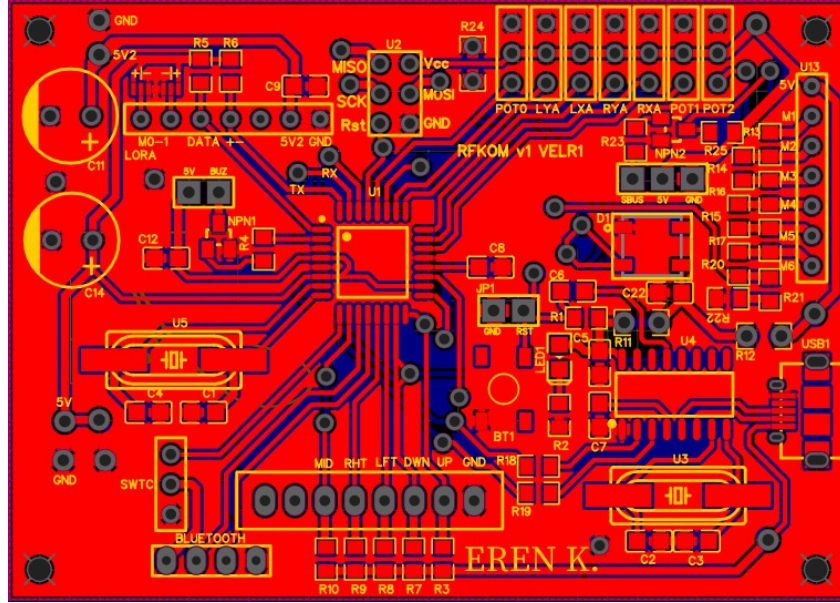


Şekil 4.4 Kablosuz Haberleşme Modülü Şematiği

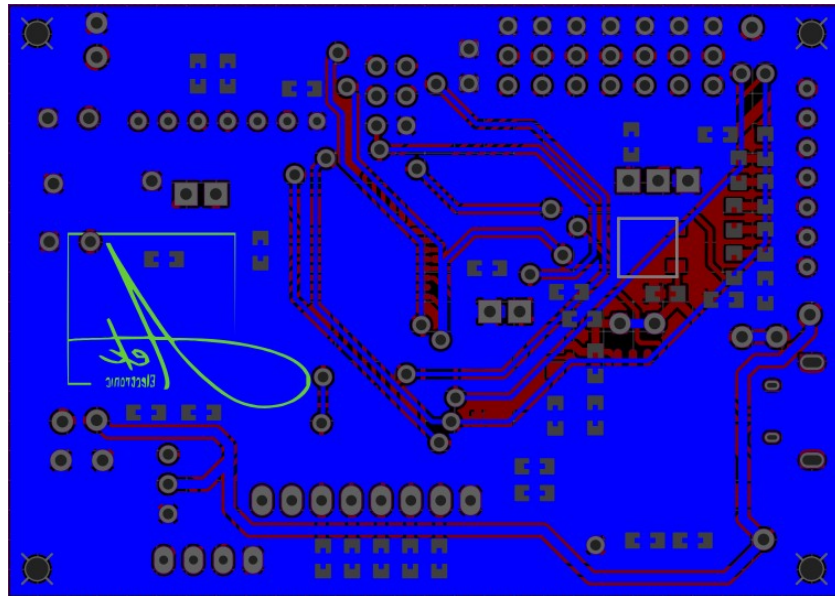
Kablosuz haberleşme modülü olarak lora modülü kullanılmıştır. Yüksek anten çıkış gücü sayesinde 30 dB den az bir çıkış gücü bulunmaktadır. Lora modülünü daha

sonra yapılandırabilmek için M0 ve M1 bacaklarına devre kartı üzerinden kapılar yapılmıştır. Modülün besleme gerilimini sistemden izole edebilme imkanı sağlamak için farklı bir 5V hattı kullanılmıştır. Giriş-Çıkışlar da hazırlandıktan sonra şematik çizimi ve malzeme seçimi tamamlanmıştır.

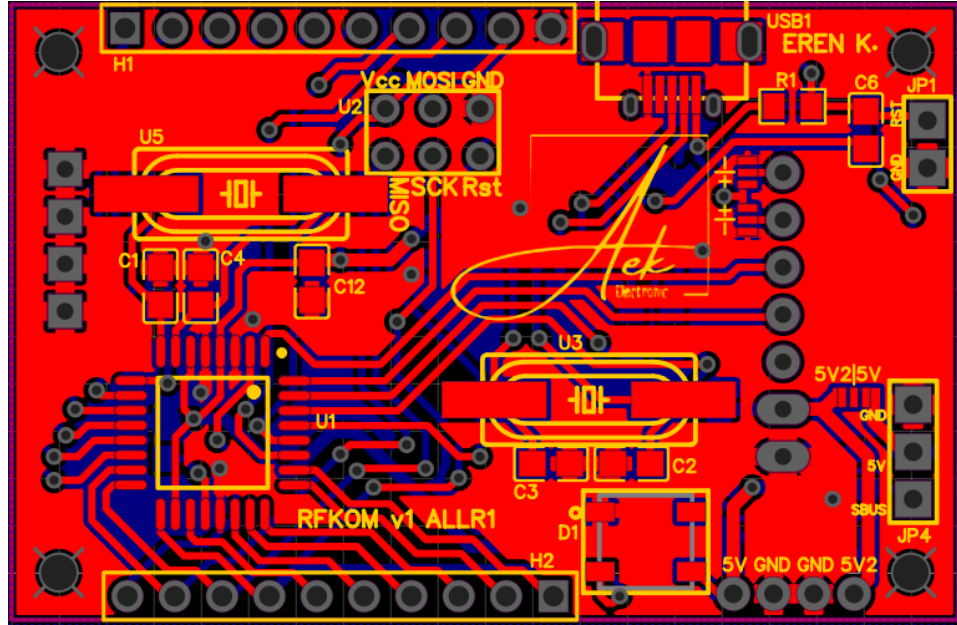
4.4. Kumanda Sisteminin PCB Çizimi



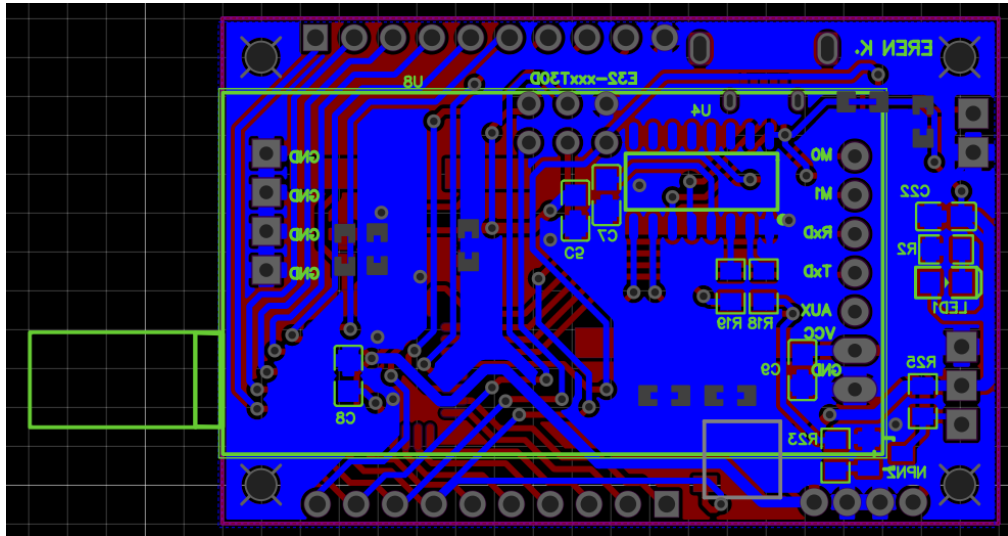
Şekil 4.5 Kumanda Kartı PCB Çizimi (Ön Yüz)



Şekil 4.6 Kumanda Kartı PCB Çizimi (Arka Yüz)

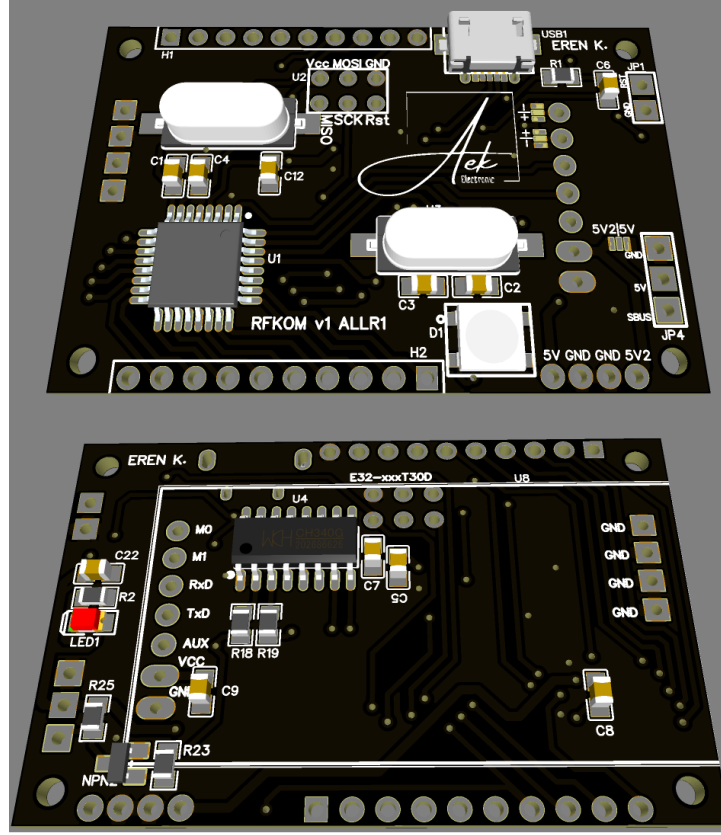


Şekil 4.7 Alıcı Kartı PCB Çizimi (Ön Yüz)

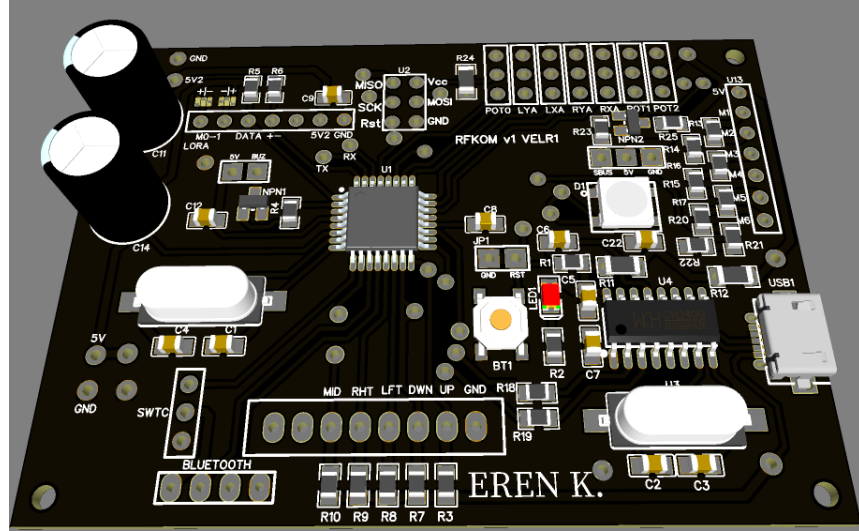


Şekil 4.8 Alıcı Kartı PCB Çizimi (Arka Yüz)

Tasarlanan PCB kartları 2 bakır katmanından oluşan bir tasarıma sahiptir. Olası bir hata durumunda düzeltilebilmesi için katman geçişlerindeki delikler büyük ve lehimlenebilir yapılmıştır. Sonradan yeni özellikler eklenebilmesi için bütün çıkışlar çevresel olarak atanmıştır. Kumanda kartı bir kutu içinde bulunacağından modüller dağınık lehimlenip kablolanacaktır. Alıcı kartı tam tersi şekilde tek parça tasarlanmıştır.



Şekil 4.9 Alıcı Kartı 3 Boyutlu Çizimi (Arka-Ön Yüz)



Şekil 4.10 Kumanda Kartı 3 Boyutlu Çizimi (Ön Yüz)

Devre elemanlarının, lehimlendikten sonraki 3 boyutlu görünümü hazırlanmıştır.

5.TASARLANAN SİSTEMİN GERÇEKLENMESİ

Bu bölümde sistemin gerçekleştirilmesi için yapılan adımlar malzeme listeleri ve üretimi sırasındaki detaylar gösterilecektir. Bu detaylar sistem gerçekleştirilmeden önce temin edilmesi gereken malzeme listesi ve malzeme ölçüleri, Devre kartının sipariş edilmesi, gerekli modüllerin temin edilmesi ve sipariş edildikten sonra gelen devre kartı ile komponentlerin dizgisinden oluşmaktadır.

5.1. Elektronik Devre Elemanları Malzeme Listesi

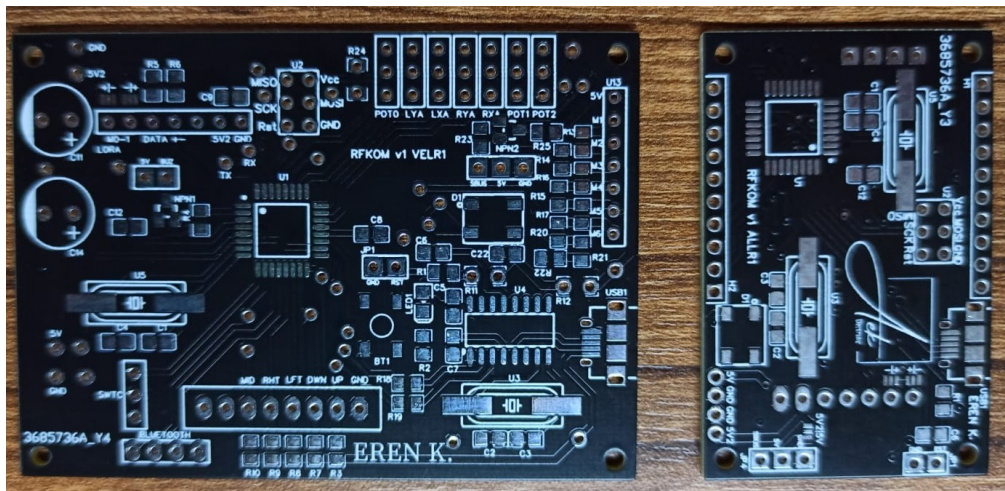
Çizelge 5.1 Kumanda Elektronik Malzeme Listesi

Malzeme Adı	Kaplama Adı	Ayak İzi	Miktar
5k	R25	R0805	1
1k	R23,R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8, R9,R10,R18,R19,R21,R22	R0805	14
BC817 NPN	NPN2,NPN1	BC817 SOT-23	2
Reset Button	BT1	BUTON SMD	1
22pF	C1,C2,C3,C4	C0805	4
100n	C6,C7,C8,C9,C12,C5,C22	C0805	7
Bluetooth	BLUETOOTH	PINHEADER-4PIN	1
WS2812B	D1	WS2812B	1
10k	R1	R0805	1
330	R13,R14,R15,R16,R17,R20	R0805	6
ATMEGA328P-AU-W	U1	ATMEGA328P-AU	1
Crystal 16MHz	U3,U5	CRISTAL SMD	2
CH340G	U4	CH340G	1
7pin	U13,LORA	7PIN	2
629105150921	USB1	MICRO_USB_AB	1
Power Led	LED1	LED0805_RED	1
470u	C11,C14	CAP-D8.0×F3.5	2

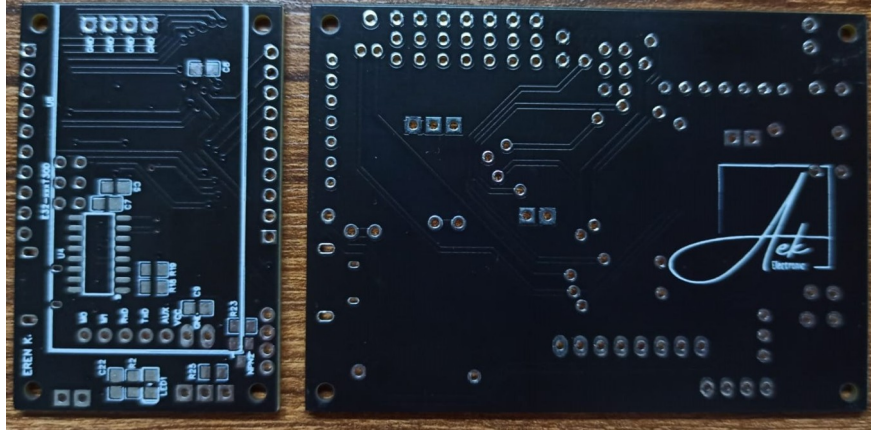
Çizelge 5.2 Alıcı Elektronik Malzeme Listesi

Malzeme Adı	Kaplama Adı	Ayak İzi	Miktar
22pF	C1,C2,C3,C4	C0805	4
100n	C6,C12,C8,C7,C9,C5,C22	C0805	7
WS2812B	D1	WS2812B	1
JUMPER2PIN	JP1	JUMPER2PIN	1
10k	R1,R25	R0805	2
ATMEGA328P-AU-W	U1	ATMEGA328P-AU	1
Crystal 16MHz	U3,U5	CRISTAL SMD	2
629105150921	USB1	MICRO_USB_AB	1
JUMPER_3PIN	JP4	JUMPER_3PIN	1
Power Led	LED1	LED0805_RED	1
1k	R2,R18,R19	R0805	3
CH340G	U4	CH340G	1
LORA E32-433	U8	E32-433T30D	1
BC817 NPN	NPN2	BC817 SOT-23	1
4k7	R23	R0805	1

5.2. Devre Kartı Baskı ve Dizgisi

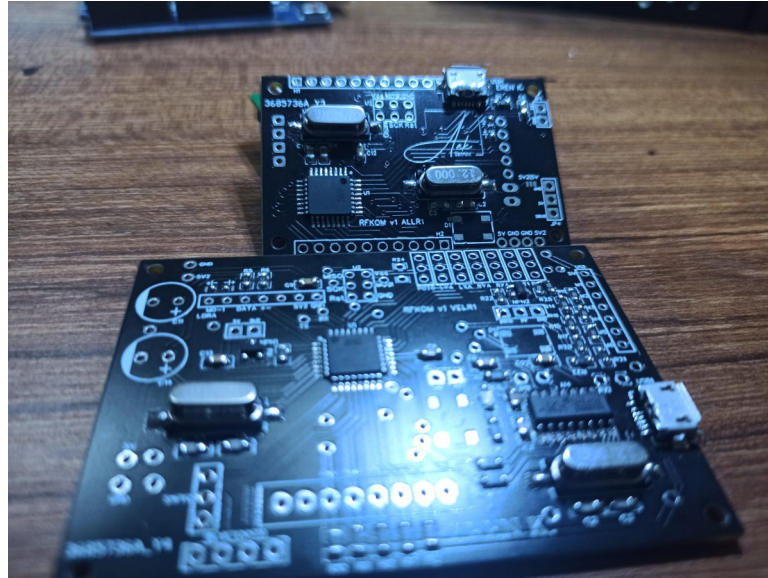


Şekil 5.1 PCB Alıcı ve Verici Kartları (ön)



Şekil 5.2 PCB Alıcı ve Verici Kartları (arka)

Kartlar ve elektronik devre elemanları temin edildikten sonra kart üzerinde elektronik devre elemanlarının dizgisine başlanılmıştır. Dizgiden sonra kartlar tiner ile temizlenip kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 5.3 PCB Alıcı ve Verici Kartları (arka)

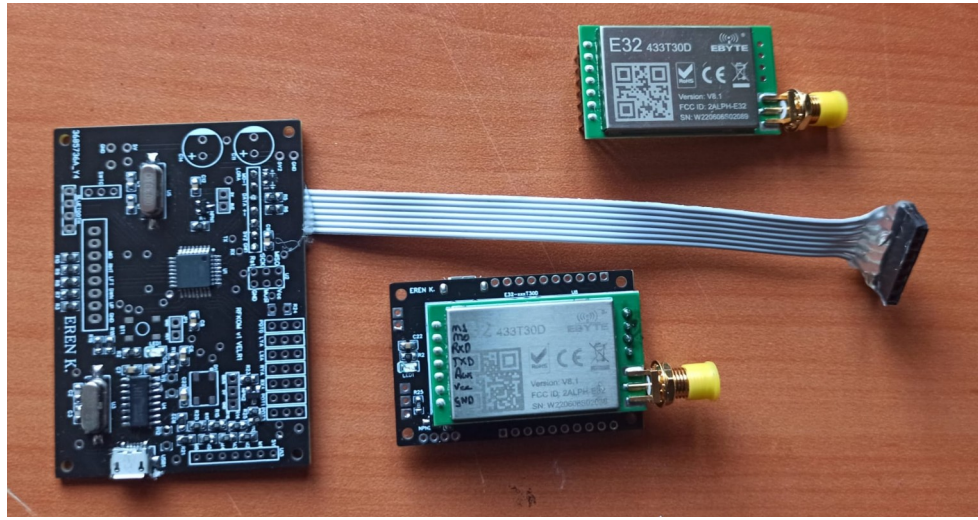
Şekil 5.3 te kartların dizgisi tamamlandıktan sonraki halleri bulunmaktadır. Kartın donanımsal olarak çalışıp çalışmadığı test edildikten sonra montaja geçilmiştir. Test kısmı Bölüm 6’da anlatılmaktadır.

6.GERÇEKLENEN SİSTEMİN TEST EDİLMESİ

Bu bölümde tasarlanan sistem üzerinde yapılan güvenlik, kontrol ve performans testleri anlatılmaktadır.

6.1. Donanım Kontrol Testleri

PCB Dizgisi yapıldıktan sonra Avometre yardımı ile devre kartı üzerindeki kısa devre kontrolü yapılmıştır.



Şekil 6.1 Kablosuz Haberleşme Modülü Bağlantısı

Daha sonra Şekil 6.1'deki gibi kablosuz haberleşme modülü montajı yapılmıştır. Montaj yapıldıktan sonra kart çalıştırılarak kontrol edilmiştir.

6.2. Programlama ve Haberleşme Testleri

Mikrodenetleyiciye USB üzerinden yazılım yüklenebilmesi için ön yükleme yazılımına ihtiyaç duymaktadır. PCB üzerinde tasarlanan ISCP limanları üzerinden başka bir mikrodentleyici yardımı ile ön yükleme yazılımı mikrodenetleyiciye yüklenmiştir ve USB üzerinden yazılım yüklenip yüklenemediği test edilmiştir. Çevresel modüllerin haberleşmeleri kontrol edilip kablosuz haberleşme modülü ayarları

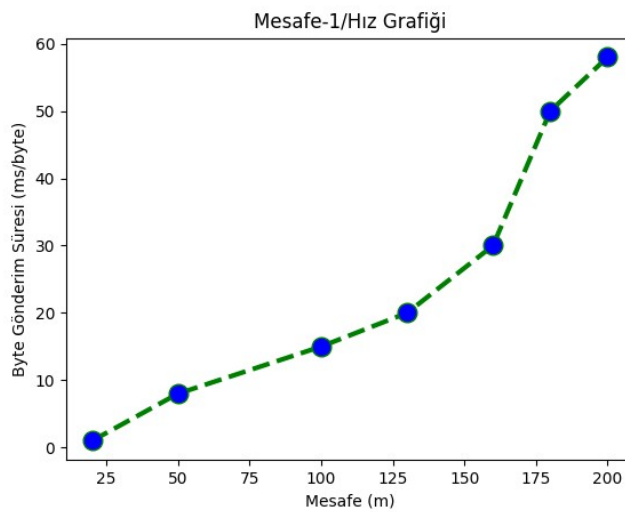
yapılandırılmıştır. Kablosuz haberleşme modülü olan Lora modülünü optimum değerler ile yapılandırıldığında aşağıda bulunan Çizelge 6.1’deki gibidir. Daha yüksek menzil, havadaki veri aktarım hızı düşürülerek ve anten çıkış gücü arttırılarak sağlanabilirken, daha fazla veri iletebilmek için de havadaki veri iletim hızı arttırılıken iletim mesilinden kayıp verilmektedir.

Çizelge 6.1 Lora Modülü Yapılandırma Çizelgesi

HEAD BIN: 11000000 192 C0
AddH BIN: 0
AddL BIN: 0
Chan BIN: 23 -> 433MHz
SpeedParityBit BIN : 0 -> 8N1
SpeedUARTDataRate BIN : 11 -> 9600bps
SpeedAirDataRate BIN : 10 -> 2.4kbps
OptionTrans BIN : 1 -> Fixed transmission
OptionPullup BIN : 1 -> TXD RXD AUX are push-pulls/pull-ups
OptionWakeup BIN : 0 -> 250ms (default)
OptionFEC BIN : 0 -> Turn off Forward Error Correction Switch
OptionPower BIN : 0 -> 20dBm

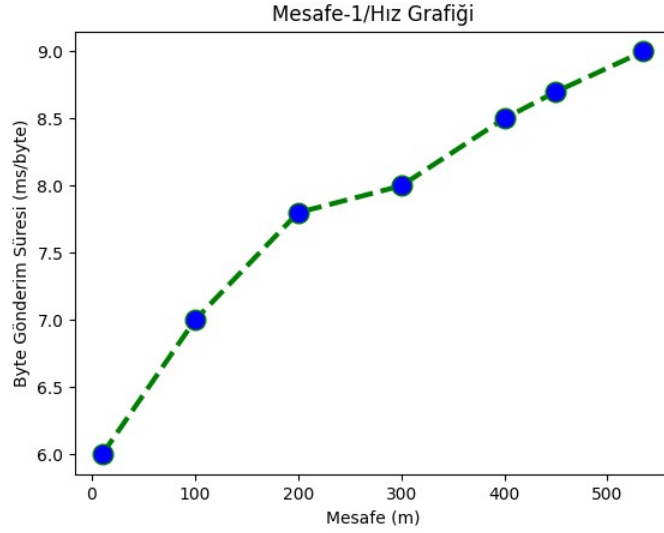
6.3. Mesafe ve Performans Testleri

Veri iletim hızı testinde lora modülü Fixed transmission modunda çalıştırılarak 32 Byte uzunluğunda paketler haline veriyi ortalama 160ms süreyle gönderdiği test edilmiştir.



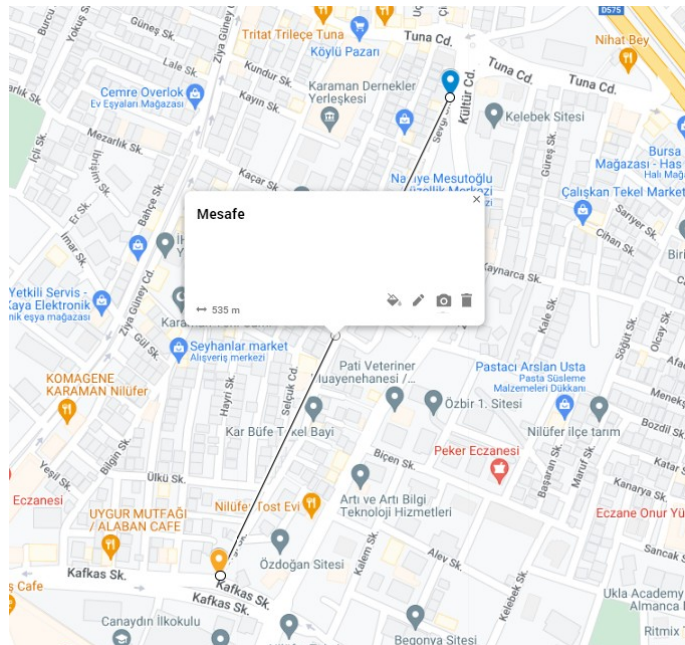
Şekil 6.2 Veri Paketi – İletim Süresi Grafiği

Şekil 6.2 de görüldüğü gibi verileri paketler halinde göndermek byte başına gönderim hızını arttırmaktadır.



Şekil 6.3 Mesafe-1/Hız Grafiği

Paket boyutu sabit tutulup 58 byte paketler haline gönderilen veri alıcı ile verici arasındaki mesafe arttıkça byte başına gönderim süresi artmaktadır hava iletim yüzünden oluşan iletim gecikmesi incelenmiştir.



Şekil 6.4 Testin Yapıldığı Konum

Test şehir içinde yapıldığı için binalar ve ortam gürültüleri haberleşmeye olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bu durumlar göze alındığında bile Sivil havacılıkta kullanılabilmesi için menzil ve iletişim hızının yeterli olduğu test edilmiştir.

6.4. Ürün Özellikleri

Test sonuçları ve üretim parametrelerinden tasarlanan ve ölçülen değerlere göre ürünün özellik çizelgesi aşağıdaki gibidir.

Çizelge 6.2 Kumanda Özellikleri Çizelgesi

RFKOM Verici Kumanda Özellikleri:	RFKOM Alıcı Özellikleri:
Ürün Modeli: RFKOM VELR1	Ürün Modeli: RFKOM ALLR1
Kanallar: 24 Model: sabit kanat / planör / helikopter / tekne	PWM kanalı: 8
Kablosuz frekans: 433MHz	ADC Kanal: 6
İletim gücü: <20 dBm	Kablosuz frekans: 433MHz
Kablosuz protokol: LORA	Kablosuz protokol: LORA
Menzil: 500 ~ 1500m (havada)	Menzil: 500 ~ 1500m (havada)
Kanal çözünürlüğü: 4096	Anten tipi: Tek bakır boru anten (150mm)
Güç: 7-25V	Güç: 3.3-5V
Şarj bağlantı noktası: Yok	RSSI: Desteklenmez
Alçak gerilim alarmı: Yok	Veri bağlantı noktası: PWM / SBUS
Anten tipi: Tek Anten	Sıcaklık aralığı: -10 °C — + 60 °C
Ekran: Yok	Nem aralığı: %20 - %95
Dil: Türkçe - İngilizce	Çevrimiçi Güncelleme: Evet
Uzaktan Kumanda Rengi: Siyah	Boyutlar: 47*26.2*15mm
Boyutlar: 174x89x190mm	Ağırlık: 18.9g
Ağırlık: 392g (Pilsiz)	

6.5. Maliyet Analizi

Çizelge 6.3 Optimum Maliyet Çizelgesi

Görev	Kullanılan Eleman	Optimum Maliyet	Düşük Maliyet	Yüksek Maliyet
Haberleşme Modülü	2 Adet EBYTE Sx1278 433 MHz 30DBM	763,0	690	1270
İkincil Kullanıcı Haberleşme Elemanı	Bluetooth Modül	40,0	-	40,0
Pil/Batarya	Leopard Power 1500 Mah 11.1v 3s 25c	387,49	-	387,49
PCB üretimi	Takım Kart Üretimi	40,2	40,2	70
Mikrodenetleyici	2 Adet Atmega328p	183,56	154,49	402
Elektronik Devre Komponentleri	Elektronik Komponentler (Bölüm 5)	184,0	150	230
Mekanik Malzemeler	Filament	250	200	400
	Toplam:	1848,25		

Maliyet çizelgesinden de yola çıkılarak benzer bir sistem kurulumu için alternatif sistemler toplandığında olacak maliyet analizi yapılmıştır. İlk maddede belirtilen haberleşme modülü en kritik noktalarından biridir. Uzun mesafe iletişim ve yüksek veri hızı sağlayabilen bir haberleşme modülü seçilmelidir. Çünkü bu durum uçuş güvenliği ve kararlılığı ile doğru orantılı olan önemli bir durumdur. Bulunduğu ülkenin yasal frekans sınırları içerisinde kalıp yine sınırlamalara uygun yüksek anten çıkış gücüne sahip bir haberleşme modülü secilmektedir. Daha az maliyet açısında Lora 20 dB versiyonu da kullanılabilirken maliyette önemli bir değişim gözlemlenmemektedir. Bir noktadan sonra menzili arttırmak amaçlı haberleşme modülünü değiştirmek yerine sinyal yükseltme modülleri kullanılabilir. Bir diğer önemli parametre mikrodenetleyici türü ve özellikleridir. ARM tabanlı bir denetleyici daha yüksek maliyetlerle daha yüksek performanslar sağlamaktadır veya mikrodenetleyici ile birlikte tek kart bilgisayar kullanılarak dahili ve harici görüntü aktarımı ve benzeri özelliklerde sunabilirken fiyatı olabildiğince yükseltmektedir. Bunun dışında mekanik ve elektronik malzemeler kullanım kolaylığı açısından değiştirilmesi çok büyük fiyat farkı oluşturmamaktadır.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada İnsansız Hava Araçlarının kontrol yöntemleri anlatılmıştır. Bir insansız hava aracının kontrol kumandasının alıcısıyla birlikte tasarımı ve gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Sivil havacılıkta kullanılan kumandalar araştırılmış ve bir kumanda da olması gereken parametreler belirlenmiştir. Belirlenen parametrelere göre yapılan tasarımdaki bölümler açıklanmıştır ve bir insansız hava aracı kontrol kumandası tasarlanırken dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenmiştir.

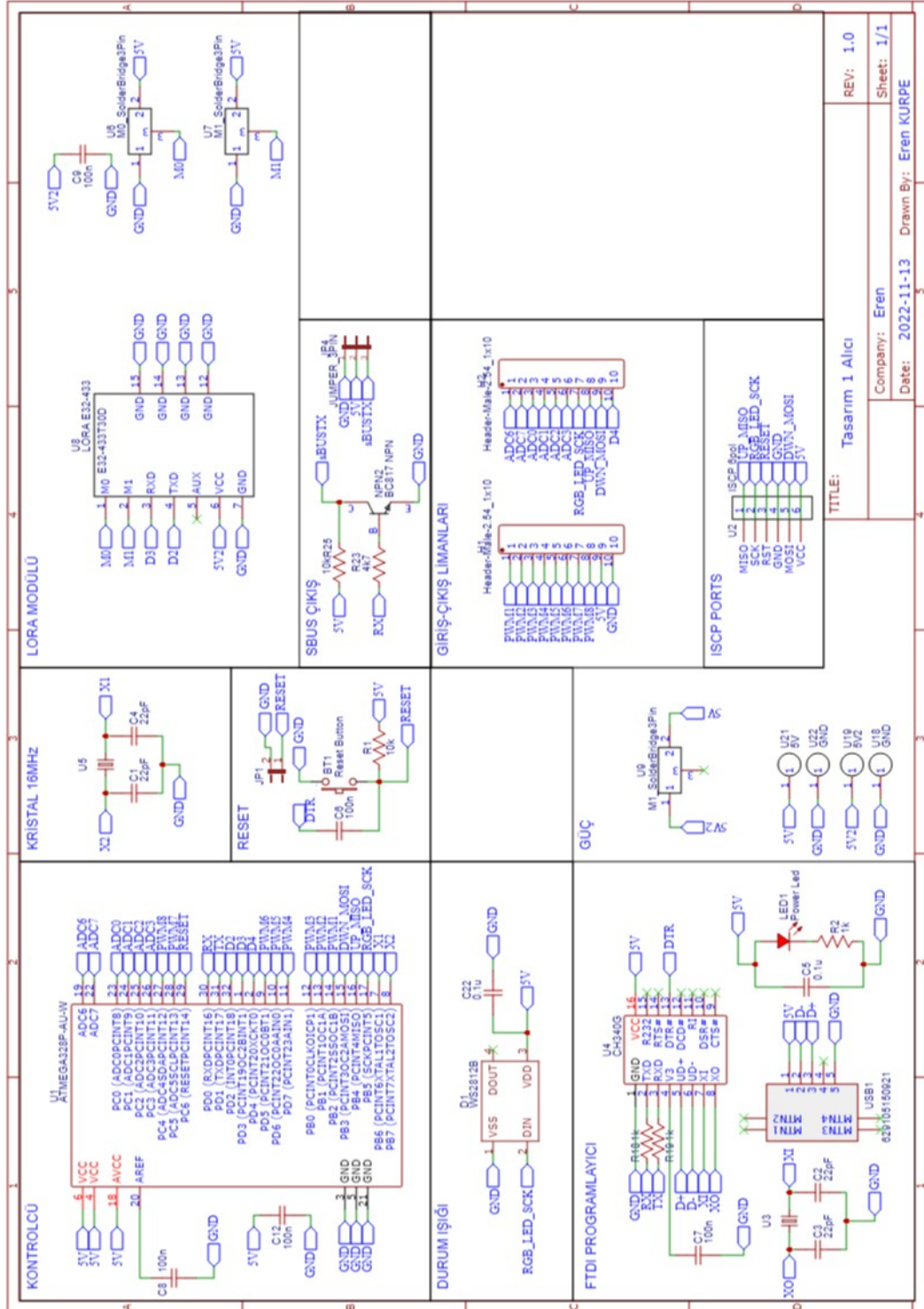
Gerçeklenen ürün üzerinde yapılan testlerle gerçek kumandalarda olan kıyaslanabilir özellikler elde edilmiştir. Performanslarına göre daha uygun fiyata daha esnek bir kumanda tasarımı yapılmıştır. Kumanda kartı ve alıcı kartının menzil ve performans testleri 09.01.2023 tarihi açık hava şartlarında şehir içerisinde yapılmıştır. Coğrafi konuma bağlı olarak değerler değişiklik gösterebilmektedir ama grafikler olabildiğince yakın oranlarda olacaktır.

Bu projenin yapılmasının sebebi insansız hava araçlarının kontrol sistemlerinin çalışmasını kullanılan protokolleri ve sistem parametrelerini incelemek çalışma prensipleri hakkında bilgiler oluşturmak ve olası eksikliklere çözümler getirilerek benzer ürünlerden de ortaya çıkan ihtiyaç parametrelerine uygun yeni bir tasarım gerçekleştirmektir.

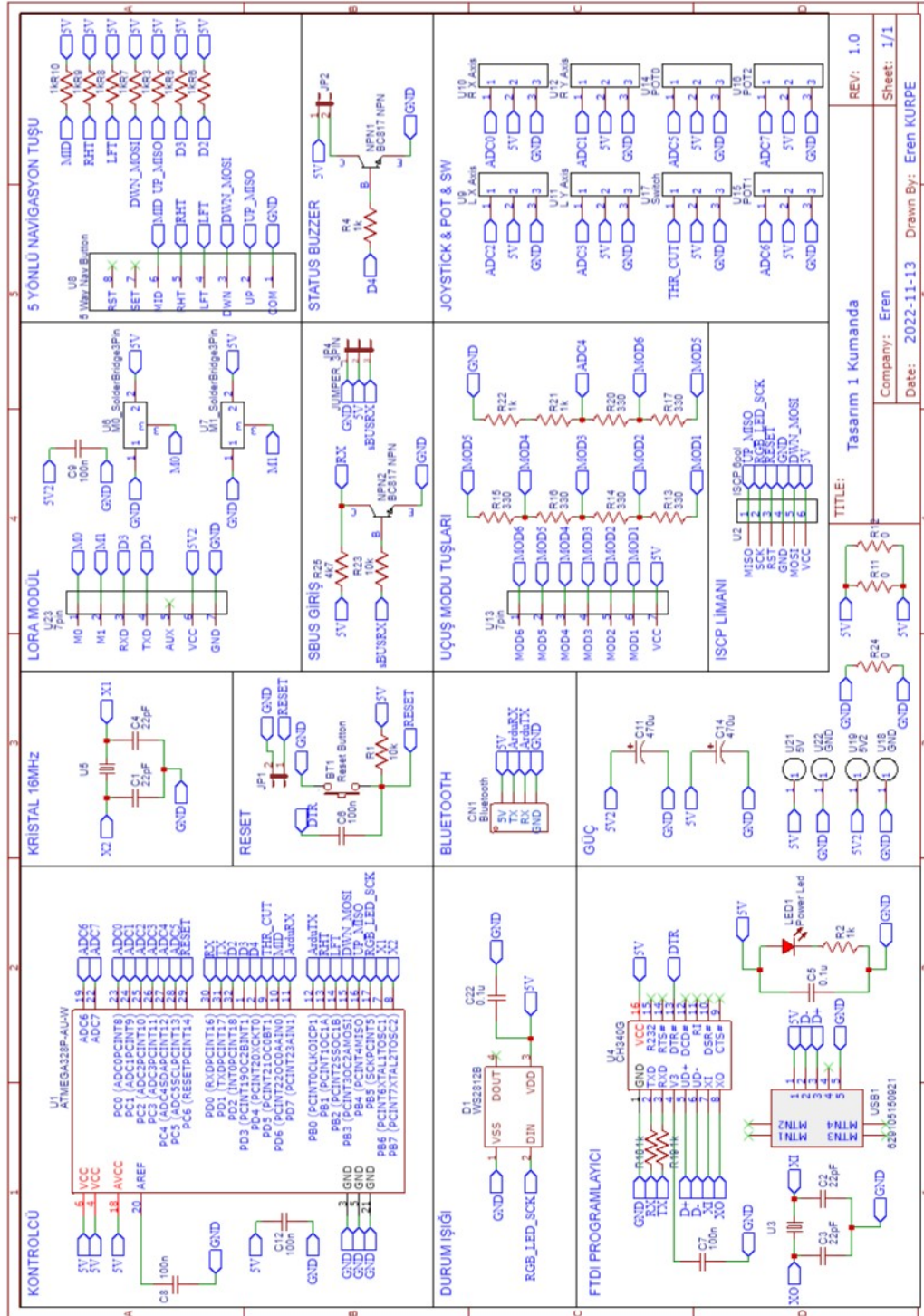
Bundan sonraki geliştirmelerde dahil edilecek Bluetooth modül aracılığı ile diğer kumanda sistemlerinde bulunmayan bir özellik olan bilgisayarlarla veya telefonlarla haberleşme arayüzü ve sisteminin oluşturulmasıdır. Bu sistem veya sistemler örneğin; telefon eğim verileri ile insansız hava aracının havadaki pozisyon kontrolünü sağlama imkanı, insansız hava araçları ve kumanda sistemleri üzerinden alınan verilerin telefon veya bilgisayar ekranlarından gösterilebileceği gibi aktarılıp verilerin kaydedilmesini de sağlamak üzerine üzerine olabilmektedir. Ayrıca kumanda SBUS girişi bulundurulması da yer üzerinden SBUS bilgisinin hava aracına aktarılma özelliğiyle geliştirmeye açık bırakılmış bir parametre olmaktadır.

8. EKLER

Ek 1.



Ek 2.



9. KAYNAKLAR

- Giyantara, A., Mudeng, V., Natiand, H. S., & Afif, M. I. A. (2018, December). Microcontroller Serial Communication to Analyze Bit Characters. In 2018 2nd Borneo International Conference on Applied Mathematics and Engineering (BICAME) (pp. 223-227). IEEE.
- Popa, M., Popa, A. S., Cretu, V., & Micea, M. (2006, November). Monitoring serial communications in microcontroller based embedded systems. In 2006 International Conference on Computer Engineering and Systems (pp. 56-61). IEEE.
- URL 1. <https://www.btk.gov.tr/spektrum-yonetimine-iliskin-usul-ve-esaslar> (01.01.2023)
- URL 2. https://docs.px4.io/v1.10/zh/flying/basic_flying.html (01.01.2023)
- URL 3. <https://www.flysky-cn.com/i6-canshu> (01.01.2023)
- URL 4. <https://www.flysky-cn.com/ia6b-canshu> (01.01.2023)
- URL 5. <https://www.frsky-rc.com/product/taranis-x9d-plus-se-2019/> (01.01.2023)
- URL 6. <https://www.frsky-rc.com/product/x8r/> (01.01.2023)
- URL 7. <https://futabausa.com/product/10j/> (01.01.2023)

TEŞEKKÜR

Mühendislik Tasarımı-I dersi kapsamında çalışmalarım boyunca sağladıkları desteklerinden ötürü danışman hocam Sayın Doç. Dr. Sait Eser KARLIK ve Sayın Ömer YILDIZ hocama teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi: 29.05.2001

Üniversite(Lisans): Uludağ Üniversitesi

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Elektronik Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil: Erasmus Yabancı Dil Sınavı (94)



Başarılar: TEKNOFEST Tübitak Uluslararası İHA Yarışması 2021
(Yerlilik 2.'lik Ödülü)

Hobiler: Havacılık ve Modelcilik

Elektronik Hobi Devre Tasarım

İHA Pilotluğu

3 Boyutlu Yazıcılar

İletişim: kurpeeren@gmail.com