



T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

QTrainer Model Uçak Prototipinin Gerçekleştirilmesi

Onur Ali KORKMAZ

BM328 Bilgisayar Mühendisliği Tasarım Çalışması II

Prof. Dr. Cihan KARAKUZU

BİLECİK

4 Haziran 2023



T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

QTrainer Model Uçak Prototipinin Gerçekleştirilmesi

Onur Ali KORKMAZ

BM328 Bilgisayar Mühendisliği Tasarım Çalışması II

Prof. Dr. Cihan KARAKUZU

BİLECİK

4 Haziran 2023

ÖZET

Projenin Amacı

QTrainer model uçak modelleyip uçağı ardunio ve nrf24l01 modüller yardımı ile kullanmaktır. Böylece çalışma sayesinde donanım, kablosuz haberleşme ve gömülü yazılım hakkında daha fazla bilgi edinmek ve bu bilgi birikimini uygulamada göstermektir.

Projenin Kapsamı

Ardunio Nano ve Nrf24l01 modüllerini kullanarak 4 adet servo ve 1 adet fırçasız motoru uzaktan joystick yardımı ile kontrol edecek sistemi tasarlamaktır. Böylece uçağın uçuşu gerçekleşecektir.

Sonuçlar

Qtrainer model uçak gerçekleştirilmiştir ve kablosuz haberleşme düzgün şekilde çalışmaktadır. Uçağın uçuşu test edilmiş olup, stabil bir deneyim sunmaktadır.

ABSTRACT

Project Objective

QTrainer is to model a model airplane and use the airplane with the help of arduino and nrf24l01 modules. Thus, the aim of this study is to learn more about hardware, wireless communication and embedded software and to demonstrate this knowledge in practice.

Scope of Project

Using Arduino Nano and Nrf24l01 modules, it is to design a system that will control 4 servo and 1 brushless motor with the help of a remote joystick. Thus, the flight of the airplane will be realized.

Results

The Qtrainer model airplane has been implemented and wireless communication is working properly. The aircraft is flight tested and offers a stable experience.

TEŞEKKÜR

Bu projenin başından sonuna kadar hazırlanmasında emeği bulunan ve beni bu konuya yönlendiren saygıdeğer hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Cihan KARAKUZU'ya ve Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÜÇGÜN'e aynı zamanda 3 boyutlu yazıcısını bana tahsis ettiği için İbrahim GÜNGÖR arkadaşşıma tüm katkılarından ve hiç eksiltmediğı desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Onur Ali KORKMAZ

4 Haziran 2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	viii
1 GİRİŞ	1
2 ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEM VE DONANIMLAR	2
2.1 Kullanılan Uçak Model Tasarımı	2
2.2 Uçağın Başarımına Etki Eden Faktörler	3
2.2.1 Aerodinamik kuvvetler	3
2.2.2 Kanat yerleşim yeri	5
2.2.3 Kanat kesidi	6
2.2.4 Kanat alanı	7
2.2.5 Dihedral	8
2.3 Rc Uçak Modeli İçin Kullanılan Donanımlar	9
2.3.1 Arduio Nano	9
2.3.2 nRF24L01 modülü	10
2.3.3 Elektrikli hız kontrolcü cihazı (ESC)	14
2.3.4 Fırçasız motor	15
2.3.5 Servo Motor	15
2.3.6 Lipo pil	17
3 QTRAINER MODEL UÇAĞIN GERÇEKLENMESİ	19
3.1 Qtrainer Model Seçimi	19
3.2 Verici Devresi	20
3.3 Alıcı Devresi	27

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR	34

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1	Qtrainer uçak modellemesi	1
Şekil 2	Uçak kısımları [1]	2
Şekil 3	Aerodinamik kuvvetler [2]	4
Şekil 4	Kanatta kaldırma kuvveti [3]	5
Şekil 5	Kanat kesitleri [1]	6
Şekil 6	Toplam kanat alanı [5]	7
Şekil 7	Net kanat alanı [5]	7
Şekil 8	Kanat açıklığı ve veter [5]	8
Şekil 9	Dihedral açısı [5]	8
Şekil 10	Ardunio Nano ön ve arka yüzü [6]	9
Şekil 11	Ardunio Nano pin diyagramı [6]	9
Şekil 12	nRF24L01 PA/LNA antenli versiyonu giriş ve çıkışları [8]	11
Şekil 13	Enhanced shockburst paket yapısı [9]	12
Şekil 14	10 µf filtre kondansatörü yerleştirilmesi [9]	13
Şekil 15	Ardunio Nano ve nRF24L01 bağlantı şeması	14
Şekil 16	Fırçasız motor parçaları [12]	15
Şekil 17	Servo Motorun iç yapısı [16]	16
Şekil 18	Servo pwm değerleri ve dönüş açısı [16]	17
Şekil 19	Lipo pil [15]	18
Şekil 20	Qtrainer model uçağın 3d parçaları	19
Şekil 21	Kumanda devresi	22
Şekil 22	Verici devresi	23
Şekil 23	Alıcı devresi	28
Şekil 24	QR kod	33

TABLO LİSTESİ

Tablo 1	Verici malzeme listesi	21
Tablo 2	Alıcı malzeme listesi	27

1 GİRİŞ

RC uçaklar, havacılık tutkunları ve model uçak meraklıları tarafından sevilerek kullanılan, radyo kontrollü küçük boyutlu uçaklardır. RC uçak tasarımı ve yapımı, günümüzde oldukça popüler bir hobi haline gelmiştir. Bu hobiyeye ilgi duyanlar, farklı malzemeler kullanarak, farklı şekil ve boyutlarda uçaklar tasarlayıp yapabilirler.

Bu çalışmada, **QTrainer** model bir RC uçağı tasarlanmıştır. Uçak, eğitim amaçlı kullanılabilir niteliktedir. QTrainer'ın tasarımında, 3D yazıcıdan faydalanıldı. 3DLabprint sitesinde modelin çizimleri bulunmaktadır.

Bu rapor, QTrainer uçağı tasarımı, yapımı ve testleri hakkında detaylı bilgi sunacaktır. İlk olarak, uçağın tasarım süreci anlatılacaktır. Ardından, uçağın yapımı ve testleri hakkında bilgi verilecektir. Son olarak, elde edilen sonuçlar değerlendirilecek ve gelecekte yapılacak çalışmalar hakkında öneriler sunulacaktır. Şekil 1'de QTrainer uçak modeli gösterilmiştir.

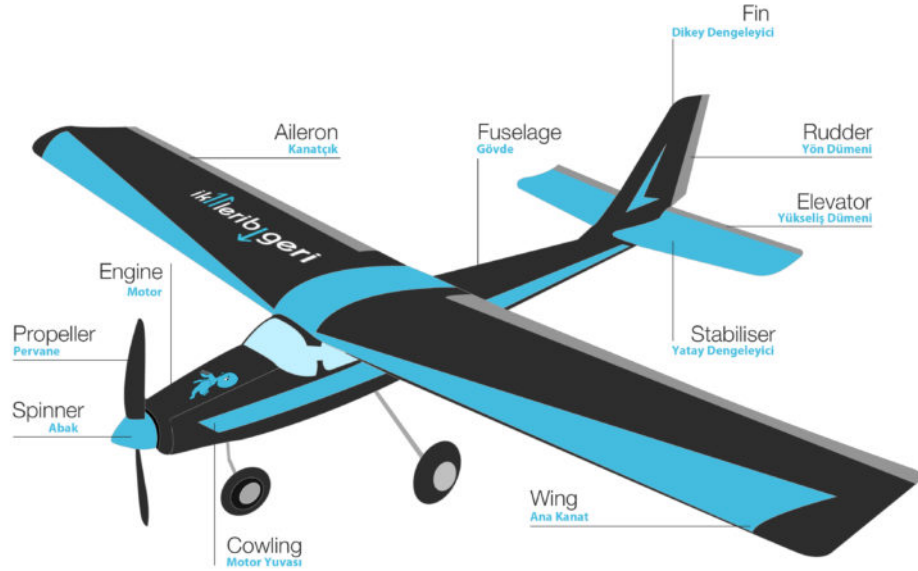


Şekil 1: Qtrainer uçak modellemesi

2 ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEM VE DONANIMLAR

2.1 Kullanılan Uçak Model Tasarımı

Tasarım aşamasında en önemli etken sabırlı olmaktır. Özellikle 3D yazıcıdan baskı alırken parça saatleri çok uzun sürdüğünden sabır daha büyük bir önem taşır. İşe uçağın kısımlarını bilerek başlanmalıdır. Şekil 2’de uçağın kısımları gösterilmiştir¹.



Şekil 2: Uçak kısımları [1]

- **Denge:** Yeni pilotlar için uçağı kontrol etmek oldukça zordur. Dengeli modeller tercih etmek bu yüzden önemlidir. Bazı faktörler uçağın dengesini arttırmaktadır. Bunlar; üstten kanat, büyük dihedral açısı, yüksek en boy oranı ve önden tekerlektir.

¹Kullanılan Uçak Model Tasarımı başlığı altındaki bilgiler kaynakça 1’den derlenmiştir.

- **Düşük Hızda Uçabilme Kabiliyeti:** Yavaş uçan modellerde düşünmek ve uçağın hareketlerine reaksiyon göstermek için yeterli vaktiniz olacaktır. Bu yüzden düz taban hava profilli, büyük kanat yüzeyine sahip, kalın kanatlı modeller tercih edilmelidir.
- **Yapım Kolaylığı ve Sağlamlık:** Seçeceğiniz uçak yapımı kolay ve basit olmalıdır. Çünkü uçak inşaatı için bir tecrübeniz olmayabilir. Dolayısıyla basit ve kolay modeller ilk uçak için işinizi görecektir. Aynı zamanda uçak düştüğünde tamir edilmesi gerekecek ve karmaşık bir modeli tamir etmek daha zor olacak ve zaman alacaktır.
- **Büyük Uçak:** Yeni başlayan biri için havada uçağı seçmek zor olabilir. Görünürlüğü arttırmak ve iyi kontrol sağlayabilmek için büyük veya orta boyutlu modeller içermelidir.

2.2 Uçağın Başarımına Etki Eden Faktörler

2.2.1 Aerodinamik kuvvetler

Bir uçağın üzerinde dört temel kuvvet rol oynar. Bunlar; **Lift:** Kaldırma kuvveti, **Thrust:** İtme kuvveti, **Gravity:** Yerçekimi kuvveti, **Drag:** Sürüklenme kuvvetidir².

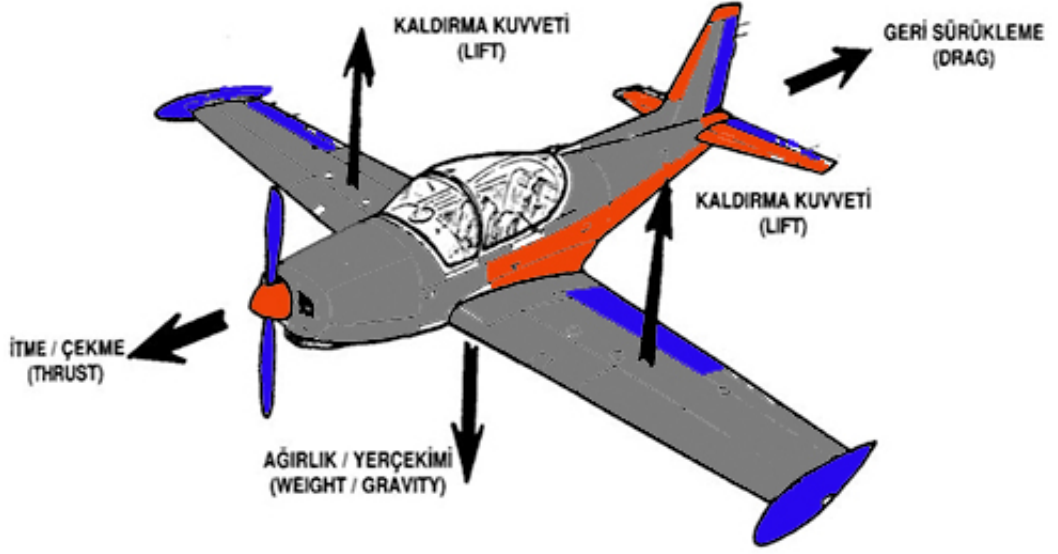
Bu dört kuvvetten kaldırma ve itme kuvvetleri uçağın uçuşu, yer çekimi ve sürüklenme kuvvetleri uçmaması için çabalar. Bu nedenle de bir uçağın sabit bir hızla ve sabit bir irtifada uçabilmesi için aşağıdaki her iki denklemin sağlanması gerekir;

$$\text{İtme kuvveti} = \text{Sürüklenme kuvveti} \quad (1)$$

$$\text{Kaldırma kuvveti} = \text{Yer çekimi kuvveti} \quad (2)$$

²Aerodinamik kuvvetler başlığı altındaki bilgiler kaynakça 2'den derlenmiştir.

Şekil 3’de uçağın aerodinamik kuvvetleri gösterilmiştir.



Şekil 3: Aerodinamik kuvvetler [2]

- **İtme Kuvveti:** Bir uçağın için gereken itme kuvveti, karşı kuvvet olan hava direncine karşı gelebilmesi amacıyla uçağın pervanesi veya jet motoru ile sağlanır. İtme kuvvetinin kaldırma kuvveti ile direkt ilişkisi vardır.
- **SürüklemE Kuvveti:** Bir uçağın üzerinde, tıpkı hareket halinde giden araçtan elimizi uzattığımızdaki gibi, havanın sürtünme kuvvetinin uyguladığı direnç vardır. Havanın sürtünme direnci, hızın kalitesi ile orantılıdır. Bu nedenle uçağın hızı arttıkça üzerinde düşen sürtünme direncide artar.
- **Yerçekim Kuvveti:** Hava dahil, dünyadaki herşeyin yer çekiminden kaynaklanan bir ağırlığı vardır.
- **Kaldırma Kuvveti:** Uçakların havada tutunmasını sağlayan bir kuvvettir. Uçaklarda bu kuvvet kanatlardan sağlanır. Kaldırma kuvveti Bernoulli Prensibi ne dayanır. Bu prensibe göre bir akışkanın hızı arttıkça basıncı düşer. [3]

Bir uçağın kanadının etrafında belirli bir hızın üzerinde hava akımı oluşturulduğunda, kanat üst yüzeyinde kanat alt yüzeyine göre daha düşük basınç oluşur. Alt yüzey-

deki basıncın yüksek olması ile kaldırma kuvveti elde edilir. Kaldırma kuvvetin etkisi ve basınç değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir.[3]



Şekil 4: Kanatta kaldırma kuvveti [3]

2.2.2 Kanat yerleşim yeri

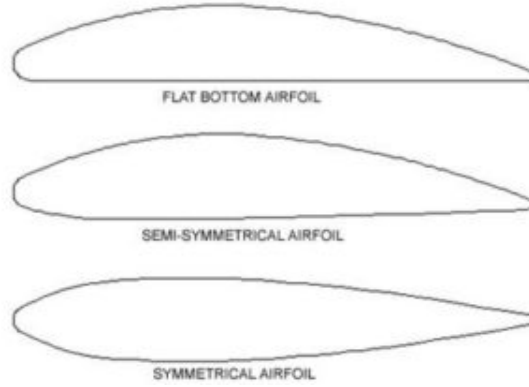
Kanatların görevi, basınç farkı oluşturarak uçağın havaya kalkmasını ve havada süzülmesini sağlamaktır. Kanadın konumu bakımından 3 farklı şekilde uçağa yerleştirilir. Bunlar: [4]

- **Alttan Kanat:** Günümüzde en çok kullanılan kanat tipidir en önemli getirisi iniş takımlarının yerleştirilebilir olmasıdır. Bir diğer avantajı ise uçak ile yer arasında tampon görevi görüyor olmasıdır. [4] Alttan kanatlı bir model de ise ağırlık uçağın kanadının üzerindedir. Bu yüzden havada daha dengesiz uçmaktadır. Yeni başlayanlar için uygun değildir. Ancak ileri eviyedeki pilotlar için özellikle akrobasi için uygundur. [1]
- **Ortadan Kanat:** Bu kanadın en önemli avantajı kanat-gövde birleşmesi için asgari bir alana ihtiyaç duymasıdır. Yani asıl amacı sürüklenmeyi azaltmaktır. [4]
- **Üstten Kanat:** Kargo uçaklarında doldur boşalt yapıldığı için kargo uçaklarında kullanılmaktadır. Diğer bir avantajı ise uçağa kazandığı kararlılıktır. Eğitim uçaklarında kullanılmaktadır. [4] Üstten kanatlı modellerde uçağın ağırlığı kanadın altında asılı bulunmaktadır. Bu yüzden havada uçarken daha dengelidir. Dengeli ve kontrolü kolay olduğundan, eğitim modelleri ve yeni başlayanlar için çok uygundur. [1]

2.2.3 Kanat kesidi

Kanat ucundan bakınca ya da kanadı önden arkaya doğru kestiğinizde ortaya çıkan alan kanat kesididir. Uçağın uçuş kalitesine etki eden ana faktörlerdendir. Genel olarak üç şekle ayrılır¹. Kanat kesitlerinin çeşitleri Şekil 5'te gösterilmiştir.

- **Düz Taban (Flat Bottom):** Kanat kesidinin alt tarafı tamamen düzdür. Yüksek kaldırma kuvveti ve düşük hızda uçuş kabiliyeti sağlar. Yeni başlayanlar için tavsiye edilir.
- **Simetrik Kanat Profili (Symmetrical Airfoil):** Kanat kesidinin altının ve üstünün simetrik olduğu modeldir. Düz ve ters uçuşlarda aynı kaldırma kuvveti sağlar bu yüzden akrobasi için çok uygundur. İleri seviye pilotlar tercih etmelidir.
- **Yarı-Simetrik Kanat Profili (Semi-Symmetrical Airfoil):** Düz taban ve Simetrik kanat profilinin karışımıdır. Her iki kanadında özelliklerini taşır. Orta seviye pilotlar için uygundur.



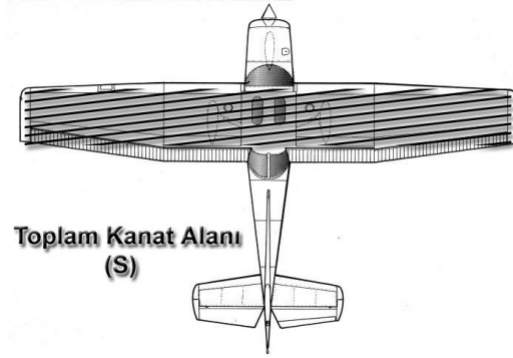
Şekil 5: Kanat kesitleri [1]

¹Kanat Kesidi başlığı altındaki bilgiler kaynakça 1'den derlenmiştir.

2.2.4 Kanat alanı

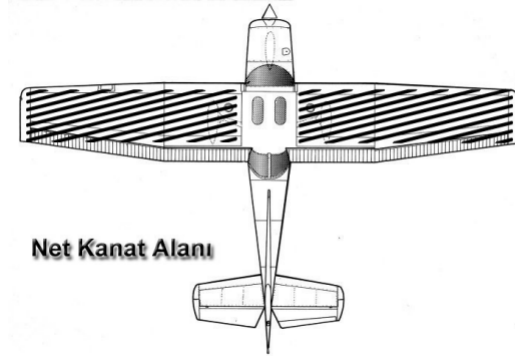
- **Toplam Kanat Alanı (S):** Uçak kanadına yukarıdan bakıldığında tüm kanadın üst görünüm alanı için kullanılan terimdir. Uçak ağırlığının kanat alanına bölünmesi ile kanat yükü hesaplanır. Şekil 6’de toplan kanat alanı gösterilmiştir⁵.

$$\text{Kanat Yükü} = \text{Uçak Ağırlığı} / \text{Kanat Alanı} \quad (3)$$



Şekil 6: Toplam kanat alanı [5]

- **Net Kanat Alanı:** Uçağın gövde bölümü haricinde kanat alanına verilen isimdir. Şekil 7’de alan gösterilmiştir.

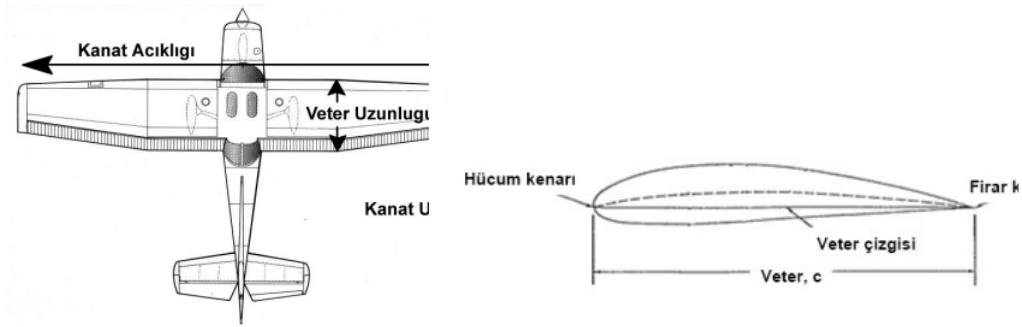


Şekil 7: Net kanat alanı [5]

⁵Kanat Alanı başlığı altındaki bilgiler kaynakça 5’den derlenmiştir.

- **Kanat Açıklığı ve Veter Uzunluğu:** Dikdörtgen bir kanadın üstten bakıldığında iki ucu arasındaki mesafeye **Kanat Açıklığı**, kanadın gövde uzunluğundaki genişliğe ise **Veter Uzunluğu** denir. Bir profilin hücum ve firar kenarlarından geçen doğruya da **Veter Çizgisi** denir. Kanat açıklığı ile veter uzunluğunun çarpımı toplam kanat alanını verir. Şekil 8’de bu değerler gösterilmiştir.

$$S = B \times C \quad (4)$$

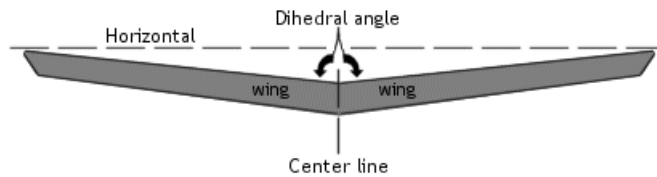


Şekil 8: Kanat açıklığı ve veter [5]

- **Açıklık Oranı (Aspect Ratio):** Dikdörtgen bir kanadın kanat açıklığının veter uzunluğuna olan oranına denir. Fakat değişik kanat tipleri vardır ve veter uzunlukları kanat açıklığı boyunca farklılık gösterir.

2.2.5 Dihedral

Kanadın V şeklinde olan açısıdır. Bu açı ne kadar artarsa uçak o kadar dengeli uçar. Ancak akrobasi yapamaz. Eğitim modellerinde bu açı daha fazladır. Şekil 9’da bu açı gösterilmiştir [5].



Şekil 9: Dihedral açısı [5]

2.3 Rc Uçak Modeli İçin Kullanılan Donanımlar

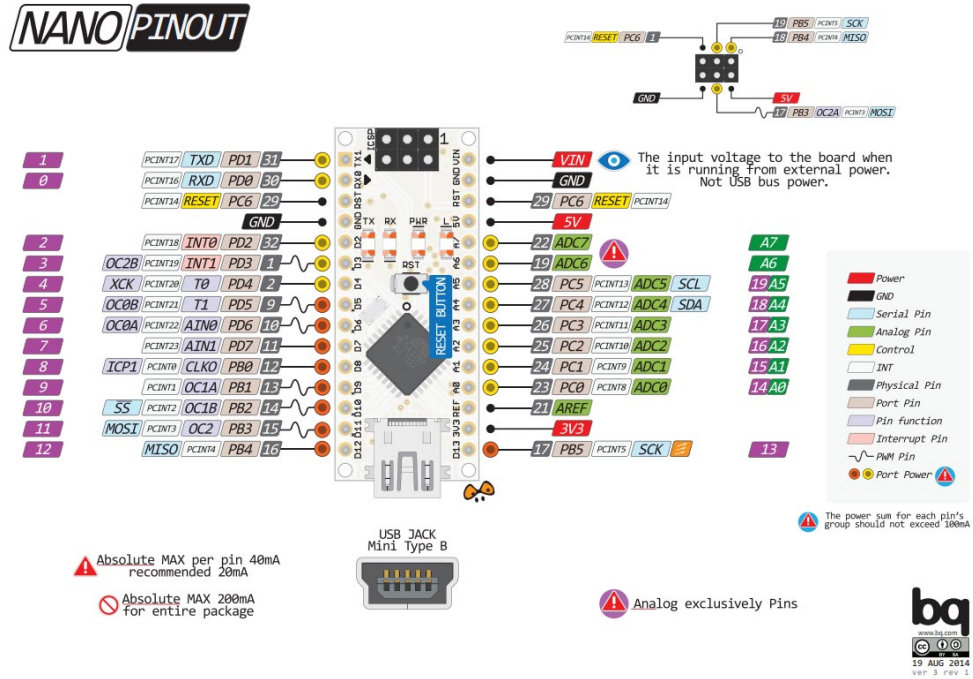
2.3.1 Arduino Nano

Arduino; Bir giriş çıkış kartı ve işleme/yazma dilinin bir uygulamasını içeren geliştirme ortamında programlanabilen bir karttır. Arduino, açık kaynak kodlu yazılım ve donanıma sahip bir mikrodenetleyici platformudur. Arduino geliştirme kartı üzerindeki mikroişlemci arduino programlama dili ile programlanır ve bu program arduino geliştirme ortamı (IDE) yardımı ile karta yüklenir. Şekil 10'da Arduino Nano'nun ön ve arka yüzü bulunmaktadır [10].



Şekil 10: Arduino Nano ön ve arka yüzü [6]

Şekil 11'de Arduino Nano'nun pin çıkışları gösterilmiştir.



Şekil 11: Arduino Nano pin diyagramı [6]

Ardunio Nano'nun teknik özellikleri:⁶ Mikrodenetleyicisi ATmega328'dir. 5V ile çalışır ancak tavsiye edilen besleme gerilimi 7 ila 12 V arasındadır. Dijital giriş çıkış pinleri 14 adet ile sınırlıdır ve bunların 6 adeti PWM çıkışını destekler. Analog giriş pinleri ise 8 adettir. Saat frekansı 16 Mhzdir ve 18mm x 45mm boyutlarında 5g ağırlığa sahiptir.

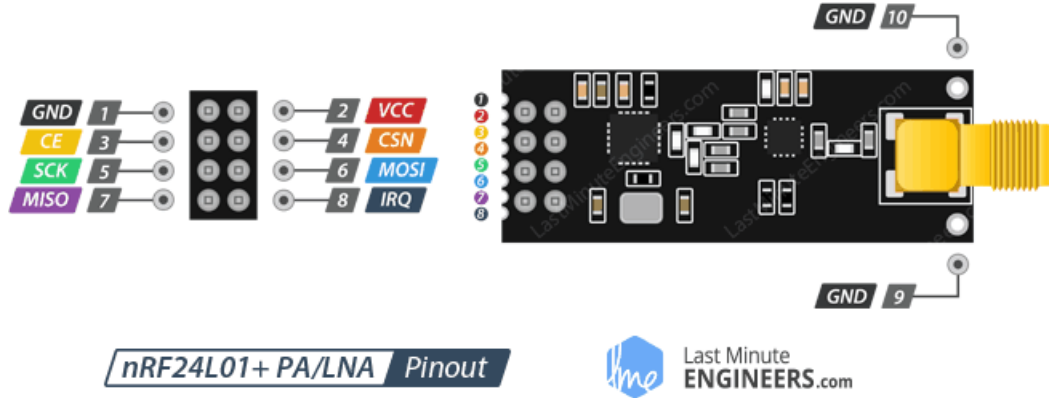
Giriş ve Çıkışlar Ardunio Nanoda bulunan 14 tane dijital giriş çıkışların tamamı pinMode(), digitalWrite() ve digitalRead() fonksiyonları ile ister giriş ister çıkış olarak kullanılabilir. Bu pinler 5V ile çalışır ve her pin maksimum 40mA akım çeker.

- **Serial 0(RX) ve 1 (TX):** Bu pinler seri data almak ve yaymak için kullanılır.
- **Harici Kesmeler (2 ve 3):** Bu pinler dışarıdan kesmeyi tetiklemek için kullanılır.
- **PWM: 3,5,6,9,10 ve 11:** Bu pinler analogWrite() fonksiyonu ile 8-bit PWM sinyali sağlar.
- **SPI: 10(SS), 11(MOSI), 12(MISO), 13(SCK):** Bu pinler SPI kütüphanesi ile SPI haberleşmesini sağlar.
- **LED 13:** Dijital pin 13'e bağlı bir leddir. High olduğunda kartın üzerindeki led yanar.

2.3.2 nRF24L01 modülü

Nordic firması tarafından geliştirilen 2.4Ghz frekans bandında hem alıcı hemde verici olarak çalışabilen bir kablosuz haberleşme çipidir. nRF24L01 mikrodenetleyiciler ile SPI haberleşme protokolü ile iletişim kurar. Piyasada modül olarak üretilir ve satılır. Giriş ve çıkışları Şekil 12'de gösterilmiştir. [7]

⁶Ardunio Nano'nun teknik özellikleri kaynakça 6'dan derlenmiştir.



Şekil 12: nRF24L01 PA/LNA antenli versiyonu giriş ve çıkışları [8]

- **GND:** Topraklama pinidir.
- **VCC:** Güç pinidir. Ardunio'nun 3.3V pinine bağlanması gerekir. 5V ile çalışmaz.
- **CE:** Aktif HIGH pinidir. nRF24L01 moduna bağlı olarak veri gönderir ya da alır.
- **CSN:** Aktif LOW pinidir. Normalde HIGH tutulur LOW olduğunda SPI portunu veri alımı moduna geçir.
- **SCK:** Master tarafından sağlanan saat hareketidir.
- **MOSI:** nRF24L01'in SPI girdisidir.
- **MISO:** nRF24L01'in SPI çıktısıdır.

nRF24L01 çalışma mantığı:⁹ Nrf24l01 modülü kanal adı verilen belirli bir frekansta veri iletir ve alır. Ayrıca iki veya daha fazla verici ve alıcı ile haberleşmeleri için aynı kanaldan yayın yapması gerekir. Bu kanal 2.4Ghz ISM bandındaki herhangi bir frekans olabilir.

Her bir kanal, 1 MHz'den daha dar bir bant genişliği kullanır. Bu durumda, 1 MHz aralıklarla 125 farklı kanal oluşturulabilir. Bu, modülün 125 adet bağımsız çalışan modemden oluşan bir ağı destekleyebileceği anlamına gelir. Her bir modem, ayrı bir kanalı kullanarak iletişim sağlayabilir.

⁹nRF24L01 Çalışma Mantığı kaynakça 9'dan derlenmiştir.

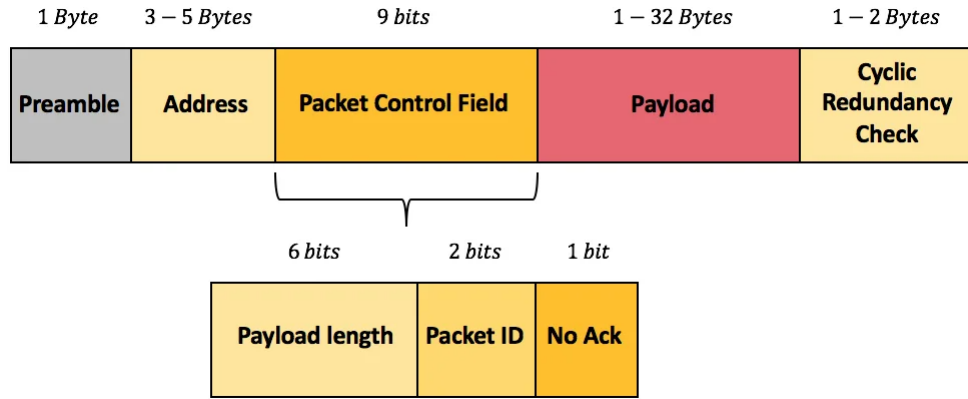
Her bir kanal, 1 MHz'den daha dar bir bant genişliği kullanır ve 250 kbps ile 1 Mbps veri hızlarında kullanılabilir. Ancak, 2 Mbps hava veri hızında, 2 MHz bant genişliği gerekmektedir. Bu nedenle, çakışmaları önlemek ve 2 Mbps modunda çapraz konuşmayı azaltmak için iki kanal arasında 2 MHz'lik bir boşluk bırakmak önemlidir.

Kanal seçimi için RF kanal frekansı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\text{Frekans(seçilen)} = 2400 + \text{CH(seçilen)} \quad (5)$$

Örneğin, 112. kanalı veri iletimi için seçersek, RF kanal frekansı 2512 MHz ($2400 + 112$) olacaktır. Bu şekilde kanallar arasında frekans ayrımı sağlanır ve çakışma riski azaltılır.

nRF24L01 enhanced shockBurst protokolü:⁹ nRF24L01 alıcı-verici modülü, Enhanced ShockBurst olarak bilinen bir paket yapısı kullanır. Bu basit paket yapısı, Şekil 13'de gösterilen 5 farklı alana bölünmüştür.



Şekil 13: Enhanced shockburst paket yapısı [9]

Orijinal ShockBurst yapısı sadece **Başlangıç (Preamble)**, **Adres (Address)**, **Yük (Payload)** ve **Döngüsel Artıklık Kontrolü (CRC)** alanlarından oluşur. Enhanced ShockBurst ise **Paket Kontrol Alanı (PCF)** olarak adlandırılan yeni bir özellik ekleyerek iletişimde daha gelişmiş işlevsellik sağlar.

⁹nRF24L01 enhanced shockBurst protokolü kaynakça 9'dan derlenmiştir.

Bu yeni yapı birçok sebepten dolayı kullanışlıdır. İlk olarak, faydalı yük uzunluk belirteciyle değişken uzunluktaki faydalı yüklere izin verir. Yani, iletilmek istenen verilerin 1 ila 32 bayt arasında değişebileceği anlamına gelir.

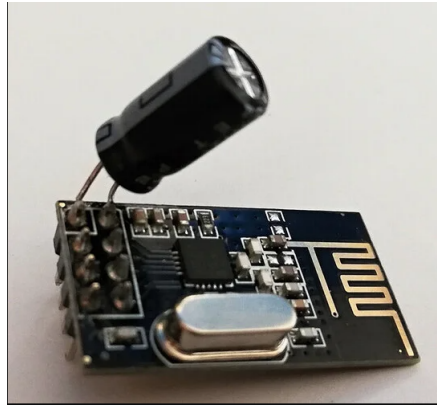
İkinci olarak, her pakete bir paket kimliği atanır. Bu, alıcı cihazın bir mesajın yeni olup olmadığını veya daha önce iletilip iletilmediğini (ve dolayısıyla göz ardı edilebileceğini) belirlemesine olanak sağlar.

Son olarak ve en önemlisi, her mesajın gönderildikten sonra bir onay talep etmesine izin verir. Başka bir cihaz tarafından alındığında geribildirim olarak iletişimin güvenilirliğini artırır.

Enhanced ShockBurst, nRF24L01 modülünün iletişim performansını ve güvenilirliğini iyileştiren bir özelliktir ve birçok uygulamada kullanılmaktadır.

Sorunların çözülmesi ve menzil iyileştirmeleri:⁹ RF devreleri, güç kaynağı gürültüsüne karşı son derece hassastır. Eğer güç kaynağı gürültüsü kontrol altına alınmazsa, sinyal menzili önemli ölçüde azalabilir.

Eğer güç kaynağı bir pil değilse, güç üretimi ile ilişkili gürültü oluşma ihtimali yüksektir. Bu gürültünün RF devresine girmesini önlemek için, güç kaynağı hattına mümkün olduğunca yakın bir konuma 10 μ F değerinde bir filtre kondansatörü yerleştirmek önemlidir. Şekil 14’de kondansatörün nereye (1. ve 2. pin) lehimlenmesi gerektiği gösterilmiştir.

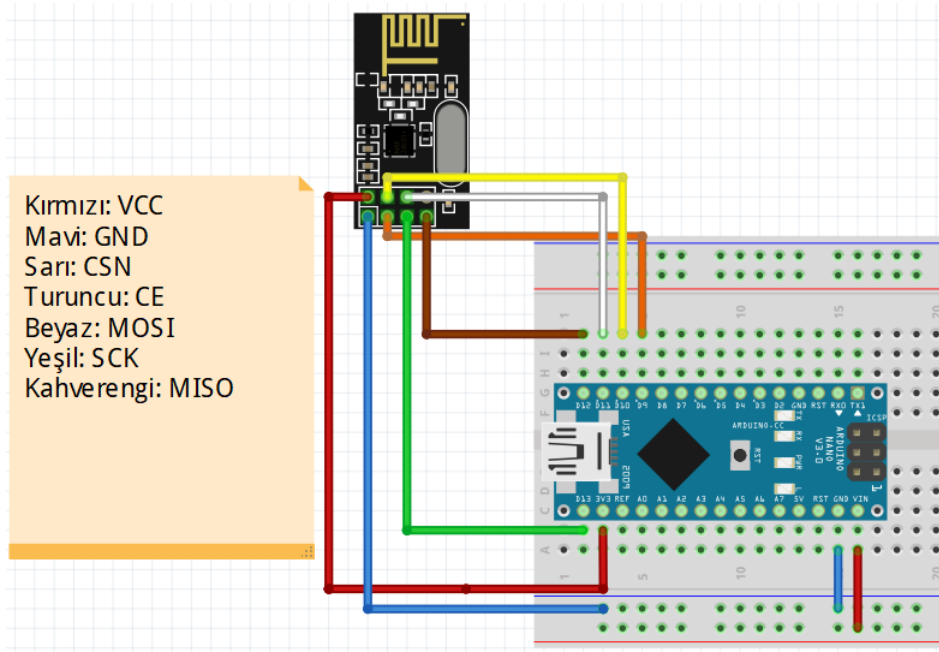


Şekil 14: 10 μ F filtre kondansatörü yerleştirilmesi [9]

⁹Sorunların çözülmesi ve menzil iyileştirmeleri kaynakça 9’dan derlenmiştir.

Bu filtre kondansatörü, güç kaynağından gelen yüksek frekanslı gürültüyü emerek RF devresine ulaşmasını engeller. Böylece, RF devresinin performansını korur ve istenmeyen girişimlerden etkilenmez.

Şekil 15’de Arduinio Nano ile nRF24L01 modülünün örnek bir bağlantı şeması gösterilmiştir.



Şekil 15: Arduinio Nano ve nRF24L01 bağlantı şeması

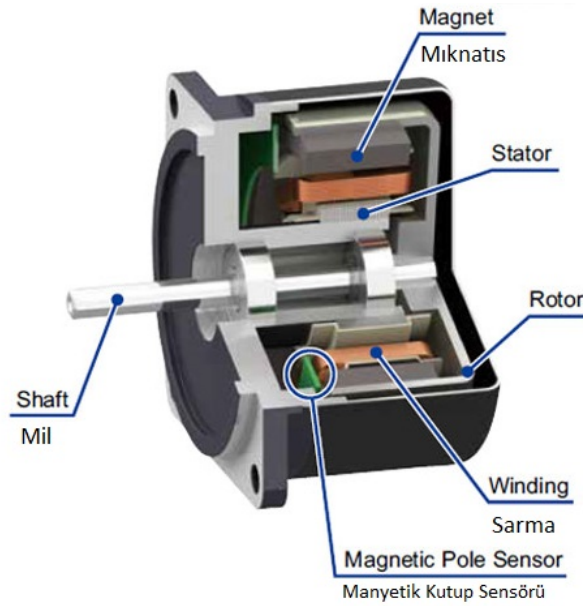
2.3.3 Elektrikli hız kontrolcü cihazı (ESC)

Fırçalı veya fırçasız bir elektrikli motorun hızını kontrol eden ve bataryadan gelen akımı düzenleyen devre kartıdır. Bu devre kartı motorun tersine dönerek dinamik frenleme yapmasını da sağlar [11].

ESC, motorun hızını kontrol etmek için geleneksel bir düğme veya anahtar yerine sinyalleri işleyerek hız kontrolünü gerçekleştirir. Genellikle bir mikrodenetleyici veya özel bir kontrol devresi kullanılarak çalışır. ESC, gelen sinyalleri algılar ve motorun gücünü ve hızını buna göre düzenler.

2.3.4 Fırçasız motor

Fırça ve komütatöre bağımlı olan normal DC motorlar, geniş bir kullanım alanına sahip olsa da, bakım gerektirmeleri ve fırçalarının aşınması nedeniyle bazı ortamlarda kullanımını kısıtlayabilir. Örneğin, disket ya da CD sürücüler gibi sabit dönme hızı gerektiren uygulamalarda, zamanla fırça aşınması nedeniyle dönme hızında değişiklikler meydana gelebilir. Ancak, fırçasız (brushless) DC motorlar, fırça ve komütatör yerine yarı iletken anahtarlar kullanarak çalışırlar. Rotor kısmında güçlü doğal mıknatıslar bulunurken, stator da bobinli sargılar bulunur. Bu teknolojik gelişmelerle birlikte, brushless DC motorlar, robot projeleri dahil olmak üzere birçok alanda kullanım bulmuştur. Geleneksel motorlara kıyasla daha yeni bir teknoloji olmalarına rağmen, fırçasız motorlar çağımızda hemen hemen her ortamda karşımıza çıkmaktadır [13]. Şekil 16'da fırçasız motorun parçaları gösterilmiştir.



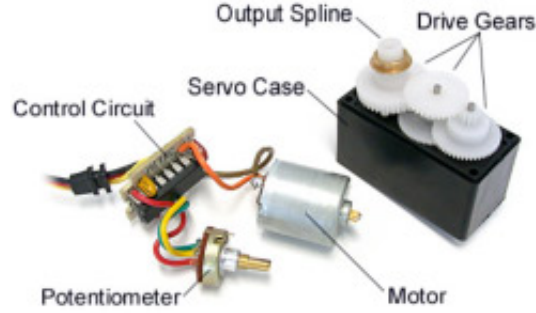
Şekil 16: Fırçasız motor parçaları [12]

2.3.5 Servo Motor

Servo, mekanizmalardaki açısal-doğrusal pozisyon, hız ve ivme kontrolünü hatasız bir şekilde yapan tahrik sistemi olarak tanımlanır. Servolar robotik alanda çok kullanılmakla birlikte RC(Radio Controller) uygulamalarında da kullanılmaktadır. Servolar istenilen po-

zasyonunu korur ve yeni bir komut gelmediği sürece o pozisyonda kalması için tasarlanmıştır¹⁶.

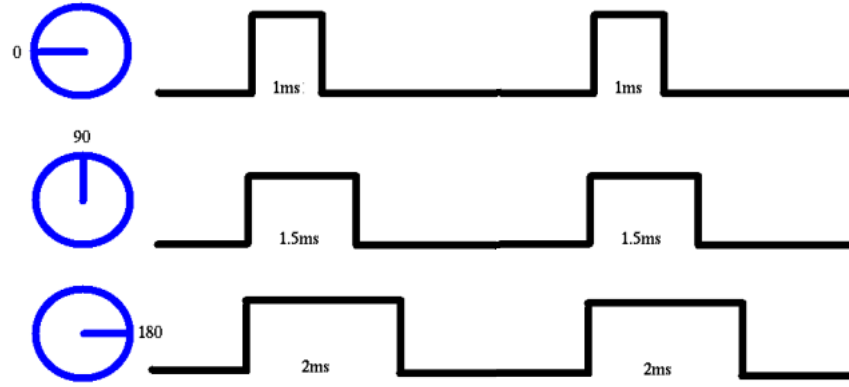
Çalışma prensibi: Servoların içerisinde hareketi sağlayan bir dc motor bulunmaktadır. bu motora bağlı bir dişli mekanizma, potansiyometre ve motor sürücü devresi vardır. Potansiyometre motor milinin dönüş miktarını ölçer. Servo içerisindeki motor hareket ettikçe potansiyometre döner ve kontrol devresi motorun bulunduğu pozisyon ile istenilen pozisyonu karşılaştırarak motor sürme işlemini gerçekleştirir. Servolar genellikle 180 derece ile sınırlıdır. Çalışma gerilimleri 4.8v ile 6v arasındadır. Şekil 17’de servonun iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 17: Servo Motorun iç yapısı [16]

Servo Motorlar PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) sinyalleri ile çalışmaktadırlar. Bu sinyaller bir mikrodenetleyici veya uzaktan kumanda ile sağlanabilmektedir. Pals uzunlukları motorun dönüşünü belirler. Servo, her 20ms içerisinde bir pals değeri okumaktadır. Pals uzunluğu motorun dönüş açısını belirler. Servolar başlangıçta istenilen değere hareket eder ve o pozisyonu korur eğer güç uygulanırsa o pozisyonu korumak için güce direnirler. Ancak konumunu sonsuza kadar koruyamazlar palsin tekrar etmesi gerekir. Şekil 18’de gelen pwm sinyallerine göre motorun yaptığı dereceler gösterilmiştir.

¹⁶Servo Motor altındaki bilgiler kaynakça 16’dan derlenmiştir.



Şekil 18: Servo pwm değerleri ve dönüş açısı [16]

2.3.6 Lipo pil

LiPo piller (Lityum Polimer), polimer elektrolit kullanan ve tekrar şarj edilebilen, lityum iyon tabanlı bir pil teknolojisidir. LiPo piller, günümüzde pek çok tüketici elektroniği cihazında yaygın olarak kullanılan bir pil türüdür. Bu piller, sıvı elektrolit yerine polimer elektrolit kullanmasıyla diğer lityum iyon pillerden farklılık gösterir. LiPo piller, kullanılmadıkları zamanlarda enerji kaybı çok düşük olması ve yüksek güç sağlaması gibi avantajlara sahiptir. Bu nedenle, enerji yoğun uygulamalarda ve taşınabilir elektronik cihazlarda tercih edilen bir güç kaynağıdır¹⁴.

LiPo piller (Lityum Polimer), kuru elektrolit polimerleri kullanarak çalışan bir pil teknolojisidir. Bu pillerin yapısında, elektrotlar arasında doğrudan teması önlemek için ince bir plastik film üzerine kaplanmış polimer tabakalar bulunur. Bu tabakalar, birbirinin üzerine yığılmış şekilde yer alır ve pilin iç yapısını oluşturur. LiPo pillerin özel bir özelliği ise, elektrot parçacıklarının değil, yalnızca iyonların bir taraftan diğerine geçmesine izin veren mikro yapıda gözenekli bir ayırıcının kullanılmasıdır. Bu ayırıcı, iyon iletimini sağlarken elektrotlar arasında doğrudan teması engeller. Bu sayede, LiPo piller daha güvenli, daha verimli ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olurlar. Şekil 19’da lipo pilin kısımlarına değinilmiştir.

¹⁴Lipo pil başlığı altındaki bilgiler kaynakça 14’ten derlenmiştir.

- **Gerilim/Hücre sayısı:** Lipo piller hücrelerden meydana gelir her bir hücrenin boş hali 3V dolu hali ise 4.2V olmalıdır. Hücreler seri(S) ve paralel(P) bağlı olabilirler. S değeri arttıkça pilin voltajı, P değeri arttıkça pilin kapasitesi artar.
- **Kapasitesi:** Pilin kapasitesi ne kadar güç tutabileceğini belirler. Ölçme birimi miliamper saattir(mAh). Kapasite ne kadar büyük olursa çalışma süresi o kadar artar.
- **Deşarj oranı (C):** Pilin deşarj olma kabiliyetlerini belirleyen bir kat sayıdır. Lipo pillerin hızlı deşark olabilme kabiliyetleri deşarj katsayısı(C) x Kapasite(mAh) formülü kullanarak hesaplanır [15].



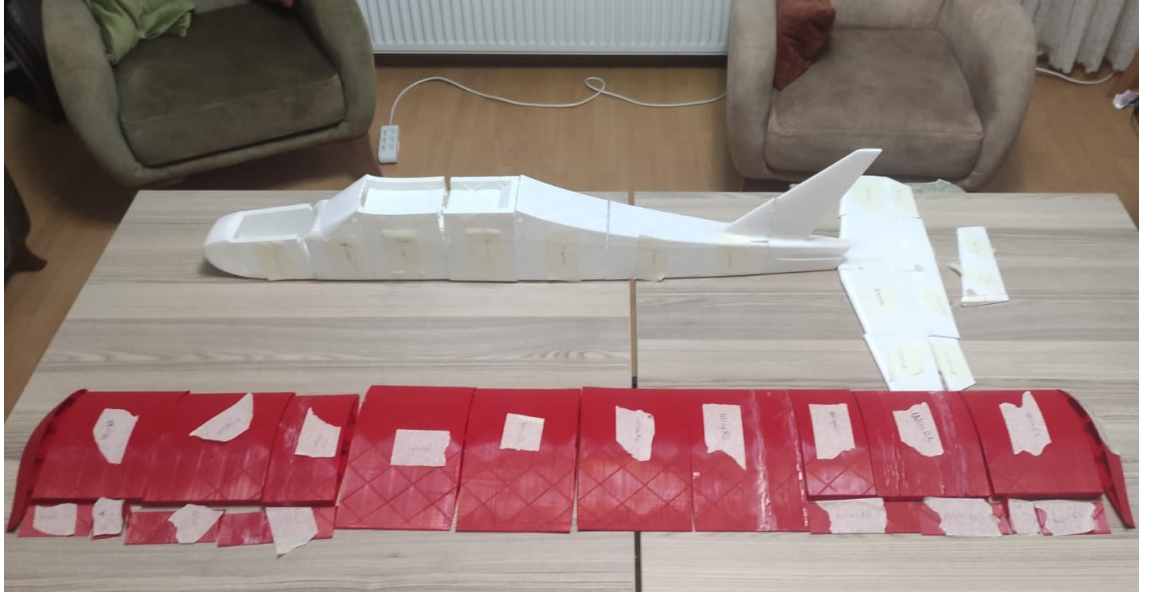
Şekil 19: Lipo pil [15]

3 QTRAINER MODEL UÇAĞIN GERÇEKLENMESİ

Bu başlık altında modelin seçimi, alıcı ve verici devresi ve son olarak kodlara değinilecektir.

3.1 Qtrainer Model Seçimi

Qtrainer model uçak bir eğitim uçağı olmasının yanı sıra üstten kanat, kalın kanat ve büyük yük lük avantajları da sunar. Bu avantajları sayesinde model uçağı kontrol etmesi kolaylaşır ve daha düşük hızlarda havada süz üleb ilmesini sağlar. Acemi pilotlar için eğitim uçakları birebirdir. Bu yüzden model uçak olarak qtrainer model uçak tercih edilmiştir. Parçaları 3D yazıcıdan basılacak şekilde ayarlanmıştır. Böylece el iş i olarak sadece yapıştırma iş lemi yapılmaktadır. Şekil 20’de 3D yazıcıdan çıkan parçalar gösterilmiştir.







Şekil 20: Qtrainer model uçağın 3d parçaları

3.2 Verici Devresi

Uçağı uzaktan kontrol etmek için kullanılan kumanda devresidir. Tablo 1’de verici devresinin malzeme listesi gösterilmiştir.

Malzeme Adı	Adet	Görsel
Ardunio Nano	1	
nRF24l01	1	
Joystick	2	
100K Dikey Potansiyometre	2	
Toggle Buton	2	
Push Buton	4	
18650 Lityum İyon Pil Yuvası	1	
3.7V Li-ion 2000 Mah Şarjlı Pil	1	

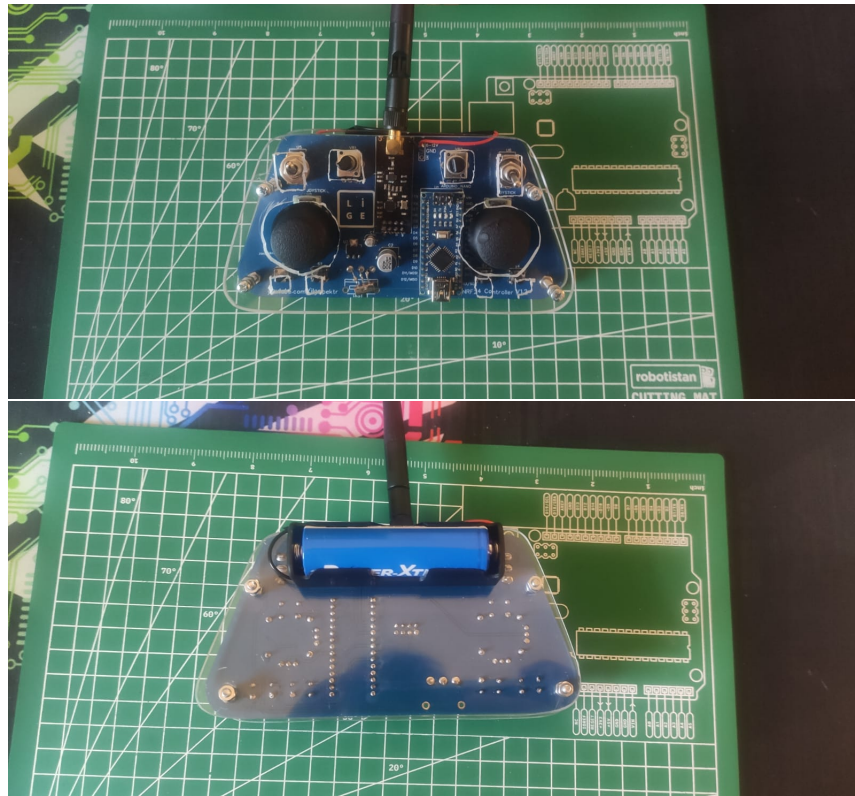
Malzeme Adı	Adet	Görsel
10uF 16V SMD Elektrolitik Kondansatör	1	
100uF 50V SMD Elektrolitik Kondansatör	1	
AMS1117-3.3V Voltaj Regülatörü	1	
NRF24 İlge İpek RC Kumanda	1	

Tablo 1: Verici malzeme listesi

- **Ardunio Nano:** Analog değerleri işler ve nRF24L01 modülüne iletir.
- **nRF24L01:** SPI haberleşme modülünü kullanarak kablosuz olarak alıcıdaki nRF24L01 modülü ile haberleşir.
- **Joystick:** 0 ile 5V aralığındaki değerleri x ve y eksenindeki potansiyometreler sayesinde analog değerlere dönüştürür.
- **100k dikey potansiyometre:** Bir devredeki akımı veya voltajı kontrol etmek için kullanılan devre elemanlarıdır.
- **Toggle Buton:** 0 veya 1 üreten devre elemanıdır. Dokunulmadığı sürece aynı değerinde kalır.
- **Push Buton:** Basıldığı sürece 1 üreten basılmadığında ise 0 gösteren devre elemanıdır.
- **18650 lityum iyon pil yuvası:** Pilin devreye enerji vermesi için kullanılan yuvadır.
- **3.7v Li-on 2000mAh şarjlı pil:** Kumanda devresine enerji vermesi için kullanılan pildir. Uzun süre kullanılabilir ve tekrar şarj edilebilir.

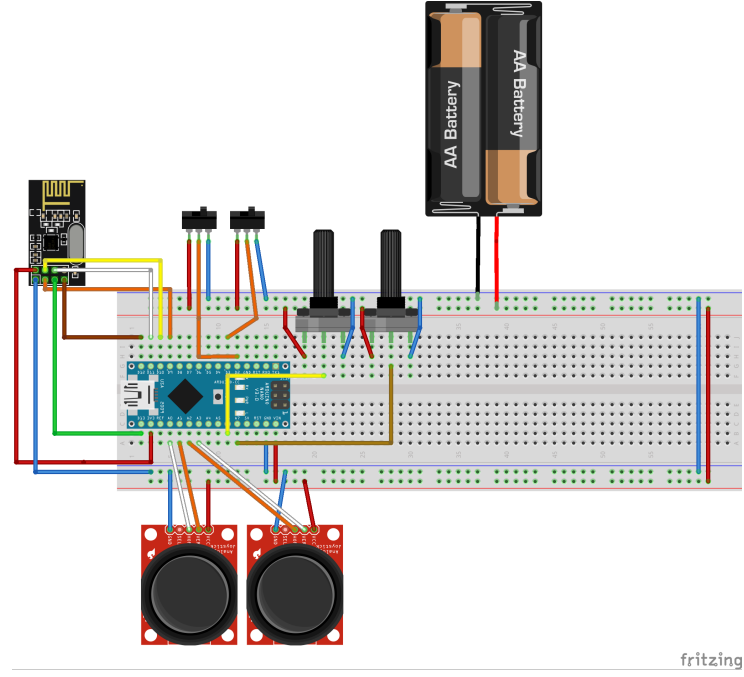
- **10uF 16V smd kondansatör:** Arduniodaki gerilim dalgalanmaların önüne geçmek ve daha sabit bir gerilim göndermek için filtreleme görevi yapar.
- **100uf 50v smd kondansatör:** nRF24L01 modülünü vcc ve gnd bacağına bağlıdır. Gürültüyü azaltmak ve daha stabil bir iletim için filtreleme görevi görür.
- **AMS1117-3.3V voltaj regülatörü:** pilden gelen voltajı düşürerek stabil 3.3V'a çevirir böylece nrf24l01 daha stabil ve daha hasas çalışabilir.
- **NRF24 İlge İpek Kumanda:** Kumanda devre kartının kendisidir. Malzemeler üstüne lehimlendikten sonra kullanılabilir olur. Uçağı kontrol edecek kumandadır.

Şekil 21'de kumanda devresinin bitmiş hali gösterilmiştir.



Şekil 21: Kumanda devresi

Şekil 22’de verici devresinin bağlantı şeması gösterilmiştir.



Şekil 22: Verici devresi

Kod 1’de verici devresinin kodları verilmiştir.

```
1 #include <SPI.h>
2 #include <nRF24L01.h>
3 #include <RF24.h>
4
5 const uint64_t pipeOut = 0xE9E8F0F0E1LL; //Bu adres alici ile
    aynı olmalı
6 RF24 verici(9, 10); // CE ve CSN pinlerin secimi
7
8 int solToggle = 2;
9 int solToggleDeger = 0;
10
11 struct Signal {
12 byte throttle;
13 byte pitch;
14 byte roll;
15 byte yaw;
```



```

16 };
17
18 Signal data;
19
20 void ResetData()
21 {
22     data.throttle = 127; // (254/2=127) | Motor Kapali sinyal
        kesildigindeki pozisyon)
23     data.pitch = 127; // Merkez (sinyal kesildigindeki pozisyon)
24     data.roll = 200; // Merkez (sinyal kesildigindeki pozisyon)
25     data.yaw = 127; // Merkez (sinyal kesildigindeki pozisyon)
26 }
27
28 void setup()
29 {
30     //Start everything up
31     Serial.begin(9600);
32     verici.begin();
33     verici.openWritingPipe(pipeOut);
34     verici.stopListening(); //Verici olarak sinyal iletisini
        baslatiliyor
35     ResetData();
36     pinMode(solToggle, INPUT);
37 }
38
39 // Joystick merkez ve sinirlari
40
41 int mapJoystickValues(int val, int lower, int middle, int upper,
        bool reverse)
42 {
43     val = constrain(val, lower, upper);
44     if ( val < middle )
45     val = map(val, lower, middle, 0, 128);

```

```


46 else
47 val = map(val, middle, upper, 128, 255);
48 return ( reverse ? 255 - val : val );
49 }
50
51 void loop()
52 {
53 // Kumanda Kol Kalibrasyonlari
54 // "true" veya "false" servo yonunu belirler
55 solToggleDeger = digitalRead(solToggle);
56
57 if(solToggleDeger == 1){
58 data.throttle = mapJoystickValues( analogRead(A0), 0, 499, 1023,
59                                     false );
60 }else{
61 data.throttle = mapJoystickValues( 0, 0, 499, 1023, false );
62 }
63
64 data.pitch = mapJoystickValues( analogRead(A1), 12, 524, 1020,
65                                 true );
66
67 data.yaw = mapJoystickValues( analogRead(A2), 12, 524, 1020,
68                               true );
69
70 data.roll = mapJoystickValues( analogRead(A3), 12, 524, 1020,
71                               true );
72
73 // Serial.print("Gaz: ");
74 // Serial.println(analogRead(A0));
75 // delay(1000);
76
77 verici.write(&data, sizeof(Signal));
78 }

```

Kod 1: Verici devresi kodu

3.3 Alıcı Devresi

Uçağın içinde bulunan ve vericiden gelen verilere göre motorları kontrol eden alıcı devredir. Tablo 2’de alıcı devresi için malzeme listesi gösterilmiştir.

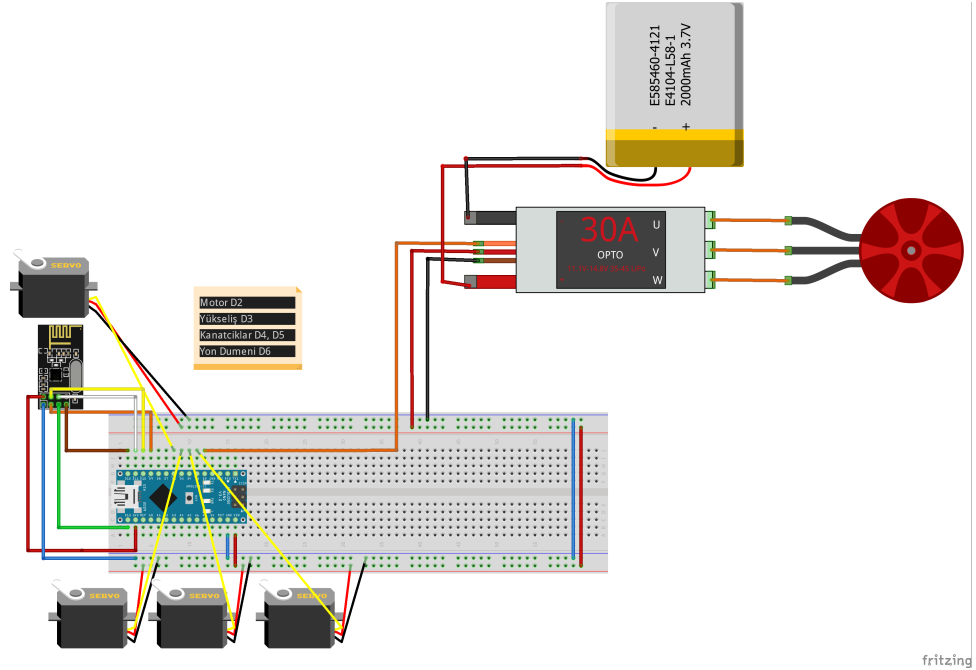
Malzeme Adı	Adet	Görsel
Ardunio Nano	1	
nRF24l01	1	
Servo Motor	4	
A2212 1400KV Fırçasız Motor	1	
30A ESC	1	
1045 Pervane	1	
11.1 V 35C 2250mAh Lipo Pil	1	
Yaylı çelik tel 1 metre	3	
Pinli Plastik Menteşe L20×W36mm	11	

Tablo 2: Alıcı malzeme listesi

- **Ardunio Nano:** Vericiden gelen bilgileri alarak motorları süren mikrodenetleyici kartıdır.

- **nRF24L01:** Vericideki nRF24L01 ile haberleşir aldığı verileri arduino'ya iletir.
- **Servo Motor:** Arduniodan gelen pwm sinyallerine göre belirli açılar yapar. Kanatçıklarn hareketi için önemlidir.
- **A2212 1400KV Fırçasız Motor:** Uçağı uçurmaya yarayan ana motor pervane takılarak uçağı uçurmaya yarar.
- **30A ESC:** Lipo pilden gelen voltajı sisteme vermek ve fırçasız motorun yön ve hızını ayarlamak için önemli devre elemanıdır.
- **1045 Pervane:** Fırçasız motora bağlanır böylece kanatlardan geçen hava akımı sayesinde kendi yükünü kaldırabilir.
- **11.1V 35C 2250mAh Lipo Pil:** Motorlara ve sisteme gerilim verilmesi için kullanılan güç kaynağıdır. Alıcı devresine güç verir.

Şekil 23'de alıcı devresinin bağlantı şeması gösterilmiştir.



Şekil 23: Alıcı devresi

Kod 2'de alıcı devresinin kodları verilmiştir.

```

1 //yükselis D3
2 //Kanatciklar D4, D5
3 //Yon Dumeni D6
4
5 #include <SPI.h>
6 #include <nRF24L01.h>
7 #include <RF24.h>
8 #include <Servo.h>
9
10 int motor = 0;
11 int yonDumeni = 0;
12 int kanatcikSol = 0;
13 int kanatcikSag = 0;
14 int yukselisDumeni = 0;
15
16 Servo motor Servo;
17 Servo yonDumeniServo;
18 Servo kanatcikServoSol;
19 Servo kanatcikServoSag;
20 Servo yukselisDumeniServo;
21
22 struct Signal {
23     byte throttle;
24     byte pitch;
25     byte roll;
26     byte yaw;
27 };
28
29 Signal data;
30
31 const uint64_t pipeIn = 0xE9E8F0F0E1LL;
32 RF24 alici(9, 10);

```

```

33
34 void ResetData()
35 {
36     // Veri girislerinin baslangic degerleri
37     // (254/2=127) | Joystickler icin orta konum
38     data.throttle = 127; // Motor Orta Konumda
39     data.pitch = 127; // Merkez
40     data.roll = 127;
41     data.yaw = 127; // Merkez
42 }
43
44 void setup()
45 {
46     //Her bir PWM sinyal icin pinler belirleniyor.
47     motorServo.attach(2, 1000, 2000);
48     yonDumeniServo.attach(3);
49     kanatcikServoSol.attach(4);
50     kanatcikServoSag.attach(5);
51     yukselisDumeniServo.attach(6);
52
53     ResetData();
54     alici.begin();
55     alici.openReadingPipe(1,pipeIn);
56
57     alici.startListening(); // Alici olarak sinyal iletisimi
58                             baslatiliyor
59 }
60
61 unsigned long lastRecvTime = 0;
62
63 void recvData()
64 {
65     while ( alici.available() ) {

```

```

65     alici.read(&data, sizeof(Signal));
66     lastRecvTime = millis();    // data aliniyor
67 }
68 }
69
70 void loop()
71 {
72     recvData();
73     unsigned long now = millis();
74     if ( now - lastRecvTime > 1000 ) {
75         ResetData(); // Sinyal kayipsa data resetleniyor
76     }
77
78     motor = map(data.throttle, 0, 255, 1000, 2000);    // pin
79         D2 (PWM signal)
80     yukselisDumeni = map(data.pitch, 0, 255, 1000, 2000); // pin
81         D3 (PWM signal)
82     kanatcikSol = map(data.roll, 0, 255, 1000, 2000);    // pin
83         D4 (PWM signal)
84     kanatcikSag = map(data.roll, 0, 255, 1000, 2000);    // pin
85         D5 (PWM signal)
86     yonDumeni = map(data.yaw, 0, 255, 1000, 2000);    // pin
87         D6 (PWM signal)
88
89     // PWM sinyaller cikislara gonderiliyor
90     motorServo.writeMicroseconds(motor);
91     yonDumeniServo.writeMicroseconds(yonDumeni);
92     yukselisDumeniServo.writeMicroseconds(yukselisDumeni);
93     kanatcikServoSag.writeMicroseconds(kanatcikSag);
94     kanatcikServoSol.writeMicroseconds(kanatcikSol);
95 }

```

Kod 2: Alıcı devresi kodu

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sonuç olarak Qtrainer model uçak gerçekleştirilmiştir. Uçak, acemi pilotlar için kullanıcı dostu deneyim sunan bir tasarıma sahiptir. Uçağın aerodinamik olması daha stabil uçuşlar sağlamaktadır. Hassas kontrolleri ve kumandası sayesinde uçak kolaylıkla yönlendirilmektedir. Qtrainer model uçak acemi pilotlar için güvenli ve keyifli bir uçuş deneyimi sunmaktadır.

Qtrainer model uçak ile uçuş denemesi yapılmıştır. Kalkış testlerinde sol kanatçığının aşağı pozisyonu gözlemlenemediği için uçuş sırasında uçak havalandıktan kısa süre sonra sağ dönmüş ve kırılmıştır. Uçağın tamiri yapıldıktan sonra ikinci deneme için bu sefer elle atılmak istenmiştir. Ancak pilotun acemiliğinden burnu fazla havaya kalkmış ve ters dönmüştür. Kanat ve motor hasar almıştır. Motorun tamiri yapılmıştır fakat kanadın aerodinamik yapısı bozulmuştur bu yüzden uçmaya elverişli değildir. Şekil 23'te youtube videosu bulunmaktadır⁰.

Gelecek çalışmalarda ise kumanda devresindeki joystickler gimbal joystick ile değiştirilerek daha iyi uçuş deneyimi sağlanabilir. Güvenlik açısından veri haberleşmesi sağlanmadan önce bütün butonların kapalı ve motorun gaz çubuğunun da aşağıda tutulması hedeflenebilir. Ayrıca GPS ve MPU6050 gyro modül eklenerek otonom sürüşte sağlanabilir.



Şekil 24: QR kod

⁰Eğer qr kod çalışmazsa link: <https://www.youtube.com/watch?v=Ga4y0oPVHHE>

KAYNAKLAR

- [1] İMUK. (2023, Mayıs 16). İlk model uçağı seçmek imuk: imuk.org.tr/ adresinden alındı.
- [2] Odabaşı, M. (2023, Mayıs 16). Temel aerodinamik bilgileri freepist: www.freepist.com/ adresinden alındı.
- [3] ucakteknisyeni. (2023, Mayıs 16). Uçaklar nasıl uçar? ucakteknisyeni: www.ucakteknisyeni.com/ adresinden alındı.
- [4] Esendağ, M. (2023, Mayıs 17). Uçakta kanatlar neden altta, üstte veya ortada olur? herkesicinhavacilik: herkesicinhavacilik.com/ adresinden alındı.
- [5] Atabay, A. Ercan, G. Kılıç, M. Vatandost, M. Çolakoğlu, B. Ocak, Ö. (2023, Mayıs 17). Uçuş prensipleri ivao-tr: tr.ivao.aero/ adresinden alındı.
- [6] Robotiksistem. (2023, Mayıs 19). Arduinio nano. Robotiksistem: www.robotiksistem.com/ adresinden alındı.
- [7] z1rqdym. (2023, Mayıs 22). Nrf24l01 kablosuz alıcı/verici haberleşme modülü. lezzetlirobottarifleri: lezzetlirobottarifleri.com adresinden alındı.
- [8] Taşçıoğlu Y. (2023, Mayıs 22). Nrf24l01 nedir? Arduinio ile kullanımı. robotistan: maker.robotistan.com adresinden alındı.
- [9] devreyakan. (2023, Mayıs 22). nRF24L01 nedir? devreyakan: devreyakan.com adresinden alındı.
- [10] Üçgün H. (2023, Mayıs 23). Arduinio'ya giriş.
- [11] Akgüç B. (2023, Mayıs 23). ESC nedir ve kullanım alanları nelerdir? avdesodrone: avdesodrone.com adresinden alındı.
- [12] devreyakan. (2023, Mayıs 23). Fırçasız motor nedir? devreyakan: devreyakan.com adresinden alındı.

- [13] Özer Ş. (2023, Mayıs 23). Fırçasız motor nedir? Hangi özelliklere sahiptir? ronixtools: ronixtools.com adresinden alındı.
- [14] Uygur S. (2023, Mayıs 23) Lipo piller ve özellikleri. elektrikport: www.elektrikport.com adresinden alındı.
- [15] diyot (2023, Mayıs 23). Lipo pil. diyot: diyot.net adresinden alındı.
- [16] Semiz T. (2023, Mayıs 23). Servo motor nedir? robotistan: maker.robotistan.com adresinden alındı.