



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



UÇUŞ KONTROL KARTLARI

AHMET EREN KÜRPE

031911506

PROJE HAZIRLIK

BURSA 2023

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

UÇUŞ KONTROL KARTLARI

AHMET EREN KÜRPE

031911506

Projenin Danışmanı : Prof. Dr. Fahri VATANSEVER

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)

UÇUŞ KONTROL KARTLARI

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 Uçuş kontrol kartlarının özelliklerinin araştırılması, görevlerinin belirlenmesi ve iç sistemlerinin açıklaması olarak yapılmıştır. İlk olarak insansız hava araçlarının tanımı ve sınıflandırılmasından sonra benzer uçuş kontrol kartları araştırılarak literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra kart yapısı önemli haberleşme protokollerinin araştırılması, İHA üzerindeki diğer donanımların araştırılması yapıldıktan sonra kart üzerindeki atalet ölçüm sensörlerinin çalışma prensibi hakkında araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmadan sonra uygulama alanları belirlenip benzer ürünler incelenmiştir. Uçuş kontrol kartlarının yer istasyonu ve yer istasyonu yazılımı hakkında bilgilendirme sağlanmıştır. Sık kullanılan ürünler incelenmiştir. Son olarak da bir insansız hava aracı için maliyet çizelgesi oluşturulmuştur.

FLIGHT CONTROL CARDS

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 to investigate the characteristics of flight control cards in Unmanned Aerial Vehicles, to determine their functions and to explain their internal systems. First, after the definition and classification of unmanned aerial vehicles, similar flight control cards were searched and a literature review was made. Then, after researching the important communication protocols of the card structure and researching the other hardware on the UAV, a research was carried out on the working principle of the inertial measurement sensors on the card. After the research, application areas were determined and similar products were examined. Information was provided about the ground station and ground station software of flight control cards. Frequently used products were examined. Finally, a cost chart was created for an unmanned aerial vehicle.

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 Tanımlamaları, Sınıflandırılması ve Uygulamaları.....	2
1.3.1. Tanımlamalar.....	2
1.3.2. Sınıflandırılması.....	3
1.3.3. Uygulamaları.....	6
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	7
2.1 Uçuş Kontrolcüsü (UK) nedir?.....	7
2.2 Uçuş Kontrol Kartının Görevi.....	7
2.3 Otonomi ve Otopilot.....	8
3. UÇUŞ KONTROL KARTI TEMEL YAPILARI.....	9
3.1. Çevresel Donanımlarla İletişim.....	9
3.1.1. UART, TX-RX.....	9
3.1.2. SPI.....	10
3.1.3. I2C.....	11
3.1.4. PWM,PPM,PCM,SBUS,IBUS.....	11
3.2. Çevresel Donanımlar.....	12
3.2.1. Fırçasız DC Motor.....	13
3.2.2. Fırçasız Motor Sürücü.....	13
3.2.3. Telemetry Modülü.....	14
3.2.4. Batarya.....	14
3.2.5. GPS.....	15
3.2.6. Kumanda.....	16
3.2.7. Kumanda Alıcısı.....	16
3.2.8. Güç Devresi.....	17
3.3. Uçuş Kontrol Kartı Yapısı.....	18
3.3.1. Uçuş Denetleyici Birimi.....	16
3.3.2. Fail-safe Birimi.....	17
3.3.3. Atalet Ölçüm Birimi.....	18
3.3.4. Besleme ve Güç Birimi.....	19
3.4. Atalet Ölçüm Birimi Yapısı (İMU).....	19
3.4.1. MEMS Nedir?.....	19

3.4.2.	MEMS İvmeölçer.....	20
3.4.3.	MEMS Jiroskop.....	21
3.4.4.	MEMS Manyetometre.....	21
3.4.5.	MEMS Barometre.....	22
3.5.	Hava Hızı Sensörü.....	24
3.6.	GNSS Sistemleri.....	26
3.6.1.	GPS.....	26
3.6.2.	GLONASS.....	27
3.6.3.	IRNSS.....	27
3.6.4.	QZSS.....	27
3.6.5.	GALİLEO.....	28
4.	UÇUŞ KONTROL KARTININ UYGULAMALARI.....	29
4.1.	Yer İstasyonları.....	29
4.1.1.	Yer İstasyonlarında Kullanılan Yazılımlar.....	29
4.1.2.	Mission Planner.....	29
4.1.3.	Qground Control.....	31
4.1.4.	Andruav.....	32
4.2.	Uçuş Kontrol Kartı Seçimi.....	32
4.2.1.	ArduPilot APM Kartı.....	33
4.2.2.	Eagle Tree Vector Kartı.....	34
4.3.	Maliyet Analizi.....	35
5.	SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	36
6.	KAYNAKLAR.....	37
7.	TEŞEKKÜR.....	38
8.	ÖZGEÇMİŞ.....	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Sabit Kanat Sınıflandırması (ön).....	4
Şekil 1.2. Sabit Kanat Sınıflandırması (üst).....	4
Şekil 1.3. Döner Kanat Sınıflandırması.....	5
Şekil 1.4. İnsansız Hava Gemisi.....	5
Şekil 1.5. İnsansız Hareketli Kanat	5
Şekil 2.1. Otopilot Görev Yörüngesi.....	8
Şekil 3.1. UART Protokolü.....	10
Şekil 3.2. SPI Protokolü.....	10
Şekil 3.3. I2C Protokolü.....	11
Şekil 3.4. Çevresel Donanımlar.....	12
Şekil 3.5. BLDC Motor.....	13
Şekil 3.6. Fırçasız Motor Sürücü.....	13
Şekil 3.7. Telemetri.....	14
Şekil 3.8. Batarya.....	14
Şekil 3.9. GPS.....	15
Şekil 3.10. Kumanda.....	15
Şekil 3.11. Alıcı.....	16
Şekil 3.12. Güç Devresi.....	16
Şekil 3.13. Uçuş Denetleyici.....	17
Şekil 3.14. MEMS.....	19
Şekil 3.15. MEMS İvmeölçer.....	20
Şekil 3.16. MEMS Jiroskop.....	21
Şekil 3.17. MEMS Manyetometre.....	22
Şekil 3.18. MEMS Kapasitif Barometre.....	23
Şekil 3.19. MEMS Piezodirençli.....	24
Şekil 3.20. Hız Bileşkeleri.....	25
Şekil 3.21. Pitot Tüpü Özellikleri.....	25
Şekil 3.22. GNSS Sistemleri.....	26
Şekil 3.23. GLONASSS.....	27
Şekil 3.24. GPS ve GNSS.....	28
Şekil 4.1. Mission Planner Arayüzü.....	31
Şekil 4.2. Qground Arayüzü.....	31
Şekil 4.3. Andruav Arayüzü.....	32

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1 Haberleşme Protokolleri.....	9
Çizelge 3.2 Radyo Kontrol Protokolleri.....	11
Çizelge 3.3 Sensör ve Serbestlik Derecesi.....	18
Çizelge 4.1 Desteklenen Kart Markaları.....	30
Çizelge 4.2 Dikkat Edilmesi Gereken Özellikler.....	33
Çizelge 4.3 Maliyet Çizelgesi.....	35

1. GİRİŞ

Bu bölümde insansız hava araçları ve uçuş kontrol kartları hakkında genel bilgiler verilecektir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Günümüzün en hızlı ulaşımını sağlayan, uçak endüstrisinde kararlı ve kontrol edilebilir bir uçuşun anlaşılması, uçak tasarımları açısından önemli bir rol oynamaktadır. Son yıllarda otomatik kontrol sistemlerinin tasarımı askeri ve ticari alanda hızlı bir gelişim göstermiştir. Otomatik kontrol sistemleri ve otopilotlar her iki sektör açısından yapay kararlılığın geliştirilmesi, kötü hava şartlarında pilotların yön bulmasında (navigasyon), uçağın kontrollerine yardımcı olmada ve uçağın güvenli bir şekilde yeryüzüne indirilmesinde büyük destek sağlamaktadırlar. Bilindiği üzere uçakların kontrolünde doğabilecek ufak bir sorun dahi uçağın kontrolünü kaybetmesine ve geri dönüşü olmayacak felaketlere yol açabilmektedir.

Bu sebeple uçuş kontrol kartları çalışması insansız hava araçlarının kontrol sistemlerinin nasıl çalıştığını ve nasıl geliştirilebileceği konusunda olumlu bilgiler üretmektedir.

1.2. İnsansız Hava Aracı (İHA) nedir?

İnsansız Hava Aracı (İHA) fiziksel olarak içinde pilot veya yolcu olarak insan bulunmayan sadece amaca uygun ekipman taşıyan, uzaktan kumandalı veya otomatik olarak görevini icra edebilen bir tür uçan araçtır. İHA'ların askeri, sivil (hobi veya ticari) ve bilimsel amaçlı profesyonel kullanımları dünyada hızla artmaktadır.

İHA'ların kullanımı, son yıllarda hızla artmıştır. Günümüzde çok farklı şekil, ebat, konfigürasyon ve karakterde araçlar üretilmektedir. Bu cihazların düşük maliyetleri ve esnekliği nedeniyle, çeşitli endüstri sektörlerinde kullanılmaya başlamıştır. Özellikle, hava fotoğrafçılığı ve arazi taraması gibi uçuş gerektiren görevler için, İnsansız Hava Araçları manuel uçaklardan daha uygun bir seçenek olabilmektedir.

Ayrıca, İHA'ların çalışma koşullarının insanlar için zor veya tehlikeli olduğu durumlarda da insanlar yerine görevleri yerine getirebilmektedir.

1.3. İHA Tanımlamaları, Sınıflandırılması ve Uygulamaları

İHA hakkında herhangi bir konuya geçilmeden önce İHA'ların tanımlamaları, özellikleri, sınıflandırmaları ve uygulamalarından bahsetmek gerekmektedir.

1.3.1 Tanımlamalar

Bir insansız hava aracı için kullanılan genel terimler İHA (UAV-Unmanned Aerial Vehicle), Uzaktan kontrollü hava aracı UHKA (ROA-Remotely Operated Aircraft) ve uzaktan pilotlu araç (RPV-Remotely Piloted Vehicle)'tır. İnsansız hava aracı tarafından insan taşınmamasının yanı sıra dinamik kalkış ve aerodinamiğe bağlı itki sağlayıcı güç kaynakları otonom navigasyon ya da uzaktan kontrol ve yönlendirme ile kontrol edilmektedir. Ayrıca tekrar kullanılabilirlik seçeneği bulunmaktadır. Bu sebeple yörüngeye fırlatılan roketler ya da güdümlü balistik veya balistik olmayan füzeler bu tanımın dışında bulunmaktadır. İHA'larla ilgili temelde birbirine benzer pek çok tanım bulunmaktadır. Ancak bu tanımlarda zaman içerisinde, İHA'lara yüklenen görevlere, teknolojilere ve kullanım şekillerine göre değişiklikler olabileceğini söylemek mümkündür. Günümüzde dünyada kabul görmüş bazı tanımlara aşağıda yer verilmiştir.

Kuzey Atlantik Anlaşması Örgütü (North Atlantic Treaty Organization-NATO) kaynaklarında kabul gören İHA tanımı;

İHA, içerisinde insan olmayan, uzaktan kumanda ile yönlendirilen veya otonom olarak kendisini yönlendiren motorlu itki gücü olan, silah veya faydalı yükleri ana gövdesine yüklenip çıkarılabilen, görev sonu geri dönerek iniş yapabilen veya hedefte silah olarak kendini imha edebilen araçlar olarak tanımlanmıştır (Pakkan ve Ermiş, 2010).

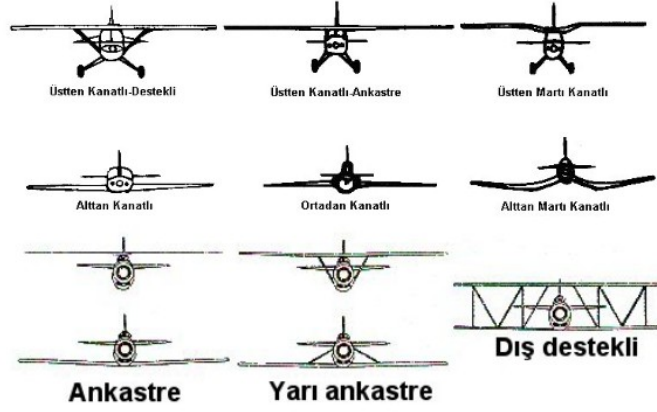
ABD Savunma Bakanlığı'nın yapmış olduğu İHA tanımı;

İHA, aracı kaldırmak için aerodinamik güç kullanan, otonom ya da uzaktan bir pilotta kumanda edilerek uçabilen, geliştirilebilen ve iyileştirilebilen. ölümcül veya ölümcül olmayan yük taşıyabilen ve insan operatörü içermeyen güçlendirilmiş bir hava taşıtı olarak tanımlanmıştır. Balistik veya yanı balistik füzeler ve ağır silah fırlatıcıları İHA kapsamında değildir (ITU,2005b). Genel olarak, İHA'ları çalıştırabilmek için bir sisteme gerek duyulmaktadır İHA sistemleri şeklinde yapılabilecek olan bu tanımlamada; içinde herhangi bir pilot olmaksızın görev yapabilme kabiliyeti olan, uzaktan bir radyo kontrol veri hattı ile uçurulabilen, ayrıca uçuştan önce ve uçuş esnasında, gerek uçuşa, gerekse faydalı yüke komuta ve kontrol görevleri yüklenebilen sistemlerdir.

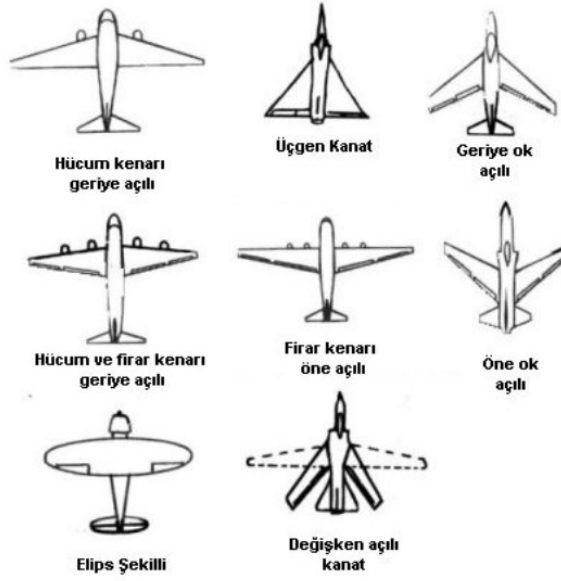
1.3.2 Sınıflandırılması

İHA'ların uçuş dayanıklılığını ve yüklerini arttırmaya yönelik yapılan ciddi araştırmalar farklı boyutlardaki, uçuş dayanıklılığındaki ve yeteneklerdeki İHA'ların sınıflandırılmaları sonucunu doğurmaktadır. Bu sebeple farklı sınıflandırılabilen çok fazla İHA türü ortaya çıkmaktadır. Karakteristiklerine göre en temelde İHA'lar Sabit Kanat, Döner Kanat, Hava Gemisi, Hareketli Kanat ve Karma Kanat olmak üzere beş kategoride incelenebilmektedir.

Sabit Kanatlı İHA'lar, manuel uçaklardaki gibi kaldırma kuvvetini ve uçuş yeteneğini yatay olarak ilerledikçe sabit kanatlarında oluşan basınç farkından sağlayarak kazanmaktadır. Kaldırma kuvvetleri sabit kanatlarındaki rüzgar akışı devam ettiği sürece oluşmaktadır. Dönüş, yönelme ve hareket için kanatlarında kontrol yüzeyleri bulunmaktadır. Uzun bir kalkış alanı ya da fırlatma rampalarına ihtiyaç duymaktadır. Genellikle uzun uçuş dayanımına sahip olup yüksek hızlarda uçabilmektedir. Kanat sayılarına, yapılarına ve konumuna, kuyruk sayılarına, yapılarına ve konumuna, motor sayısı, konumu ve türüne, gövde türlerine göre sınıflandırılmaktadır.

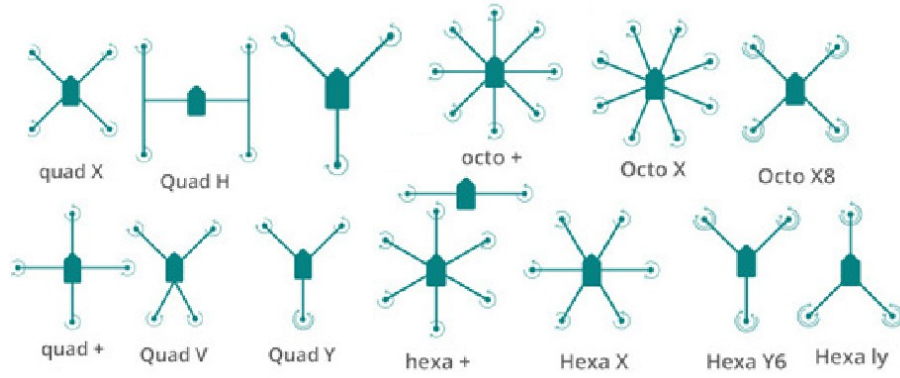


Şekil 1.1 Sabit Kanat Sınıflandırması (ön)



Şekil 1.2 Sabit Kanat Sınıflandırması (üst)

Döner Kanatlı İHA'lar, dikey olarak da isimlendirilebilmektedir. Sürüş yetenekleri ve yüksek manevra kabiliyetleriyle bilinmektedir. Bulunduğu konumda askıda kalabildiği gibi dikey iniş kalkışta yapabilmektedir. Bu özellikleri, bir çok hassas ve robotik görevi yapabilmek için kullanışlı kılmaktadır. Motor sayılarına ve konumlarına göre sınıflandırılabilir. Ana ve kuyruk motorlu (geleneksel helikopter), eş eksen rotorlu, tandem rotorlu, çoklu rotorlu gibi örnekleri bulunmaktadır. Çoklu rotorlular motor sayısına veya gövde tipine göre isimlendirilebilmektedir.



Şekil 1.3 Döner Kanat Sınıflandırması

İnsansız Hava gemisi ve balon gibi zeplinler, havadan daha hafif ve uzun uçuş mesafelerine sahip, düşük hızlarda ve genellikle büyük ebatlarda olmaktadır.



Şekil 1.4 İnsanısız Hava Gemisi

Hareketli kanat İHA'lar, kuşlardan ve uçan böceklerden esinlenerek yapılan küçük esneyebilen ve şekil değiştirebilen kanatlara sahiptirler.



Şekil 1.5 İnsanısız Hareketli Kanat

1.3.3. Uygulamaları

İHA uygulamaları savunma üzerine ve ana yatırımlar gelecekteki savunma sistemleri üstüne kurulmuş durumda. Çoğu askeri insansız hava aracı sistemi öncelikli olarak zeka, gözetleme, keşif ve çarpışma üzerine kullanılmaktadır. Yeni nesil İHA'lar hava muharebesi, hedef belirleme, tanımlama ve yok etme, düşman hava kuvvetlerinin savunmasını aşma, elektronik saldırı, ağ/iletişim aktarımı, mühimmat taşıması ve hava taşımacılığı gibi çok daha karmaşık görevlerde kullanılabilecektir. Ayrıca sivil İHA'nın kullanımı da gün geçtikçe gelişmektedir. Sivil ve ticari alanda İHA uygulamalarını şu şekilde örneklendirilebilir:

- Arazi inceleme, boru hatları, kamu hizmetleri, inşaatlar, vs.
- Yasa koruması ve güvenlik uygulamaları.
- Kıta sahanlığı denetimi, kara yolu trafik denetimi, vs.
- Salgın ve kriz yönetimi, arama ve kurtarma.
- Çevresel gözlem.
- Ziraat ve ormancılık.
- Yangınla mücadele.
- Haritalama ve meteoroloji.
- Üniversite araştırma laboratuvarları.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde uçuş kontrol kartlarının diğer adıyla uçuş kontrolcülerinin ne olduğu bileşenleri, uçuş kontrol kartlarının görevleri, otopilotun ne olduğu hakkında bilgiler verilecektir.

2.1. Uçuş Kontrolcüsü (UK) nedir?

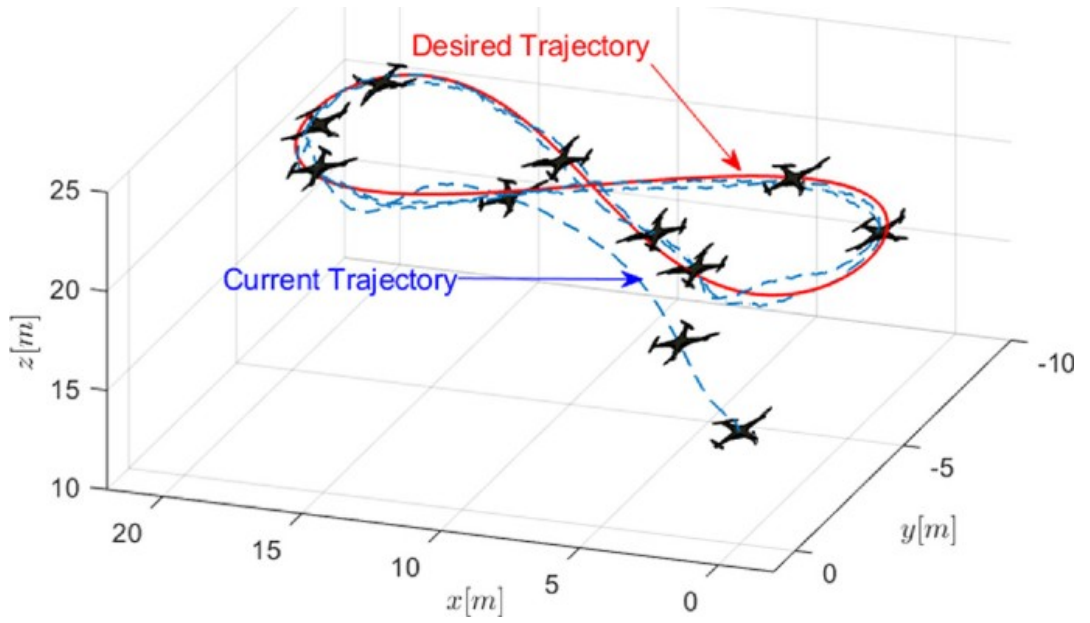
Uçuş Kontrolcüsü (UK) ya da Uçuş Kontrol Kartı (UKK), insansız hava aracının uçuşunu kontrol etmeye yardımcı olan donanım ve yazılım bütünüdür. Uçuş kontrol kartının temel bileşenleri işlemci, aygıt yazılımı, sensörler, elektronik devre elemanları mekanik donanımlar olmak üzere kısımlara ayrılmaktadır. Uçuşun kontrolünde kullanıcıdan aldığı komut sinyallerini uçuş kontrol kartı üzerindeki alıcıdan alarak düzenlemektedir. Uçuş kontrol kartı, sensörlerden aldığı bilgiler aracılığı ile İHA'nın hareket etmesini sağlayan bir devre kartıdır. Neredeyse tüm uçuş kontrol kartlarında jiroskop (gyro) ve ivmeölçer bulunur. Gelişmiş uçuş kontrol kartlarında bunların yanı sıra GPS, pusula, mesafe sensörü ve barometre gibi sensörler de bulunmaktadır.

2.2. Uçuş Kontrol Kartının Görevi

Uçuş kontrol kartının görevleri tasarlanma amacına göre değişiklik göstermektedir. Birçok uçuş kontrol kartında ortaklaşmış görevler sayılacak olursa uçuş için gerekli sensör verilerini toplayıp bu verilerin işlenmesi, kararlı bir uçuş için uçuş verilerini sürekli hesaplayarak düzeltme için gerekli olan geri besleme sinyallerinin üretimi, Uçuş mekaniğinden, İHA'nın görevlerinin gerektirdiği işlevleri yapmaya yönelik yazılımı sağlamak, İHA bileşenleri arasındaki haberleşmeyi sağlamak, Pilotun karar vermesine ve kontrolüne yardımcı olmak, Pilotun komutlarını uygulayabilmek, Çeşitli kararlar verip verilen kararları uygulamak ve bunun gibi tasarım amacına yönelik eklenen birçok görevi bulunabilmektedir.

2.3. Otonomi ve Otopilot

Otonomi kelime anlamı olarak dışarıdan bağımsız olarak idare edebilmektir. İHA'nın tamamen pilot yardımı ile uzaktan kumanda edilmesi otonomi değildir. İHA sadece üzerindeki sistemlerle görevini icra edebiliyorsa gerçek/tam otonomi olarak adlandırılabilir. Bu durumların arasındaki durumlar yarı otonomi olarak da adlandırılabilmektedir.



Şekil 2.1 Otopilot Görev Yörüngesi

3. UÇUŞ KONTROL KARTI TEMEL YAPILARI

Bu bölümde uçuş kontrol kartının yapıları hakkında bilgi verilmektedir.

3.1. Çevresel Donanımlarla İletişim

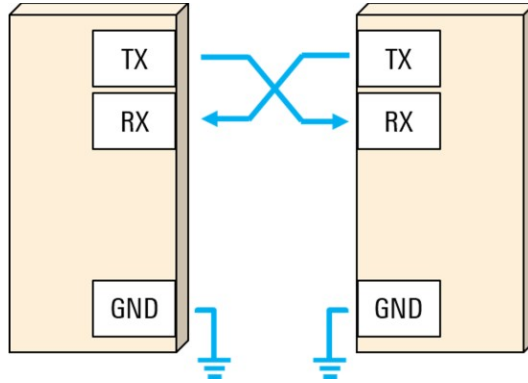
İHA'nın çevresel donanımlarla haberleşebilmesi için belirli haberleşme protokollerini destekliyor olması gerekmektedir. Sıklıkla kullanılan haberleşme protokollerinin listesi aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.1 Haberleşme Protokolleri

Haberleşme Protokolleri
UART, TX-RX
SPI
I2C
PWM, PPM, PCM, SBUS, IBUS
UAVCAN
Oneshot, Multishot, DSHOT
Analog DC

3.1.1. UART, TX-RX

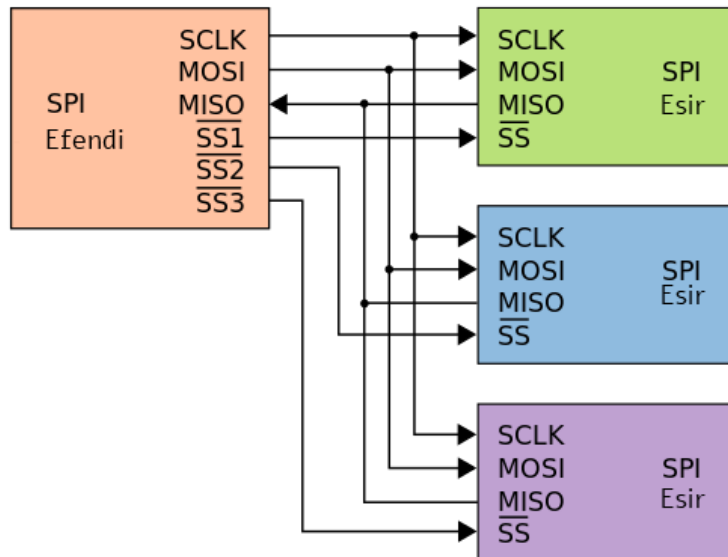
UART, evrensel asenkron alıcı/verici anlamına gelmektedir. İki cihaz arasında seri veri alışverişi için bir protokol veya kurallar kümesi tanımlamaktadır. UART yapısal olarak da çok basittir. Her iki yönde de veri iletmek veya almak için verici ve alıcı arasında yalnızca iki kablo kullanır. Ayrıca her iki uçta da ortak toprak bağlantısı bulunmalıdır. UART'ta iletişim tek yönlü, yarı çift yönlü veya tam çift yönlü olabilmektedir. UART'taki veriler çerçeveler şeklinde iletilir. UART'ın en büyük avantajlarından biri asenkron olmasıdır. Yani verici ve alıcı ortak bir saat sinyaline ihtiyaç duymamaktadır. Bu, protokolü büyük ölçüde basitleştirir de, verici ve alıcıya belirli gereksinimler getirir. Bir saati paylaşmadıklarından, aynı bit zamanlamasına sahip olmak için her iki uç da aynı, önceden ayarlanmış hızda yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.1 UART Protokolü

3.1.2. SPI

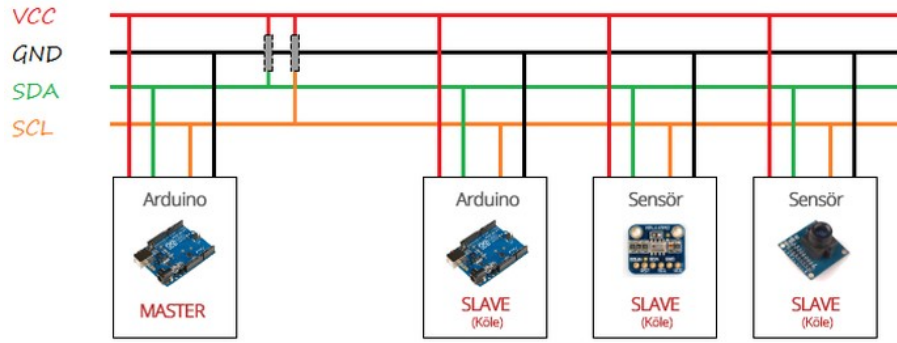
SPI (Serial Peripheral Interface), Birçok çevresel sistemde kullanılan senkron seri haberleşme türlerinden biri olmaktadır. Özellik ve kullanım olarak I2C'ye benzer özellikler göstermektedir. SPI protokolünde de I2C'de olduğu gibi bir adet Master cihaz bulunur. Bu cihaz hatta bağlı çevresel cihazları kontrol eder. Master ve çevresel cihazlara bağlanan MISO (Master In Slave Out), MOSI (Master Out Slave In) ve SCK (Serial Clock) olmak üzere üç adet SPI hattı bulunmaktadır.



Şekil 3.2 SPI Protokolü

3.1.3. I2C

I2C Protokolü, SPI protokolünün ve UART protokolünün en iyi özelliklerini birleştirmektedir. I2C ile birden fazla esir cihaz tek bir efendi cihaza (SPI gibi) bağlanabilip tek veya çoklu esir cihazları kontrol eden birden fazla efendi cihaza sahip olunabilmektedir. Bu, birden fazla mikro denetleyicinin tek bir bellek kartına veri kaydetmesini veya tek bir LCD’de metin görüntülemesini istediğinizde gerçekten kullanışlıdır. UART haberleşmesi gibi, I2C de cihazlar arasında veri iletmek için yalnızca iki kablo kullanmaktadır. Ayrıca toprak hatlarının ortak olması gerekmektedir.



Şekil 3.3 I2C Protokolü

3.1.4. PWM, PPM, PCM, SBUS, IBUS

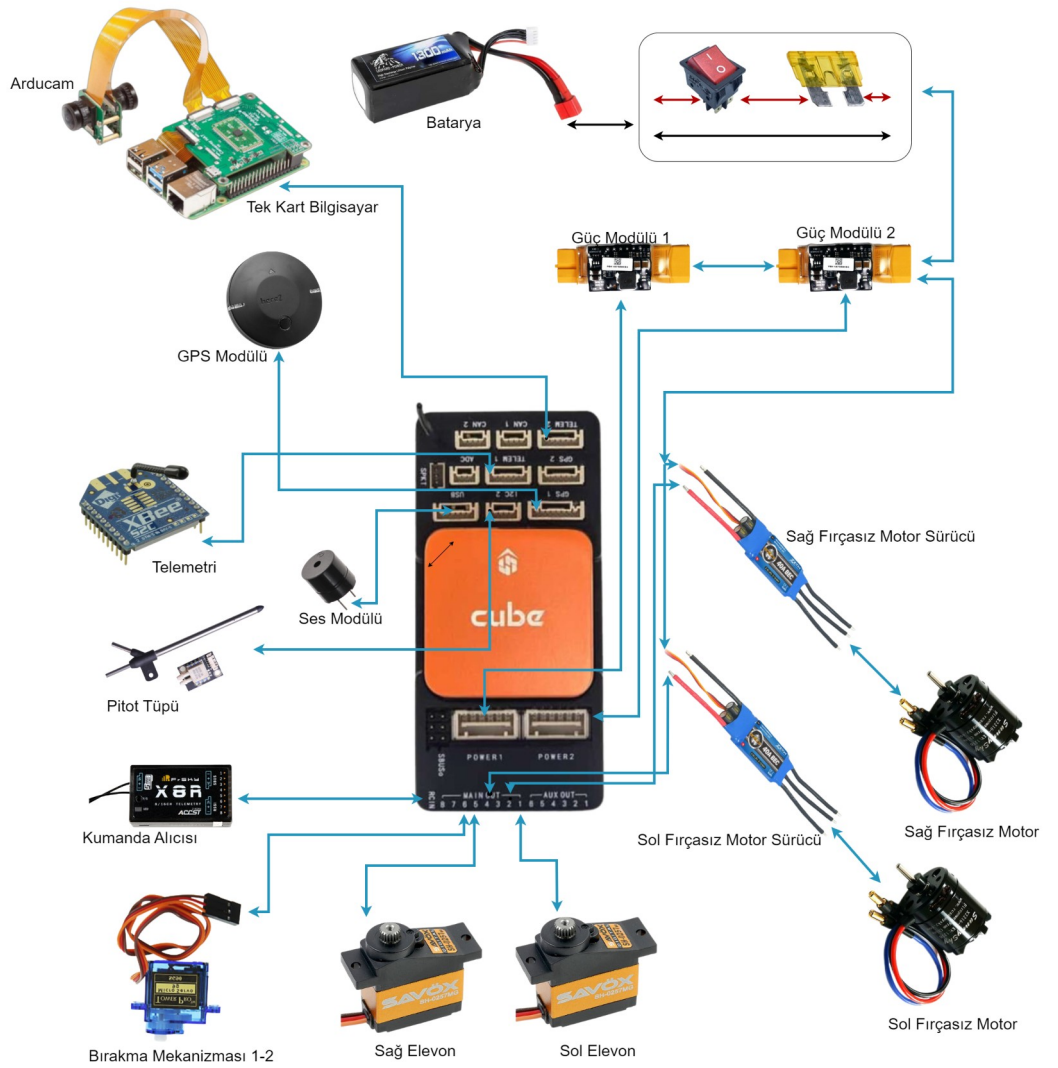
Bu protokoller genellikle radyo kontrol alıcı protokolleri olarak kullanılmaktadır. Daha çok elektronik seviyede olup servo, ESC ve çeşitli çevresel sistemin kontrolünü sağlamak için kullanılır.

Çizelge 3.2 Radyo Kontrol Protokolleri

PWM - Darbe Genişliği Modülasyonu
PPM - Darbe Konum Modülasyonu
PCM - Darbe Kodu Modülasyonu
SBUS - Seri Veri Yolu (S.BUS)
DSM2 ve DSMX - Dijital Sistem Çıkartıcı

3.2. Çevresel Donanımlar

Uçuş kontrol kartının İHA üzerinde haberleştiği birçok sistem bulunmaktadır. Bu sistemleri ilişkili oldukları sistemlerle ilgili gösterilmiş diyagram aşağıdaki gibi olmaktadır.



Şekil 3.4 Çevresel Donanımlar

3.2.1. Fırçasız DC Motor

Fırçasız motor İHA'nın uçabilmesini sağlayan parçadır. Fırçasız elektrik motoru kısa mesafeli İHA'larda tercih edilmektedir. Motorun çalışma prensibi motor içinde oluşan elektromanyetik alana dayanmaktadır. Elektrik motorunun döneç (rotor) ve duraç (stator) kısımları bulunmaktadır. Döneç kısmında elektrik motorunun mıknatısları bulunmaktadır ve bu mıknatıslar kutuplanmaktadır. Duraç kısmında ise bobin sarımı yapılmış olan bir mekanizma bulunmaktadır.



Şekil 3.5 BLDC Motor

3.2.2. Fırçasız Motor Sürücü

Fırçasız motor sürücü, fırçasız motoru sürmek için kullanılmaktadır. Motor sürücünün yapısında metal-oksit yarı iletken alan etkili transistör bulunmaktadır. Bu transistörün kapısı açılıp kapanarak geçen akım ve gerilimi kontrol etmektedir. Bu sayede motora giden akım ve gerilim kontrol altına alınmış olmaktadır.



Şekil 3.6 Fırçasız Motor Sürücü



Şekil 3.7 Telemetri

3.2.3. Telemetri Modülü

Telemetri modülü, insansız hava aracı hakkında toplanan verilerin, operatöre veya yer kontrol istasyonuna gönderilmesini ve çift taraflı haberleşmesini sağlar . Bu veriler İHA'nın otopilot kartından, ivmeölçerler, jiroskoplar ve GPS gibi sensörlerden ,uçağın güç kaynağı veya alt sistemlerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.8 Batarya

3.2.4. Batarya

Batarya, İHA'nın motorlarına ve otopilot kartına gerekli olan enerjinin gitmesi için İHA'da kullanılmaktadır. İHA'larda hem uçuş süresinden hem de maliyetinden kaynaklı olarak lityum polimer batarya tercih edilmektedir. Tercih esnasında İHA'nın

ağırlığı, İHA'da kullanılan motorların tükettiği güç ve ne kadar süre havada kalması gerektiği gibi kritik parametreler dikkate alınmaktadır.



Şekil 3.9 GPS

3.2.5. GPS

GPS, İHA'nın anlık konumunu bildirmekte olan bir cihazdır. Otopilot kartının gps girişine bağlanarak otopilot kartının bulunduğu konumun haritalandırmasını çıkarmaktadır. Böylece İHA'nın anlık konumu göstermiş olmaktadır.



Şekil 3.10 Kumanda

3.2.6. Kumanda

Kumanda, İHA'ya bağlanmış olan kumanda alıcısıyla bağlantı kurarak İHA'nın yönlendirilmesi için kullanılmaktadır. Kumanda, otopilot kullanılmayan uçuşlarda çok önemli bir görev üstlenmektedir.



Şekil 3.11 Alıcı

3.2.7. Kumanda Alıcısı

Kumanda alıcısı, İHA'ya yerleştirilmekte olan küçük bir cihazdır. Kumanda alıcısı SBUS protokolü ile İHA'nın otopilot kartına bağlantıktan sonra kumanda alıcısı kumandaya bağlanmaktadır. Kumandanın kumanda alıcısına bağlantısı sağlandıktan sonra İHA'yı kumanda yönlendirebilmektedir.



Şekil 3.12 Güç Devresi

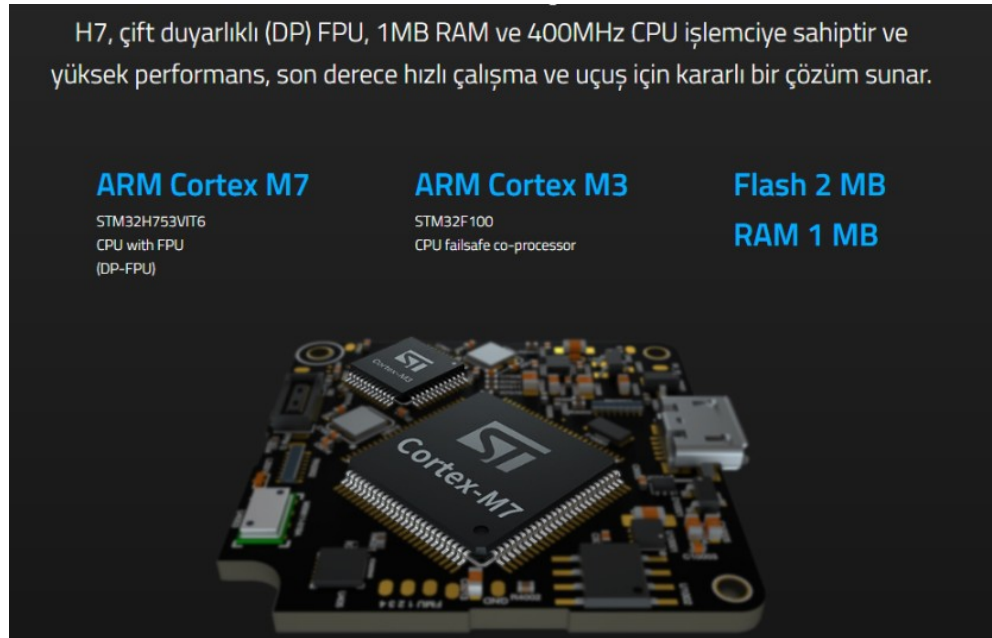
3.2.8. Güç Devresi

Güç devresi otopilot kartının devrede aktif olmasını sağlamaktadır. Güç devresinin iki aktarıcı ve bir giriş aktarıcı kablo içermektedir. İki aktarıcının bir girişinde batarya diğer girişinde fırçasız motor sürücü bağlantıları yer almaktadır. Giriş aktarıcı kablo ise otopilot kartının güç girişine takılarak bataryadaki gerilimi otopilot kartının gerilimine göre düzenlemektedir.

3.3. Uçuş Kontrol Kartı Yapısı

Uçuş kontrol kartları yapısal olarak dört bölümde incelenebilir. Bunlar uçuş denetleyici birimi, failsafe birimi, atalet ölçüm birimi, besleme ve güç birimidir.

3.3.1. Uçuş Denetleyici Birimi



Şekil 3.13 Uçuş Denetleyici

Bu bölüm, kartı ve tüm sistemi yöneten kararlaştırıcı birimdir. Çevresel ve dahili sistemlerle haberleşirken uçuş kontrol ve görev yazılımını üzerinde barındırır. Bu birim

log kaydı tutma veya uçuş bilgisayarı ile haberleşme gibi görevlerde yapabilmektedir. Uçuş denetleyici birimler genelde yüksek hızlarda aynı anda birkaç işi birden yapabilmesi gereken birimlerdir. Bu sebeple bilgisayar ve işletim sistemi kullanmak yerine FPGA, Mikrodenetleyici gibi entegreler kullanılarak daha kararlı uçuş kontrolü sağlanmaktadır.

3.3.2. Fail-safe Birimi

Fail-safe, isminden de anlaşılacağı üzere arıza güvenliği anlamına gelmektedir. Sistemlerin ne kadar arıza vermeyecek şekilde tasarlanması hedeflense de arıza vermeme ihtimali kesin olan bir sistem tasarlamak mümkün değildir. Böyle durumlar için arıza sebebi ile oluşacak hasarı en aza indirmek veya arızanın güvenliğini sağlayacak sistemlere de ihtiyaç duyulmaktadır. Uçuş kontrol kartları genellikle yedekli sistemlerle tasarlanırlar uçuş sırasında oluşabilecek arızaların giderilme şansı pek mümkün olmadığı gibi fail-safe sistemleri olmadığı sürece düşüş ve kırım ihtimali daha yüksektir.

3.3.3. Atalet Ölçüm Birimi

Atalet Ölçüm Birimi İHA'nın kararlı ve otonom uçmasını sağlayan en önemli birimlerden biri olmaktadır. İçerisinde birçok sensör barındıran bu birim barındırdığı sensör miktarı arttıkça serbestlik derecesi (Degrees of freedom DOF) değeri de artmaktadır.

Çizelge 3.3 Sensör ve Serbestlik Derecesi

Serbestlik Derecesi	Sensörler
3DOF	ivmeölçer
6DOF	ivmeölçer + dönüölçer
9DOF	ivmeölçer + dönüölçer + pusula
10DOF	ivmeölçer + dönüölçer + pusula + barometre

Bu birimde verilerin hızı ve doğruluğu çok önemlidir. Doğruluğun düşürülmemesi için sensörlerin de doğru çalışması kadar sensör verilerinin de doğru işlenmesi gerekmektedir. Özellikle bu birimin sağlıklı çalışabilmesi MEMS sistemlerine dayanmaktadır. Bu konu hakkında detaylı bilgi sonraki konularda verilecektir.

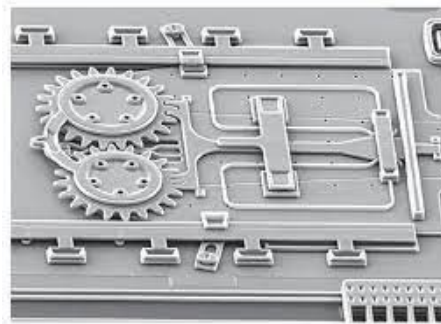
3.3.4 Besleme ve Güç Birimi

Bu birim sistemin giriş ve çıkışlarının çalışma geriliminden sistemin besleme gerilimine kadar önemli rol oynamaktadır. Sivil havacılıkta sistemler özellikle TTL seviyesinde çalıştığı için çok fazla çeşitlilik bulunmamaktadır.

3.4. Atalet Ölçüm Birimi Yapısı (İMU)

Atalet Ölçüm Birimi (Inertial Measurement Unit İMU) İnersiyal Ölçme Ünitesi olarak da bilinmektedir. Uçuş denetleyici birimine gönderilen açısal hız ve doğrusal ivme verisini tek bir modül üzerinden toplayan elektronik bir birimdir. İMU'nun görevi cihazın veya aracın hızını, dönme açısını miktarlarını belirlemektedir. İMU Bileşenleri; sistemin bileşenleri ivme ölçer (accelerometer), jiroskop (gyroscope) ve bazen de manyetik alan ölçer (magnetometer)dir. Bu bileşenler üç eksen içinde bulunmaktadır. Manyetik alan ölçer olası elektromanyetik gürültülerden ivme ölçer ve jiroskopun etkilenmemesini sağlamak için kullanılmaktadır.

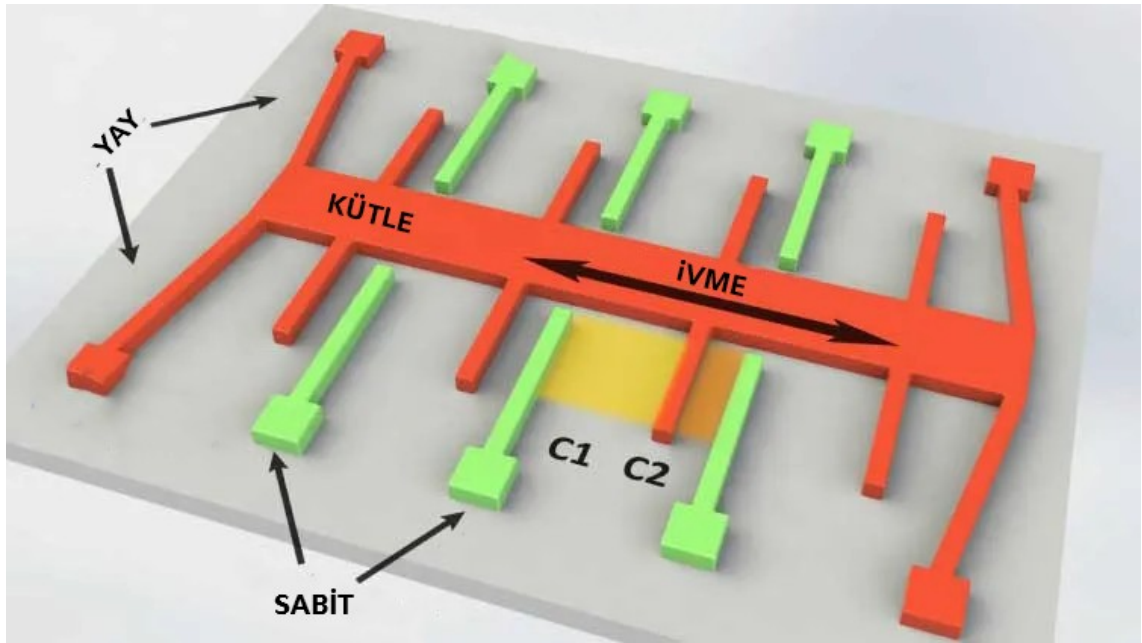
3.4.1. MEMS Nedir?



Şekil 3.14 MEMS

Mikroelektro-mekanik sistemler sensör yapımında da kullanılmak üzere günümüzde var olan mekanik ve elektrik sistemlerin entegre ve minyatürize versiyonları olup mikron boyutlarında olan bu sistemleri nanoelektromekanik sistemler vasıtası ile nanoteknoloji uygulamaları için de kullanmak da mümkündür. MEMS ile yapılan bu sensörler elektronik bir IMU devresinin içinde bulunabilecek kadar küçültülmüştür.

3.4.2. MEMS İvmeölçer

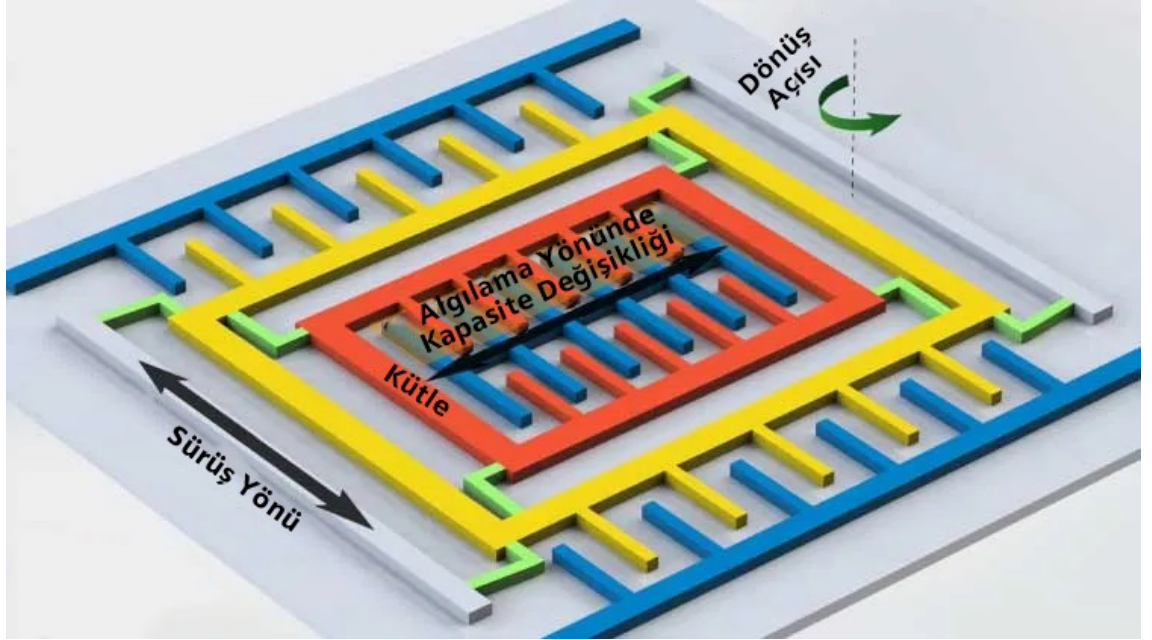


Şekil 3.15 MEMS İvmeölçer

Mikroelektro-mekanik sistem olarak tasarlanan ivmeölçerler tasarlanmış yay mekanizmasına bağlı bir kütlenin ivme yönüne zıt yönde esnemesi ile perdeler arasındaki değişen sığa miktarını ölçerek ivme miktarını bulmayı sağlamaktadır. İvme yönü üç eksen içinde dik olacak şekilde tasarlanan bu sistem bileşke vektörleri ile üç boyutlu uzayda hangi yönde ivmelendiği bilgisini çıkarabilmektedir. Duruş açısı değişmesi durumunda ise jiroskop üzerindeki açı değerleri kullanılarak bu durum düzeltilmektedir.

3.4.3. MEMS Jiroskop

Mikroelektro-mekanik sistem olarak tasarlanan Jiroskoplar tasarlanmış sabit ve hareketli mekanizmalar ile bağılı bir kütlenin dönüş yönüne zıt yönde esnemesi eylemsizlik yasasından yararlanarak oluşan bu hareketler sabit ile hareketli perdeler arasındaki değişen sığa miktarını ölçerek dönüş açısı bulmayı sağlamaktadır. Dönüş yönü üç eksen içinde dik olacak şekilde tasarlanan bir sistemde uzayda hangi yönde hangi açı yaptığının bilgisini çıkarabilmektedir. Duruş açısı değişmesi durumunda ise jiroskop üzerindeki açı değerleri kullanılarak bu durum düzeltilmektedir.

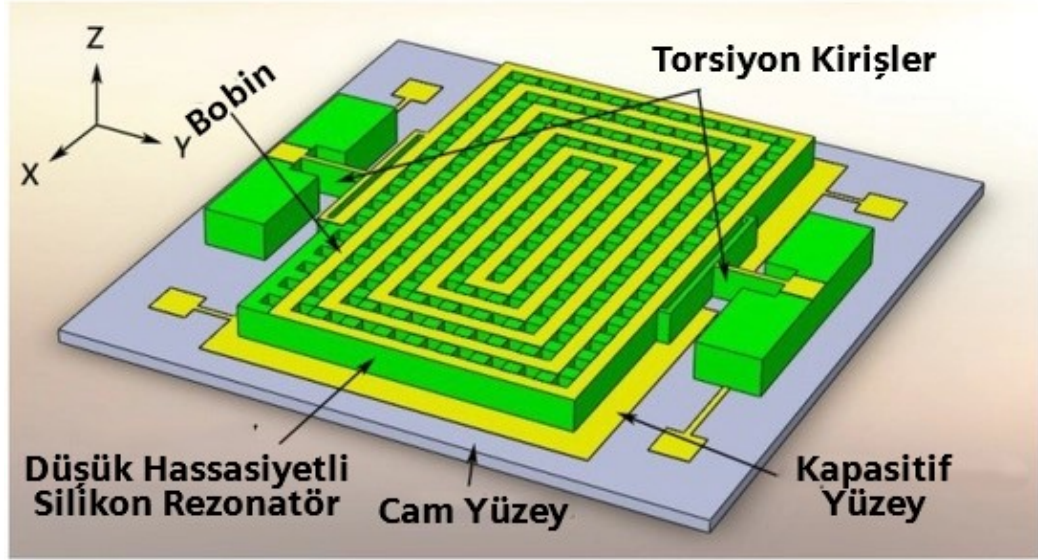


Şekil 3.16 MEMS Jiroskop

3.4.4. MEMS Manyetometre

Hall Etkisini veya Manyeto Direnç Etkisini kullanarak dünyanın manyetik alanını ölçmektedir. Aslında piyasadaki sensörlerin neredeyse büyük çoğunluğu Hall Effect'i kullanmaktadır. En basit olarak tanımlanmak gerekirse iletken bir plakanın üzerinden bir akım akıtıldığında ve plakaya bir manyetik alan yaklaştığında ya da uzaklaştığında manyetik alan şiddetine ve yönüne bağlı olarak akış bozulacaktır ve buna

göre bir voltaj alınacaktır. Manyetometreler manyetik alandan kolaylıkla etkilenmesi için yapılmıştır bu sayede manyetik alana duyarlı sensörlerdir üç eksendeki manyetik bozulmayı ölçmek için kullanılacak üç manyetometre ivme ve jiroskop verilerinin doğruluğunu arttırmaktadır.

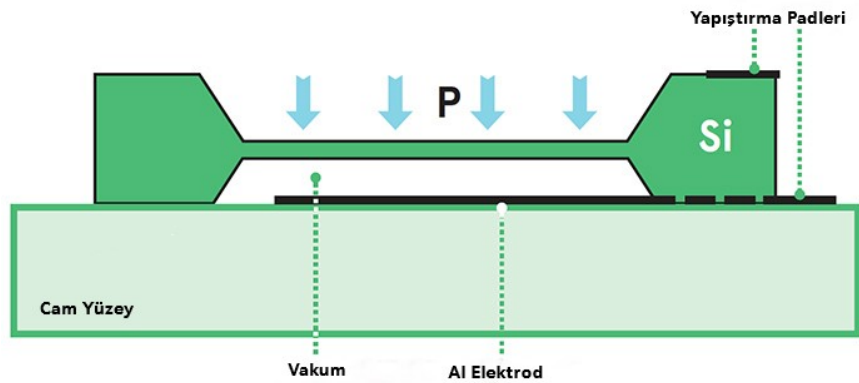


Şekil 3.17 MEMS Manyetometre

3.4.5. MEMS Barometre

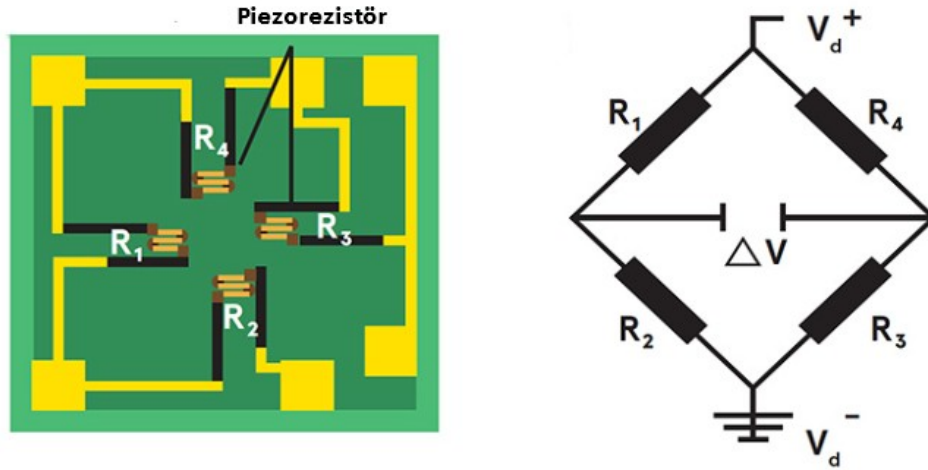
Uçuş kontrol kartlarında barometreler irtifa ölçmek için altimetre görevinde kullanılmaktadır. Deniz seviyesine göre yükseklik ölçümü için açık atmosfer basıncı ve ortam sıcaklığı bilgisi gerekmektedir. Barometre sensörleri bu iki alınan veriyi kullanarak. Deniz seviyesine göre olan yüksekliği tahmin etmektedir. Sıklıkla bu sistemlerin İHA gövdesinin içerisinde bulunduğu gövde içi kapalı bir kap gibi farklı değerler üretebilmektedir. Hava sıcaklığı yerine gövde sıcaklığı, ortam nemi veya açık hava basıncı yerine gövde içinde oluşan basınç, motorların rüzgarların oluşturduğu yapay basınçlı havalar ile aynı ortamda bulunup o basıncı ölçmesi durumunda yanlış veriler üretecektir. Bu sebeple yerleştirmesi gereken konum önemli olmasının yanı sıra sensör girişine dinamik hava hareketlerinden etkilenmemesinin adına hava filtresi koyulmaktadır. Aynı şekilde kartın fazla ısınması ortam sıcaklığının hava sıcaklığından farklı olması mevsimler gibi faktörlerden ölçümler yanlış olabilmektedir. Bu sebeple

üzerinde farklı noktalarda referans sebebiyle ısı sensörleri bulunması yazılım ile veri doğruluğu artırılması gibi çözümler denenmektedir. Basınç Sensörünün Yapısı; Barometre üzerindeki basınç sensörleri MEMS teknikleri kullanılarak birkaç tip basınç sensörü oluşturulabilir. Burada en yaygın ikisi piezodirençli ve kapasitif basınç sensörleridir. Bunların her ikisinde de, basınç altında yön değiştiren bir diyafram görevi gören esnek bir katman oluşur. Ancak yer değiştirmeyi ölçmek için ikiside farklı yöntemler kullanılmaktadır. Günümüzde sıklıkla kullanılan yöntem MEMS tabanlı Kapasitif basınç sensörleridir. Kapasitif bir sensör oluşturmak için, bir kapasitör oluşturmak üzere diyafram üzerinde ve bir boşluğun altı iletken katmanla kaplanır. Kapasitans tipik olarak birkaç pikofaraddır. Diyaframın deformasyonu, iletkenler arasındaki aralık değişir ve dolayısıyla kapasitansı da değiştirir (Şekil xxx). Değişim, sensörü değişen basınçla frekansını değiştiren ayarlanmış bir devreye dahil ederek ölçülebilir. Sensör, çıkış sinyali üreten bir osilatör oluşturmak için çip üzerindeki elektronik bileşenlerle birlikte kullanılabilir. Silikon üzerinde büyük endüktanslar üretmenin zorluğu nedeniyle, bu genellikle bir RC devresi gibi olacaktır. Bu durum kablosuz okuma için de uygundur çünkü uygun bir harici antenle algılanabilen yüksek bir frekans üretmektedir. Alternatif olarak kapasitans, kapasitörün bir akım kaynağından şarj edilmesi için geçen süre ölçülerek doğrudan ölçülebilir. Bu, üretim toleransını hesaba katmak ve termal etkileri azaltmak için aynı kapasitede referans bir kapasitör ile karşılaştırılabilir. Her iki durumda da, elektroniğin ve sensör elemanının yakınlığı kaçak kapasitans ve gürültünün neden olduğu hataları en aza indirilmektedir.



Şekil 3.18 MEMS Kapasitif Barometre

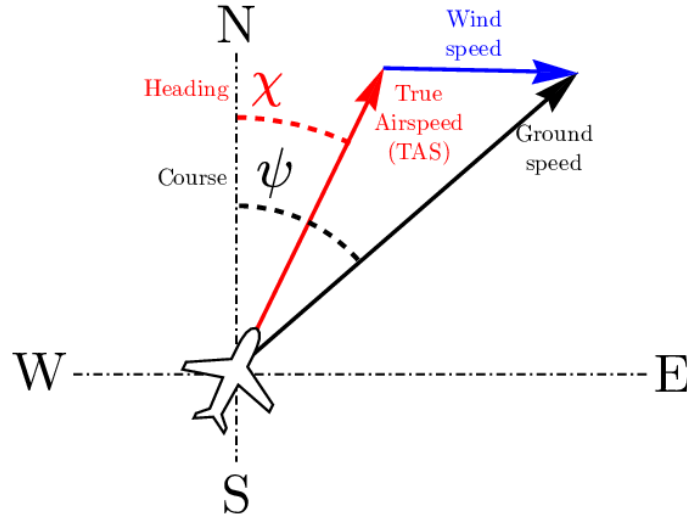
MEMS tabanlı piezoelektrik gerinim basınç sensörleri ilk başarılı MEMS basınç sensörleridir ve otomotiv, medikal ve ev aletleri gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İletken algılama elemanları doğrudan diyafram üzerinde üretilmektedir. Bu iletkenlerin direncindeki değişiklikler, uygulanan basıncın bir ölçüsünü sağlamaktadır. Dirençteki değişiklik, iletkenin uzunluğundaki mutlak değişiklik olan gerinim ile orantılıdır. Dirençler, dirençteki değişikliklerin çok doğru bir şekilde ölçülmesini sağlayan bir Wheatstone köprüsü ağına bağladır. Piezodirençli elemanlar, belirli bir basınç için çıkış sinyalini en üst düzeye çıkarmak için zıt gerinerek tasarlanabilmektedir. Dirençlerin yarısı gerilirken diğer yarısı sıkıştırılmaktadır.



Şekil 3.19 MEMS Piezodirençli

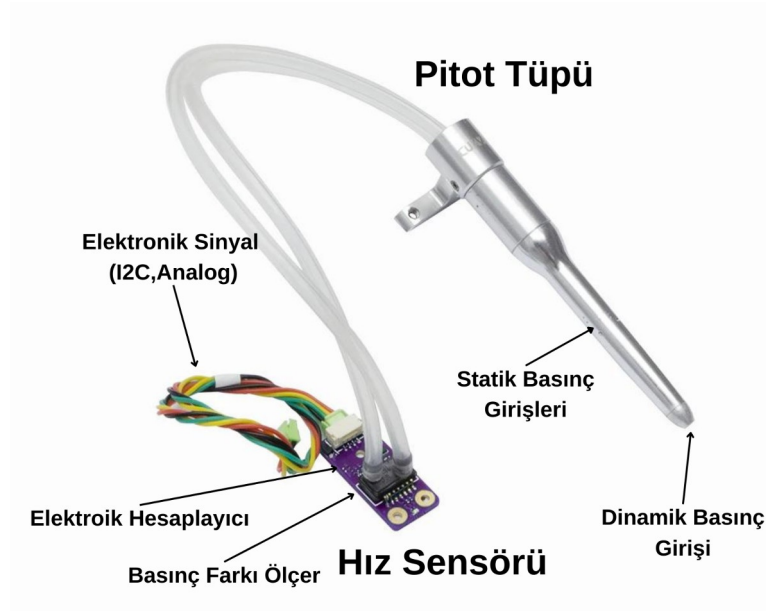
3.5. Hava Hızı Sensörü

Pitot Tüpü olarak da bilinen hava hızı sensörleri akan rüzgarın hızını ölçmektedir. Ve genellikle Sabit kanatlı hava araçlarında tercih edilmektedir. Pitot tüpleri uçaklarda da kullanılmaktadır. Rüzgar hızının ölçülmesinin önemi akıntıya karşı yüzen bir kayıktan örnek verilebilir. Rüzgar akışı İHA'nın akış yönünde savrulmasına sebep olmaktadır. Dengeyi bozan rüzgar akışları IMU tarafından farkedilip yörünge düzeltilirken rüzgara karşı uçuşlar uçuş kararlılığını bozmadığından IMU tarafından fark edilmemektedir. Bu durumda da yere göre hız ve havaya göre hız kavramları devreye girmektedir.



Şekil 3.20 Hız Bileşkeleri

Gerçek hava hızı ile rüzgar hızının bileşkesi yere göre hızı vermektedir. Rüzgara karşı uçuşlarda rüzgar hızı ile motor itki hızı aynı olduğunda yere göre hız 0 olup araç askıda kalmaktadır. Bu sebeple pitot tüpleri rüzgar hızını kullanarak daha kararlı uçuşlar sağlamaktadır. Çalışma prensibi olarak 2 basınç sensörü kullanılmaktadır biri havanın dinamik basıncını ölçerken diğeri statik basıncı ölçmektedir bu basınç farklarından rüzgar hızı tespit edilmektedir.



Şekil 3.21 Pitot Tüpü Özellikleri

3.6 GNSS Sistemleri

Küresel Navigasyon Uydu Sistemi olarak bilinen GNSS, uzaydan sinyaller yollayan ve bir kullanıcının dünyada coğrafi konumunu belirlemek için küçük uyduları kullanan bir uydu navigasyonu sistemi olarak tanımlanmaktadır. GNSS ile konum geriden kestirme yöntemi ile bulunmaktadır. Bu yöntemde uydu-alıcı uzaklığı, sinyalin uydudan alıcıya ulaşana kadar geçen zamanın ışık hızı ile çarpılmasıyla elde edilmektedir. Bu ölçüm esası ile kullanıcının konumu tespit edilebilmektedir.

GNSS sistemleri GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU/COMPASS, QZSS gibi birçok uydu bazlı sistemden oluşmaktadır. Bu sistemlerden Amerika asıllı GPS ve Rusya asıllı GLONASS hizmetleri dünya üzerinde en sık kullanılan iki konum servisi olarak bilinmektedir. Bu teknoloji ilk olarak ABD Hava Kuvvetleri tarafından Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) olarak geliştirilmiştir ve sadece ülkenin savunma güçleriyle sınırlandırılmıştır. Ancak şu an herkesin kullandığı bir sisteme evrilmiştir. Şu anda Rusya'nın GLONASS ve Avrupa Birliği'nin Galileo sistemleri diğer iki küresel konumlandırma sistemi olarak hizmet etmektedir.



Şekil 3.22 GNSS Sistemleri

3.6.1. GPS (Global Positioning System)

GPS sistemi 1978 yılında ABD Savunma Bakanlığı tarafından kurulmuştur. GPS yörüngede sürekli olarak dönen 32 uydudan meydana gelmektedir. Bu uyduların yaydığı radyo sinyalleri düşüktür. Bu düşük radyo sinyalleri GPS alıcısı ile alınmaktadır. Bu şekilde, konum belirlenmektedir.

3.6.2. GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)

Bu sistem Rusya Uzay Savunma Güçleri Komutanlığı tarafından 2008 yılında 24 uydu ile dünya çapında kullanıma sunulmuştur. Bu şekilde, GPS konumlamasından sonra ikinci yaygın uydu konumlandırma sistemi GLONASS olmuştur.



Şekil 3.23 GLONASS

3.6.3. IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System)

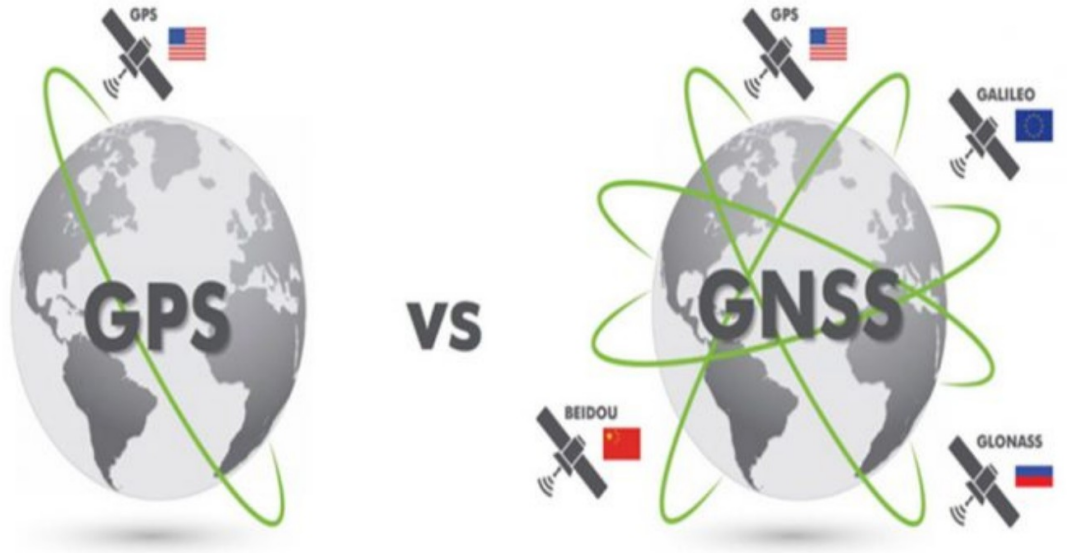
Hindistan Uzay Araştırmaları Örgütü (ISRO) tarafından tasarlanan özerk bölge uydu konumlandırma sistemidir.

3.6.4. QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)

Japonya'yı kapsayacak şekilde geliştirilen bu konumlandırma sistemi ilk uydusunu 2010 yılında fırlatmıştır.

3.6.5. GALİLEO

2005 yılında ilk uydusunu fırlatan GALİLEO, Avrupa Birliği tarafından GPS ve GLONASS'a alternatif olarak tasarlanmış bir sistemdir. GALİLEO, 30 operasyonel uydusu ve 6 adet yörüngelerinden oluşturulmuş ve dünyanın yörüngesine oturtularak hizmet vermesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.24 GPS ve GNSS

4. UÇUŞ KONTROL KARTLARININ UYGULAMALARI

Uçuş kontrol kartları insansız hava araçlarında, roketlerde; insansız yer istasyonu ile kullanılmaktadır. Her sistem için uçuş kontrol kartı farklılaşmaktadır.

4.1. Yer İstasyonları

Yer istasyonu uçuş kontrol kartlarının hareketi sırasında havada sensörlerden uçuş kartına aktarılan verileri, verici - alıcı modülü ile bilgisayardaki yazılımın ara yüzünde elde edilmesini sağlamaktadır. Yer istasyonları, uçuş kontrol kartlarında bulunmakta olan yükseklik, hava hızı, yer hızı, denge değerleri gibi verileri anlık olarak göstermektedir.

4.1.1. Yer İstasyonlarında Kullanılan Yazılımlar

Yer istasyonlarından gelen telemetri bilgilerinin rahatça okunabilmesi ve bilgisayar kontrolünün sağlanması yer istasyonu yazılımıyla sağlanmaktadır. Bu programlar sayesinde yer istasyonlarının sanal kokpitlerinden hava araçları kontrol edilebilmektedir. Kullanıcı birincil kişisel görüş (FPV) ekranından analog veya dijital görüntüleme sistemleri ile uçağın hareketini metrelerce uzaktan izleyebilmektedir. Her gereksinime uygun uçuş kontrolleri için farklı yer istasyonları bulunmaktadır.

4.1.2. Mission Planner

Mission Planner, yazılım mühendisi Michael Osborne tarafından 2010 tarihinde geliştirilmiştir. Mission Planner, Ardupilot uygulamasının projesi için açık kaynaklı olarak geliştirilen bir yer istasyonu programıdır. Mission planner birçok aracın havada, karada, su yüzeyinde ve altında kontrolünü sağlamaktadır. Bunun yanında hava aracı ile yer istasyonu arasında veri ve görüntü akışının sağlanması için izleme anteninin otonom olarak hareketini sağlamaktadır. Mission Planner uygulamasının kullanım alanları

arasında sabit kanat ve döner kanat İHA'lar, insansız kara ve deniz araçları bulunmaktadır. Bu araçların yanı sıra füze ve roketlerin de yer istasyonlarında kullanılmaktadır.

İnsansız hava aracı üzerinde bulunan uçuş kontrol kartı ile hava aracından telemetri modülüne gelen veriler, anten takip mekanizması üzerinde bulunan uçuş kontrol kartına göndermektedir. Bunun sayesinde telemetri modülünden aldığı koordinat verileri ile hava aracının yerden takibini sağlamaktadır. Mission Planner avantajları arasında, kolay arayüzü ile yapılması istenilen birçok fonksiyonu kullanıcının kısa sürede kavramasını sağlaması, Mission Planner'ın uçuş kontrol kartlarının çoğu ile uyumlu olması, hava aracındaki parametrelerin robot işlem sistemi uygulamasında rahat şekilde kullanılması bulunmaktadır. Mission Planner'ın Desteklediği Uçuş Kontrol Kartları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Desteklenen Kart Markaları

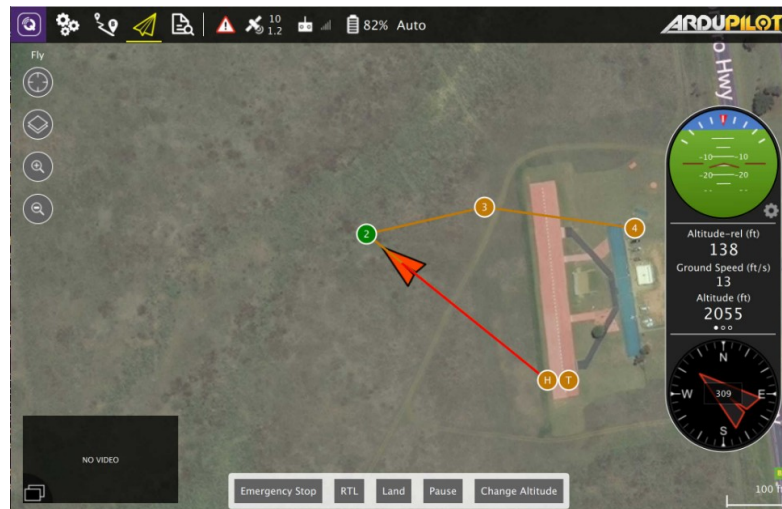
BBBMini	Holybro Kakute F4
Beagle Bone Blue	Holybro Kakute F4 Mini
CUAV V5 Plus CUAV V5 Nano	Holybro Kakute F7 AIO
CUAV Nora	Holybro Kakute F7 Mini
CUAV X7/ X7 Pro	Holybro Pixhawk 4 Mini
Drotek Pixhawk3	IFlight Beast F7 45A AIO
F4BY	IFlight BeastH7 AIO
Hex/ProfiCNC Cube Black	Mamba F405 MK2
Hex/ProfiCNC Cube Orange	Mateksys F405-SE
Hex/ProfiCNC Cube Purple	Mateksys F405-STD and variants
Hex/ProfiCNC Cube Yellow	Mateksys F405-Wing
Hex/ProfiCNC Cube Green	Mateksys F765-Wing
Holybro Durandal H7	Mateksys F765-WSE
Holybro Pix32 v5	Mateksys H743-Wing
Holybro Pixhawk 4	mRo ControlZero F7
mRo Pixhawk	mRo Pixracer Pro (H7)
mRo Pixracer	mRo Nexus
mRo X2.1	Omnibus F4 AIO/Pro
mRo X2.1-777	OmnibusNanoV6
Obal Board	Omnibus F7V2
OpenPilot Revolution	Parrot Bebop Autopilot
PocketPilot	Parrot C.H.U.C.K



Şekil 4.1 Mission Planner Arayüzü

4.1.3 QGround Control

Qground kontrol istasyonu yazılımı , Mission Planner yazılımından sonra en çok kullanılmakta olan diğer yer istasyonu yazılımıdır. Qground yer istasyonunu, Mission Planner istasyonundan ayıran en belirgin özellikleri olarak uçuş öncesi kontrol ekranı bulunması, harita görünümü ile video görünümü ile geçiş yapılabilmesi bulunmaktadır.



Şekil 4.2 Qground Arayüzü

4.1.4 Andruav

Andruav yer istasyonu, insansız araçlara gelişmiş yetenekler eklemek için cep telefonlarını yardımcı bilgisayarlar olarak kullanan, birbirine bağlı Android tabanlı bir sistemdir. Andruav çok sayıda bağlantı tasarrufu sağlamaktadır ve onu tek bir Android cep telefonuyla değiştirilmektedir. Andruav yer istasyonunu Mission Planner ve Qground Controller yer istasyonlarından ayıran en önemli özellik android tabanlı olmasından kaynaklı olarak telefon ile bağlanılabilmesidir. İHA'da kayıt videosu kaydettiğinde yakalanan görüntüler GPS konumu ile etiketlenmektedir. Üzerinde yakalanan görüntü ile bir harita oluşturma yeteneği gibi yetenekler bulunmaktadır. Ana özellikleri arasında, eş zamanlı birden fazla uçağı kontrol edebilme, birden fazla İHA'nın video akışını yapabilme, mobil cihaza bağlı olarak yakınlştırarak fotoğraf çekme bulunmaktadır.



Şekil 4.3 Andruav Arayüzü

4.2. Uçuş Kontrol Kartı Seçimi

İHA teknolojisinin gelişmesiyle İHA'ların hobi ve görüntü kaydetme amaçlı kullanımı artmıştır. İHA'lar için uçuş kontrol kartları incelenecektir ve özellikleri kıyaslanacaktır.

Uçuş kontrol kartı seçilirken dikkat edilmesi gereken kartın ne tür bir uygulamada kullanılacağı ve bu karta ayrılacak bütçe olacaktır. Eğer hobi amaçlı veya havadan görüntü alınması için İHA gerçekleştirilecek ise uçuş kontrol kartı farklı uçuş modlarını desteklemeli ve yeteri kadar sensör bacağına sahip olması gerekmektedir. Kartın açık kaynak olup kodların amaca yönelik yapılandırılabilmesi gerekmektedir. Bu sayede özgün sistemler oluşturulabilmektedir. Bu konuda deneyimli insanlar bile kurulum kolaylığına çok önem vermektedir. Ayrıca açık kaynak kodlu yazılıma sahip bir kontrol kartı birçok özelliğe zahmetsiz ulaşmanızı sağlamaktadır. Uçuş kontrol kartının yazılım desteği olmalı ve güncel bir kart olmalıdır. Kartın yazılım desteği firma tarafından sonlandırılmış ise, kartın son sürümde stabil uçuşu sağlayabilmesinden emin olunmalıdır. Son olarak, söz konusu uçuş denetleyicisinin desteklediği yetenekleri ve teknik özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. İhtiyaçlarınıza bağlı olarak, uçuş kontrol kartında dikkat etmeniz gereken sensörlerin ve özelliklerin listesi aşağıdaki çizelgede bulunmaktadır.

Çizelge 4.2 Dikkat Edilmesi Gereken Özellikler

Mikrodenetleyici bit sayısı: 32 bitlik bir mikrodenetleyici kullanan uçuş kontrolörü 8 bitlik bir mikrodenetleyici kullanan uçuş kontrolörüne göre yüksek işlem gücüne sahiptir. Yine yüksek frekansa sahip bir uçuş kontrol kartı komutları daha hızlı uygulamaktadır.
Kullanılacak uçuş kontrolörü jiroskop ve ivmeölçer bulundurulmalıdır.
Barometre, İHA'nın yüksekliğini belirlemeyi sağlayan bir sensördür. Özellikle otonom uçuş ve görüntü almak için kullanılacak İHA'larda gerekli olmaktadır.
GPS, insansız hava aracının konumunu belirlemek için kullanılan sensördür ve otonom uçuşlarda İHA'nın haritadaki yerini görmek için kullanılmaktadır.

4.2.1. ArduPilot APM Kartı

Fiyat olarak bakıldığında orta seviye bir uçuş kontrolörü olup, otonom uçuşu destekleyen özellikleriyle mükemmel giriş seviyesi bir uçuş kontrolörü olmaktadır. Kısaca, APM manyetometre ve barometre de dahil olmak üzere tüm önemli sensörleri içerir ve daha fazla sensör eklemenize imkan tanımaktadır. Avantajları olarak her türlü sensörü destekler ve iki yönlü telemetri ile uçuş hakimiyeti sağlamaktadır. ArduPilot ekibi tarafından oluşturulan açık kaynak kodlu yazılımı bulunmaktadır. Mission Planner sayesinde kurulum kolaylığı sağlamaktadır. Otonom kalkış, iniş ve kamera kontrolleri gibi özel eylem komutlarını barındırmaktadır. Arduino derleyicisi ile istenildiği takdirde ek kodlar eklenebilir. Dezavantajları olarak da donanım yazılımı ve yazılım desteği firma tarafından sonlandırılmıştır. Birçok uçuş kartındaki mikrodnetleyici 32 bit mikrodnetleyici olmasına rağmen APM, Atmega'nın 8 bitlik mikrodnetleyicisini kullanmaktadır. Pixhawk ve Naze32 gibi uçuş kontrolörlerine kıyasla uçuş performansı zayıftır. Kalibrasyon ayarları zaman alabilmektedir.

4.2.2. Eagle Tree Vector Kartı

Otonom uçuş özelliklerine sahip uçak ve dokuçarlar için mükemmel bir seçim olan piyasadaki en esnek, uyarlanabilir ve çok amaçlı kontrolördür. Orijinal ambalajında bir görüntü ekranı(OSD) ve konnektörü ile birlikte gelir ve bunları ayrıca satın almanıza gerek yoktur. Uçuş kontrol kartının programlanması ve ayarlanması son derece kolaydır. Pilot, her boyuttaki uçakları kontrol edebilmektedir. Sabit kanatlı uçaklar da dahil olmak üzere sadece bazı konfigürasyon ayarlamaları ile manevra ve dengeyi sağlamak zor değildir. Avantajları olarak, Son derece esnek ve uyarlanabilir. Harici eklenecek çoğu sensör ile uyumludur ve telemetri içerir. 32 bit mikrodnetleyiciye sahiptir ve bu sayede işlem gücü yüksektir. Donanım yazılımı kurulumu çok kolaydır. Programlanması ve konfigürasyon ayarlarının yapılması kolaydır. Sabit kanatlı uçaklar dahil olmak üzere çok sayıda uçuş tipini desteklemektedir. Dezavantajları olarak fiyat açısından kendi sınıfındaki diğer uçuş kartlarına göre daha pahalıdır.

4.3. Maliyet Analizi

Yapılan araştırmalar sonucunda sivil havacılıkta kullanılabilecek örnek bir İHA tasarımı için gerekli malzeme araştırması yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda Gerekli malzemelerin maliyet çizelgesi oluşturulmuştur. İHA'lar göreve yönelik farklı yapılarda ve özelliklerde tasarlanabileceğinden dolayı çizelge oluşturulurken en uygun fiyatta olacak şekilde tercih edilmiştir.

Çizelge 4.3 Maliyet Çizelgesi

Parça Adı	Model	Adet	Toplam Ağırlık(gr)	Toplam Fiyat(TL)
Motor	Sunnysky X2216 1100 KV	2	144	790
Batarya	Leopard-Power 4S 1300mAh 75 C 14.8V	1	150	630
ESC	ZTW Beatless 40A	2	72	470
Servo	Savox SH-0262MG Metal Diřli Servo	2	27,2	1600
Uçuş Kontrol Kartı	Pixhawk 2.4.8	1	70	2750
Pixhawk Güç Modülü	30V 90A Güç Modülü - 5.3V 3A Bec - Xt60	1	34	266
GPS	M8N 8M	1	49	373
Telemetri	HC-06 Bluetooth	1	20	30
Pervane	APC Propellers 9x4.7	2	13,2	300
Güç Tuřu	Rocker Switch 70A	1	6	30
Diğer	-	-	-	200
Toplam:			585,4	7439

Oluşturulan maliyet çizelgesinde Sivil Havacılıkta görüntüleme keşif tarama gibi alanlarda kullanılabilecek bir faydalık yük kapasitesi de bulunan bir İHA üretim maliyet çizelgesi hazırlanmıştır. Hesaplanan maliyetlerle birlikte aviyonik sistemlerin ağırlıkları da girilmiştir. Üretilen gövde yapısı da 500gr olduğunda tahmini 1200gr İHA ağırlığı mümkün olmaktadır.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada İnsansız Hava Araçlarında bulunan uçuş kontrol kartlarının yapısı ve özellikleri anlatılmıştır. Bir insansız hava aracının sınıflandırması türleri ve özellikleri hakkında bilgilendirme sağlandıktan sonra sivil havacılıkta kullanılan araçlar araştırılarak literatür taraması yapılmıştır. Bu araştırma sonuçları otopilot kartının tüm yapısı çalışma yapılmadan önce özellikle İMU ve navigasyon sistemleri olmak üzere ve birçok çevresel sistem hakkı bilgi bulundurmaktadır.

Bundan sonraki çalışmalarda bir uçuş kontrol kartı tasarımı ve gerçekleştirilmesi yapılabilmesi için ön bir hazırlık çalışması olmuştur. Uçuş kontrol kartları zengin birçok sistemin birlikte çalışmasını gerektğinden zor ve karmaşık bir yapı olmaktadır. Çok geniş alanlarda özelleştirilip tasarlanabileceğinden birçok sistem dinamikleri değişiklik göstermektedir. Genel ölçekte özelleştirilebilir ve ticari ürünler ile uyumlu bir kart tasarımı yapılabilmesi adına yapılan bu proje de kullanıcı parametrelerin ve ticari ürünlerdeki sistem parametrelerinin elde edilmesi sağlanırken alt sistemlerin çalışma prensipleri anlatılmıştır.

9. KAYNAKLAR

- PAKKAN, B. ve ERMİŞ, M. (2010). İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI FİLOSUNUN GENETİK ALGORİTMALAR KULLANARAK ÇOKLU HEDEFLERE ATANMASI. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi , 4 (3), 77-84.
- 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.
- Çetinsoy, E., Öner, K. T., Kandemir, İ., Akşit, M. F., Ünel, M., & Gülez, K. (2008). Yeni bir insansız hava aracının (SUAVi) mekanik ve aerodinamik tasarımı.
- URL 1. <https://gelecegiyazanlar.turkcell.com.tr/etiket/arduino-spi-haberlesme-0> (01.01.2023)

TEŞEKKÜR

Proje Hazırlık dersi kapsamında çalışmalarım boyunca sağladıkları desteklerinden ötürü danışman hocam Sayın Prof. Dr. Fahri VATANSEVER’e 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