

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAVACILIK ELEKTRİK VE ELEKTRONİĞİ ANABİLİM DALI**

**AİRBUS A320 SİDE-STİCK KONTROLÇÜ SINIRLARI,
İNCELENMESİ, DİĞER SİSTEMLERE UYARLANMASI**

**Hazırlayan
Hüseyin GÜLHAN**

**Danışman
Doç. Dr. Mehmet KONAR**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2024
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAVACILIK ELEKTRİK VE ELEKTRONİK ANABİLİM DALI**

**AİRBUS A320 SİDE-STİCK KONTROLCÜ SINIRLARI,
İNCELENMESİ, DİĞER SİSTEMLERE UYARLANMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Hüseyin GÜLHAN**

**Danışman
Doç. Dr. Mehmet KONAR**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FYL-2024- 13287 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Temmuz 2024
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Hüseyin GÜLHAN

“Airbus A320 Side-stick Kontrolcü Sınırları, İncelenmesi, Diğer Sistemlere Uyarlanması” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Hüseyin GÜLHAN

Danışman

Doç. Dr. Mehmet KONAR

Havacılık Elektrik ve Elektronik ABD Başkanı

Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Kerim AĞIRMAN

TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, desteğini her zaman hissettiğim danışmanım, değerli hocam, yol gösteren Doç. Dr. Mehmet KONAR'a ve çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen yanımda olan değerli hocam Hasan Murat SERT 'e sonsuz teşekkür ederim.

Side-stick temininde değerli destekleri için Mytechnic MRO Technic Services A.Ş. ailesine teşekkür ederim.

Beni bu yaşa getiren ve eğitimime destek olan aileme, şu an bünyesinde bulunduğum her daim desteğini esirgemeyen TUSAŞ (TAİ) ailesine, arkadaşlarıma ve en büyük destekçim eşim Çiğde Bilgehan Gülhan'a teşekkürü borç bilirim.

Hüseyin Gülhan

Temmuz 2024, KAYSERİ

AIRBUS A320 SIDE-STICK KONTROLCÜ SINIRLARI, İNCELENMESİ, DİĞER SİSTEMLERE UYARLANMASI

Hüseyin GÜLHAN

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2024
Danışman: Doç. Dr. Mehmet KONAR**

ÖZET

Ülkeler ve kıtalar arası ulaşımında sıklıkla kullanılan hava taşımacılığı her geçen gün yükselen bir trend ile insanlar tarafından tercih edilmektedir. Üreticiler tarafından hem yolcular hem de uçuş mürettebatı için uçuş güvenliği ve konforun artırılması çalışmaları yapılmaktadır. Airbus uçaklarında kullanılan side-stick kumandası uçuş güvenliği ve konforunun en önemli örnek çalışmalarından biridir. Side-stick, pilotların kumanda işini kolaylaştırmak için geliştirilmiş temel bir ekipmandır. Kokpitte pilot tarafından verilen komutlar side-stick, tarafından alınarak, kontrol yüzeylerinin hareketi için referans sinyal olarak kullanılır. Bu referans sinyal uçuş kontrol bilgisayarlarına gönderilerek, uçuş kontrol yüzeyinin nasıl bir hareket yapacağına karar verilmektedir. Böylece kokpitten verilen komutlar elektriksel sinyale çevrilerek, uçuk kontrol bilgisayarlarıyla uçağın uçuşması sağlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, tersine mühendislik yöntemiyle Airbus firmasının A320 serisi yolcu uçağının ikinci pilotunun side-stick kontrolcüsünün incelenmesi ele alınmıştır. İncelemeye, Airbus A320 (A320)'nin side-stick kumanda sisteminin detaylı analizi ile başlanmıştır. Bu analizde, mekanik ve elektronik bileşenler ile kumanda komutlarının nasıl üretildiği incelenmiştir. Böylece side-stick kontrolcüsünün sınırları belirlenmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında, A320 side-stick kontrolcüsünün elektromekanik bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmada Arduino tabanlı bir devre tasarlanarak, A320 side-stick kontrolcüsüyle bir İnsansız Hava Aracının (İHA) kontrol yüzeylerinin kontrolü sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Side-stick; A320; simülatör; kumanda yüzeyleri.

OVERALL EXAMINATIONS ON RESTRICTIONS OF THE AIRBUS A320 SIDE-STICK CONTROLLER AND ENTEGRATION OF OTHER SYSTEMS

Hüseyin GÜLHAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, July 2024

Supervisor: Associate Professor Dr. Mehmet KONAR

ABSTRACT

Intercontinental transportation, often utilized in air travel, is increasingly preferred by people with each passing day. Manufacturers are working to enhance both flight safety and comfort for passengers and flight crew. One of the most significant examples of these efforts is the side-stick controller used in Airbus aircraft. The side-stick is a fundamental piece of equipment developed to facilitate pilot control. Commands given by the pilot in the cockpit are received by the side-stick, which is then used as a reference signal for the movement of control surfaces. This reference signal is sent to flight control computers, which then determine the movement of the flight control surfaces. Thus, commands given from the cockpit are converted into electrical signals, allowing the aircraft to be flown with the aid of flight control computers.

In this thesis, the co-pilot's side-stick controller of the Airbus A320 series passenger aircraft is examined through reverse engineering. The examination begins with a detailed analysis of the side-stick control system of the Airbus A320. This analysis investigates how mechanical and electronic components and control commands are produced. Through this, the limits of the side-stick controller are determined. In light of the information obtained, it has been observed that the A320 side-stick controller has an electromechanical structure. In this study, an Arduino-based circuit was designed to control the control surfaces of an unmanned aerial vehicle (UAV) using the A320 side-stick controller.

Keywords: Side-stick; A320; simulator; control surfaces.

İÇİNDEKİLER

AİRBUS A320 SIDE-STICK KONTROLCÜ SINIRLARI, İNCELENMESİ, DİĞER SİSTEMLERE UYARLANMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK	iii
KABUL VE ONAY	iv
ÖNSÖZ.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI4

1.1. Problem Durumu	4
1.2 Gerçek Uçak Kontrolcülerini ile Simülasyonların Entegrasyonu	4
1.2. Araştırmanın Amacı	5
1.3. Araştırmanın Önemi	6
1.3.1. Gerçek Kontrolcü Kullanmanın Önemi	6
1.3.2. Simülasyonların Sürekli Geliştirilmesinin Önemi	9
1.3. Literatür Taraması	10

2. BÖLÜM

SİMULATÖRLER

2.1. Simülasyonlarda Kullanılan Sistemler	14
---	----

3. BÖLÜM

UÇAK KONTROLCÜLERİ

3.1. Uçak Kontrol Sistemleri Türleri.....	21
3.2. Uçak Kontrol Sistemlerinin Bileşenleri	23
3.3. Kontrol Yüzeyleri.....	24
3.4. Sensörler ve Aktüatörler.....	25
3.5. Uçuş Bilgisayarları	25
3.6. Kullanım Alanları	25
3.7. Gelecekteki Gelişmeler.....	27
3.8. Araştırma Modeli.....	28
3.9 Evren ve Örneklem	29
3.9.1 Evren	29
3.9.2 Örneklem.....	30

4. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal	31
4.1.1. Side-Stick.....	32
4.1.2. Arduino.....	32
4.1.3. Potansiyometre	34
4.1.4. Model Uçak ve Servolar	34
4.1.6. 3D Yazıcılar:.....	36
4.1.7. Diğer Bileşenler:	38
4.2. Yöntem	39
4.2.1. Side-Stick ve Potansiyometre Kullanımının Temeli	41
4.2.2. Arduino'nun Entegrasyonu	45
4.2.3. Simülasyon Standının Oluşturulması.....	46
4.3.4. Yazılım Entegrasyonu	47

4.3.5. Donanım Entegrasyonu.....	51
4.3.6. Bağlantılar ve Devre Tasarımı.....	51
4.3.7 Model Uçak Üzerinde Gösterim	52
4.3.8. Test ve Doğrulama Süreci	53
4.3.9. Sonuç ve Beklentiler	53

5. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1.Tartışma	55
5.1.1. Avantajlar:	55
5.1.2. Zorluklar ve Tartışma Noktaları:.....	55
5.2. Sonuç ve Öneriler	56
KAYNAKÇA.....	59
ÖZGEÇMİŞ	63

KISALTMALAR

A320	:Airbus 320
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
AESS	: American Institute of Electrical Engineers Society (Amerikan Elektrik Mühendisleri Topluluğu)
AFCS	: Auto Flight Control System (Otomatik Uçuş Kontrol Sistemi)
AI	: Artificial Intelligence (Yapay Zeka)
AR	: Augmented Reality (Artırılmış Gerçeklik)
ECS	: Environmental Control Systems (Çevresel Kontrol Sistemleri)
EEPROM	: Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory (Silinip Programlanabilir Salt Okunur Bellek)
ER	: Educational Robotics (Eğitim Robotikleri)
FBW	: Fly By Wire (Elektronik Uçuş Kontrol Sistemi)
FCC	: Flight Control Computer (Uçuş Kontrol Bilgisayarı)
FDM	: Fused Deposition Modeling (Ergitme Yığılma Modelleme)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
GUI	: Graphical User Interfaces (Grafik Kullanıcı Arayüzleri)
IDE	: Integrated Development Environment (Entegre Geliştirme Ortamı)
IHA	: İnsansız Hava Aracı (Unmanned Aerial Vehicles, UAVs)
IMU	: Inertial Measurement Units (Ataletsel Ölçüm Birimleri)
I/O	: Input/Output (Giriş/Çıkış)
KB	: Kilobyte
ML	: Machine Learning (Makine Öğrenimi)
MIS	: Minimally Invasive Surgery (Minimal İnvaziv Cerrahi)
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
PID	: Proportional-Integral-Derivative (Oransal İntegral Türev)
PLA	: Polilaktik Asit
PWM	:Pulse Width Modulation (Darbe Süresi Modülasyonu)
QF	: Q-Feel (Q Hissi)
QN	: Q Feel Normal (Q Hissi Normal)

SAE : Society of Automotive Engineers (Uluslararası Otomotiv Mühendisleri Derneği)

SRAM: Static Random Access Memory (Durağan Rastgele Erişimli Belek)

THY : Türk Hava Yolları

UTED : Uçak Teknisyenleri Eğitim Derneği

VR : Virtual Reality (Sanal Gerçeklik)

3D : Three-Dimensional (Üç Boyutlu)



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1. Gradient bölgesi	7
Şekil 2. 1. Havelsan uçuş simülasyonu	15
Şekil 2. 2. Yerli test platformları	16
Şekil 2. 3. THY yerli uçuş simülatörü	16
Şekil 2. 4. Baykar simülatör sistemi	17
Şekil 2. 5. Flight simülatör uygulaması	18
Şekil 3. 1. Side-stick aksamı	23
Şekil 3. 2. Kontrol yüzeyleri	24
Şekil 4. 1. Side-stick iç yapısı	31
Şekil 4. 2. Arduino geliştirme kartı.....	33
Şekil 4. 3. Bağlantı kabloları	33
Şekil 4. 4. Potansiyometre ve bağlantı çizimleri	34
Şekil 4. 5. Model uçak çeşitleri	34
Şekil 4. 6. Seçilen model uçak.....	35
Şekil 4. 7. Model uçak yapısı	35
Şekil 4. 8. 3D yazıcı.....	38
Şekil 4. 9. Güç kaynağı	38
Şekil 4. 10. Uygulamanın akış diyagramı	39
Şekil 4. 11. Side-stick'in hava aracı yerleşimi	40
Şekil 4. 12. Kontrol paneli	40
Şekil 4. 13. Kablo numaralandırılması	42
Şekil 4. 14. Bağlantı connectörleri	43
Şekil 4. 15. Ölçüm için hava aracı lisanslı pinler	43
Şekil 4. 16. Ölçüm için kullanılan ölçü aleti ve pinlerin bağlantısı.....	44
Şekil 4. 17. Stand bağlantı parçaları çizimi.....	46
Şekil 4. 18. Stand yerleşimi.....	47
Şekil 4. 19. Potansiyometre aktarımı	48
Şekil 4. 20. Potansiyometre bağlantı elemanı üretim aşaması	48
Şekil 4. 21. Ardunio ve bağlantıları kurulumu	52
Şekil 4. 22. Ardunio bağlantıları	52
Şekil 4. 23. Model uçak üzerinde gösterim.....	53

GİRİŞ

Simülasyonlar, gerçek dünyadaki olayları, süreçleri veya sistemleri taklit eden ve genellikle bilgisayar tabanlı modeller üzerine kurulu olan teknolojik araçlardır. Bu modeller, fiziksel sistemlerin dijital temsillerini oluşturarak, kullanıcıların gerçek dünya senaryolarını güvenli ve kontrollü bir ortamda incelemelerine olanak tanımaktadır. Simülasyonlar, farklı sektörlerde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir, ancak özellikle havacılık sektöründe kritik bir rol oynamaktadır. Uçakların tasarımı, pilot eğitimi, bakım prosedürleri ve sertifikasyon süreçleri gibi pek çok alanda simülasyonlar hem maliyetleri azaltmak hem de güvenliğini arttırmak için vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir [1-7].

Havacılık sektöründe, uçak tasarımı oldukça karmaşık ve maliyetli bir süreçtir. Yeni bir uçak modeli geliştirilirken, tasarımın her aşamasında çeşitli testlerin ve değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Bu testlerin fiziksel prototipler üzerinde yapılması, yüksek maliyetler ve uzun zaman gerektirmektedir. Bu tür problemlerin çözümlerinde, simülasyonların kullanımına başvurulmaktadır. Bilgisayar tabanlı simülasyonlar, mühendislerin uçak tasarımlarını sanal ortamda test etmelerine ve optimize etmelerine olanak tanımaktadır. Bu sayede, fiziksel prototiplerin sayısı ve test süreçlerinin maliyeti önemli ölçüde azaltılmaktadır. Aynı zamanda, simülasyonlar sayesinde olası tasarım hataları erkenden tespit edilip düzeltilmektedir. Böylece, nihai ürünün güvenliğini ve performansı arttırılmaktadır [1-5].

Pilotaj eğitimi, simülasyonların yoğun bir şekilde kullanıldığı bir diğer alandır. Gerçek uçaklarla yapılan eğitim uçuşları, maliyetli ve risklidir. Pilot adaylarının, çeşitli uçuş senaryolarını deneyimleyebilmeleri ve acil durum prosedürlerini uygulamalı olarak öğrenebilmeleri için simülatörler kullanılmaktadır. Modern uçuş simülatörleri, gerçek uçuş koşullarını çok yüksek bir doğrulukla taklit edebilen sofistike sistemlerdir. Bu Simülatörler bu noktada, pilotların çeşitli hava şartlarında, farklı acil durum

senaryolarında ve uçuş operasyonlarının çeşitli aşamalarında pratik yapmalarına imkân tanımaktadır

Simülasyon eğitimleri ile pilot adayları gerçek uçuşlara daha iyi hazırlanmış ve eğitim süreçleri daha verimli ve güvenli hale gelmiş olmaktadır [16].

Simülasyonlar, aynı zamanda havacılık bakım prosedürlerinin ve sertifikasyon süreçlerinin de ayrılmaz bir parçasıdır. Uçak bakım teknisyenleri, bakım ve onarım işlemlerini uygulamalı olarak öğrenmek için simülatörlerden faydalanmaktadırlar. Bu simülatörler, teknisyenlerin karmaşık bakım prosedürlerini öğrenmelerine ve uygulamalarına imkan tanımaktadır. Ayrıca, uçakların sertifikasyon süreçlerinde de simülasyonlar kullanılmaktadır. Bir uçak modeli piyasaya sürülmeden önce, çeşitli güvenlik ve performans testlerinden geçirilmesi gerekmektedir. Bu testlerin bir kısmı, fiziksel testlerin yanı sıra simülasyonlar aracılığıyla da gerçekleştirilmektedir. Simülasyonlar, uçakların çeşitli uçuş koşullarında nasıl performans gösterdiğini değerlendirmek için kullanılmaktadır ve bu da sertifikasyon süreçlerinin daha hızlı ve maliyet etkin bir şekilde tamamlanmasını sağlamaktadır.

Havacılık simülasyonlarının doğruluğu ve güvenilirliği, kullanılan sistemler ve kontrol cihazlarına bağlıdır. Simülasyonların gerçek dünyadaki olayları ve süreçleri doğru bir şekilde taklit edebilmesi için, kullanılan modellerin ve algoritmaların yüksek doğrulukta olması gerekmektedir. Ayrıca, simülasyonlarda kullanılan donanım ve yazılımlar da büyük önem taşımaktadır. Özellikle uçuş simülatörlerinde, gerçeğe çok yakın bir deneyim sunabilmek için, yüksek performanslı bilgisayarlar, hassas kontrol cihazları ve gelişmiş grafik sistemleri kullanılmaktadır. Bu unsurlar, simülasyonların doğruluğunu ve güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir.

Sonuç olarak, simülasyonlar havacılık sektöründe vazgeçilmez bir araçtır ve uçak tasarımı, pilot eğitimi, bakım ve sertifikasyon süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Simülasyonların etkinliği, kullanılan sistemlerin ve kontrol cihazlarının doğruluğu ve güvenilirliği ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle, simülasyon teknolojilerinin sürekli olarak geliştirilmesi ve güncellenmesi büyük önem taşımaktadır [2].

Bu çalışmada, Airbus firmasının A320 serisi yolcu uçağının ikinci pilotunun side-stick kontrolcüsünün incelenmesi ele alınmıştır. Bu amaç için, Airbus A320'nin side-stick

kumandası ayrıntılı incelenmiştir. İnceleme sonucunda elde edilen bulgulardan yararlanılarak A320 side-stick kontrolcüsüyle bir İnsansız Hava Aracının (İHA) kontrol yüzeylerinin kontrolü sağlanması ele alınmıştır. İnceleme de Arduino tabanlı bir devre tasarlanmış, A320 side-stick kontrolcüsünün referans komutları işlenerek İHA'nın kontrol yüzeylerinin kontrolü sağlanmıştır.

Bu tez çalışması beş bölümden meydana gelmektedir. Birinci bölümde, genel bilgiler ve literatür çalışmasına yer verilmiştir. İkinci bölümde, simülatörler ile ilgili bilgilere verilmiştir. Üçüncü bölümde, uçuş kontrolcüleri ele alınmıştır. Dördüncü bölümde, materyal ve yöntemler ele alınmıştır. Son bölümde ise, sonuç ve öneriler için değerlendirmeler yapılmıştır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Problem Durumu

Simülasyonlar, gerçek dünyadaki olayları, süreçleri veya sistemleri taklit eden, genellikle bilgisayar tabanlı modellerdir. Havacılık sektöründe, uçakların tasarımı, pilot eğitimi ve hava aracı sertifikasyonu dahil olmak üzere birçok alanda simülasyonlar kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, bu simülasyonların doğruluğu ve güvenilirliği, kullanılan sistemlere ve kontrolcülere bağlıdır [1-4].

Yapay kontrolcülerin getirdiği problemlerin başında, doğruluk ve hassasiyet kaybı problemleri gelmektedir. Yapay kontrolcüler, gerçek dünya koşullarını tam olarak taklit etmekte yetersiz kalmaktadırlar. Bu eksiklik, simülasyonların doğruluğunu ve güvenilirliğini etkilemektedir [3].

Simülasyonlarda gecikme sorunları bulunmaktadır. Bu sorunlar, yapay kontrolcülerin tepki sürelerini etkilemektedir ve gerçek zamanlı uygulamaların simüle edilmesi noktasında sorun oluşturmaktadır. Gecikmeler sebebiyle gerçek dünya örneğine benzetilen simülasyon ortamının etkinliği azalmaktadır.

Yapay kontrolcülerin tasarımı ve entegrasyonu, simülasyonların karmaşılaşmasına neden olmaktadır. Bu da hataların ve sorunların ortaya çıkma olasılığını arttırmaktadır.

1.2. Gerçek Uçak Kontrolcülerini ile Simülasyonların Entegrasyonu

Gerçek uçak kontrolcülerini, simülasyonların daha gerçekçi ve doğru olmasını sağlamaktadır. Bu, pilot eğitimi ve uçak sertifikasyonu gibi süreçlerde büyük önem taşımaktadır [1-12].

Gerçek kontrolcülerle yapılan simülasyonlar, sistemlerin ve algoritmaların güvenilirliğini test etmek için kullanılmaktadır. Bu işlem, potansiyel sorunların erken tespit edilmesine yardımcı olmaktadır.

Gerçek uçak kontrolcüler, simülasyon sistemlerine kolayca entegre edilebilmektedir. Kolay entegrasyon, simülasyonların daha esnek ve kullanıcı dostu olmasını sağlamaktadır.

Simülasyonlar, havacılık sektöründe önemli bir role sahiptir. Simülasyon doğruluğu ve güvenilirliği, kullanılan sistemlere ve kontrolcülere bağlı olmaktadır. Yapay kontrolcüler, bazı sorunları beraberinde getirebilirken; gerçek uçak kontrolcülerıyla yapılan entegrasyonlar, simülasyonların daha gerçekçi ve doğru olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle, simülasyonların tasarımı ve geliştirilmesi sürecinde, kullanılan sistemlerin ve kontrolcülerin dikkatli bir şekilde seçilmesi ve test edilmesi gerekmektedir.

1.2. Araştırmanın Amacı

Eğitim ve beceri geliştirme, simülasyonların temel hedefidir. Gerçek uçak kontrolcülerinin simülasyonlarla etkili bir şekilde eğitilmesi ve becerilerinin geliştirilmesi, gerçek uçuş koşullarında daha yetkin ve hazır hale gelmelerini sağlamaktadır [5].

Yapay kontrolcülerin meydana getirdiği potansiyel problemler ve hatalar, gerçek uçuşlarda ciddi sonuçlara sebep olma riski oluşturmaktadır. Gerçek uçak kontrolcüler ve simülasyonların entegrasyonu ile bu tür risklerin minimize edilerek daha güvenli bir eğitim ortamının sağlanması öngörülmektedir.

Simülasyonlar, gerçek uçuşlara göre daha düşük maliyetli ve daha verimli bir eğitim platformu sunmaktadır. Gerçek uçak kontrolcülerinin simülasyonlarla entegrasyonu, eğitim maliyetlerini azaltabilmektedir ve eğitim sürecini daha etkili hale getirebilmektedir [2-5].

Yapay kontrolcülerin getirdiği problemler ve zorluklar, teknolojik gelişim ve yeniliklerin teşvik edilmesinin için bir fırsat olacağı öngörülmektedir. Gerçek uçak kontrolcüler ile simülasyonların entegrasyonu, bu tür teknolojik gelişimlere öncülük edebilmektedir.

Gerçek uçak kontrolcöleri, farklı uçak modelleri, uçuş koşullar ve senaryoları ile etkili bir şekilde çalışabilmelidir. Simölasyonlar, bu adaptasyon ve esneklik yeteneklerini geliştirmek için bir platform sağlamaktadır.

Gerçek uçak kontrolcöleri ile simölasyonların entegrasyonu, gerçek dünya uçuş senaryolarının simüle edilmesini ve bu senaryolara göre eğitim alınmasını mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak, simölasyonlarda kullanılan sistemler, yapay kontrolcölerin getirdiğı problemler ve gerçek uçak kontrolcöleri ile simölasyonların entegrasyonu, havacılık eğitimi ve uçuş operasyonlarının daha güvenli, verimli ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Bu entegrasyonun, eğitim kalitesini artırırken maliyetleri ve riskleri de azaltacağı öngörülmektedir.

1.3. Araştırmanın Önemi

Simölasyonlar, gerçek dünya olaylarını, süreçleri veya sistemleri taklit eden sanal modellerdir. Havacılık, tıp, mühendislik ve birçok diğ er sektörde, simölasyonlar teorik çalışmaların ve deneylerin gerçek dünyadaki uygulamalarını test etmek, optimize etmek ve eğ itmek amaçlı kullanılmaktadır. Bu çalışmada, simölasyon oluştururken gerçek kontrolcü kullanmanın ve simölasyonların sürekli geliştirilmesinin önemini ele alınmaktadır.

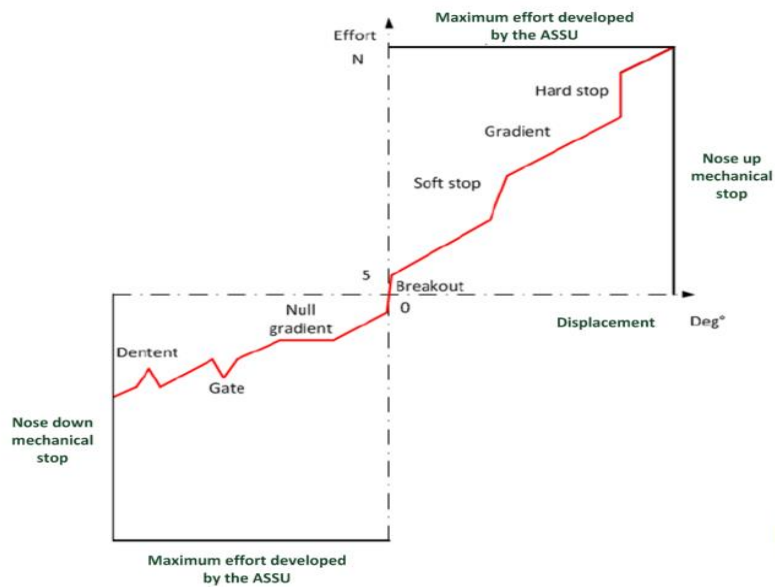
1.3.1. Gerçek Kontrolcü Kullanmanın Önemi

Simölasyonların gerçekçiliğı, kullanılan kontrolcölerin doğruluğı ve hassasiyetiyle doğrudan ilişkilendirilmektedir. Gerçek kontrolcöler, simölasyonların daha gerçekçi ve güvenilir olmasını sağlamaktadır, böylece elde edilen sonuçlar gerçek dünya uygulamalarına daha uygun hale getirilmiş olmaktadır.

Ölçüm kriteri force gauge ile gerçekleştirilen ölçümlerde, üretilen joystick ile side-stick arasındaki kuvvet farkı matematiksel olarak ifade edilmiştir. Joystick ölçümü 25in/lb iken ve kuvvet ile orantılı değişmezken side-stick ile ölçüm gerçekleştirildiğinde 40in/lb olarak ölçülmüş ve kuvvet hızlandıkça ve değiş tikçe artan bir kuvvet ile karşılaş ılmış tır. Gradyan bölgelerinde kuvvet, 55 in/lb olarak ölçülmüştür. Şekil 1.1 de gösterildiğı gibi negatif ve pozitif gradyan bölgelerinde sistemin gösterdiği zorluklar değiş mektedir.

Gerçek dünyadaki bir aracın hız kazanması sonucu direksiyonun sertleşmesi durumu gibi bir geribildirim ile karşılaşılmaktadır [6].

Mekanik bağlantılara sahip uçaklar, uçak hızıyla birlikte artan kontrolcü kuvvetlerine sahiptir. Bunun nedeni, aerodinamik kuvvetlerin hızla artması ve kontrol yüzeylerinin hareket etmesini zorlaştırmasıdır. Bu, pilotaj kabiliyetini arttırıcı niteliktedir çünkü çubuğa uygulanan kuvvet, aynı manevra hızı veya normal hızlanma için hemen hemen aynı olmaktadır. Pilot bu nedenle manevra kuvvetlerini ve hızını hissedebilmektedir. Ek olarak, uçak stall gibi uçuş sınırlamalarına yaklaştığında, pilot tarafından çubuğun hafif bir şekilde sallanmasıyla hissedilen bir aerodinamik değişikliğin meydana gelmesi sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Fly-by-wire teknolojisini kullanan elektrikli uçuş kontrol sistemlerinin geliştirilmesi ile kokpit kontrolleri ile uçağın kontrol yüzeyleri arasındaki mekanik bağlantılar ortadan kaldırılmıştır. Bunların yerini kontrol bilgisayarları ve aktüatörler almıştır. Böylece, performans ve güvenlik arttırılırken uçağın hem ağırlığı hem de bakımı azaltılmıştır. Uçuş kontrol sistemi, uçağı durmaya, aşırı hıza, aşırı duruşlara ve hatta rüzgârın kesilmesine karşı korumaktadır. Fly-by-wire uçaklarında kontrolcüler, kontrol yüzeylerinin hareketini dolaylı olarak kontrol edebilmektedir. Pasif kontrolcüler, uçuş durumuna bağlı olarak his özelliklerini değiştirememektedir. Bu nedenle, pilotun, mekanik bağlantılara sahip bir uçak sistemine kıyasla, uçuş durumu hakkında bilgi sahibi olmasını sağlayacak daha az ipucu bulunmaktadır [1-7].



Şekil 1. 1. Gradient bölgesi

Whalley ve Achache yaptıkları çalışmalarda, uçuş kontrol sistemi tarafından sağlanan kuvvet işaretlerinin, yaklaşan uçuş stabilitesi aşımı konusunda pilota sinyal vermenin etkili bir yolu olduğunu ve bunun side-stick üzerinde olabileceğini belirtmektedirler. Kontrol girişleri yoluyla verilen kuvvet ipuçları, anında ve nettir ve durumu düzeltmek için hangi kontrol tepkisinin gerekli olduğuna dair yorum gerektirmezler. Side-stick, pilot tarafından hissedilen kuvvet ve yer değiştirme özelliklerini etkilemek üzere programlanabilen aktüatörler tarafından çalıştırıldığından, pilotluk özelliklerini iyileştirebilecek ilave hissetme özelliklerini (işaretleri) içerecek şekilde esneklik sağlamaktadır. Bu, pasif olan kablolu ve rod kullanan uçak kontrolörlerinden çok farklıdır. Pilot tarafından uygulanan kuvvete yanıt olarak side-stick hareketini kontrol etmek için aktüatörler kullanılarak çubuk, sanki yaylar ve amortisörler tarafından tutuluyormuş gibi hissedecek şekilde programlanabilmektedir. Sentetik yay hissinin özellikleri, uçuş durumuna göre önemli ölçüde değişebilmektedir, böylece pilotun aerodinamik kuvvetlerin nasıl değiştiğini hissetmesine olanak tanımaktadır ve dolayısıyla pilota, uçuş kısıtlamaları ve uçuş zarfı koruması da dahil olmak üzere yapısal sınırlamaların başlangıcı hakkında yatış açısı koruması, dönüş, durma ve aşırı hız koruması, eğim kontrolü ve stabilite artırma gibi dokunsal ipuçları vermektedir. Uçak uçuş sınırlarına yaklaştığında bu, pilot tarafından çubuğun hafif bir şekilde sallanmasıyla veya uçağı uçuş zarfı içinde tutan büyük bir kuvvetle hissedilir. Uçuşun fiziksel işaretlerini hissetme yeteneği, pilotun durumsal farkındalığını artırarak pilotun iş yükünü azaltmakta ve sonuçta güvenliği arttırmaktadır. Yapay hisler, Q ve QN hissi olarak adlandırılan hislerdir. Q Feel sistemi, hava yoğunluğu boyunca uçağın hızıyla orantılı olan dinamik basıncı okuyarak pitot-statik problemlerden veri almaktadır. QN hissinde kuvvet, hem dinamik basınç hem de yük faktörüyle orantılı olarak üretilmektedir. Bu sinyaller, yapay hissetme sistemindeki sertliği, pilota bir kontrast kuvveti verilecek şekilde değiştirmek için kullanılmaktadır [5].

Sertlik ve sönümleme etkileri genellikle hidrolik veya elektrikli aktüatörler kullanılarak üretilmektedir. Ancak kontrol kuvveti kalitesi, bir uçuş simülatörünün karmaşıklık ve aslına uygunluk düzeyini belirleyen önemli bir faktördür. Daha sonra farklı seviyelerde özellikleri bulunabilir: kontrol sistemi, sabit kuvvet (yay/sönümleyici) ile serbest kuvvet hissi, gerçek kuvvetin kısmi kopyası veya bunun daha sonra tamamen kopyası olabilmektedir.

Bu, kuvvet geri bildirim sistemini uçuş simülatörünün temel alt sistemlerinden biri haline getirmektedir. Ana işlevi, simülatör için yükleme kuvveti hissi sağlamak, pilot için gerçek navigasyon hissini simüle etmek ve navigasyon için simüle edilen duruma göre karşılık gelen kuvveti sağlamaktır [1].

Gerçek kontrolcülerin kullanılması, eğitim programlarının ve beceri geliştirme aktivitelerinin daha etkili olmasını sağlamaktadır. Özellikle pilot eğitiminde, gerçek kontrolcülerle yapılan simülasyonlar, pilotların gerçek uçuş koşullarına daha etkili bir şekilde hazırlanmalarına yardımcı olmaktadır [2-8].

Sistem entegrasyonu ve testinin gerçekleşmesi büyük önem arz etmektedir. Gerçek kontrolcüler, havacılık ve mühendislik projelerinde sistemlerin ve ekipmanların entegrasyonunu ve testini gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Bu, potansiyel sorunların erken tespit edilmesini ve çözülmesini sağlamaktadır.

1.3.2. Simülasyonların Sürekli Geliştirilmesinin Önemi

Teknolojik ilerlemelerle birlikte, simülasyonların daha gerçekçi, etkili ve esnek hale getirilmesi mümkündür. Bu, simülasyonların daha geniş bir uygulama yelpazesi için kullanılmasını sağlamaktadır.

Simülasyonların sürekli geliştirilmesi, performansın ve verimliliğin artırılmasına yardımcı olmaktadır. Bu, daha iyi sonuçlar elde etmek ve kaynakların daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak için kritiktir.

Simülasyonların sürekli geliştirilmesi, yeni teknolojilerin ve yöntemlerin keşfedilmesine ve uygulanmasına olanak tanımaktadır. Bu, sektördeki yenilik ve inovasyonun teşvik edilmesine yardımcı olmaktadır.

Sonuç olarak simülasyon oluştururken gerçek kontrolcü kullanılması ve simülasyonların sürekli geliştirilmesi, havacılık, tıp, mühendislik ve birçok diğer sektörde önemli bir rol oynamaktadır. Gerçek kontrolcüler, simülasyonların gerçekçiliğini ve güvenilirliğini arttırırken, sürekli geliştirme ise teknolojik ilerlemeyi, performansı ve inovasyonu teşvik etmektedir. Bu nedenle, bu iki alanın dikkatli bir şekilde ele alınması ve sürekli olarak üzerinde çalışılması, simülasyonların etkili ve başarılı bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır [2-13].

1.3. Literatür Taraması

Bu bölümde yapılan literatür çalışmaları ele alınmaktadır [2-13]

Tselegkaridis ve Sapounidis yaptıkları çalışmada, eğitim robotiklerinin (Educational Robotics, ER) öğrencilerin bilgi ve beceri ediniminde nasıl etkili olduğunu incelemeyi amaçlamaktadır. 2013-2020 yılları arasında yayımlanan makaleleri tarayarak, Grafik Kullanıcı Arayüzlerine (Graphical User Interfaces, GUI) sahip eğitim robotik simülatörlerinin özelliklerini analiz etmiştir. Sonuç olarak, incelenen simülatörler, öğrencilerin sanal ortamda robotik deneyimlerini geliştirmelerine olanak tanımış ve donanım kısıtlamaları olmadan robotik yarışmalara hazırlanmalarını desteklemiştir [2].

Bell ve Waag yaptıkları çalışmada, askeri uçuş simülatörlerinde savaş becerilerinin eğitiminin etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Hava Kuvvetleri ve Donanma tarafından yürütülen değerlendirme çabalarını incelemiş ve bu süreçte simülasyonun eğitimdeki rolünü analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, simülatörlerin uçuş eğitiminde değerli bir tamamlayıcı olabileceği, ancak mevcut değerlendirmelerin sınırlı görevleri kapsadığı ve daha fazla deneysel çalışmaya ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir [3].

Farmer et al. çalışmalarında, eğitim simülatörlerinin temini ve kullanımının her zaman başarılı olmamış, genellikle didaktik bilgiler ve eğitim programı geliştirme eksikliği ile yetersiz simülatör özelliklerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Simülasyon teknolojisindeki gelişmeler, eğitim simülatörlerinde gerçek sistemler yerine eğitim ve öğretim yapma olanağı sağlamıştır. Ancak, bu tür simülatörler, doğru kullanıldığında eğitimde önemli faydalar sağlayabilmektedir [4].

Basdogan et al. yaptıkları çalışmada, simülatörlerin, eğitim alan kişinin gerçek laparoskopik prosedürlerde olduğu gibi, aynı cerrahi alet saplarını kullanarak sanal dokulara ve organlara dokunmasına, hissetmesine ve manipüle etmesine olanak tanıdığını belirtmişlerdir. Sanal gerçeklik (Virtual Reality, VR) tekniklerini kullanan simülasyon tabanlı eğitim, minimal invaziv cerrahide (Minimally Invasive Surgery, MIS) geleneksel eğitime umut verici bir alternatif sunmaktadır. Sonuç olarak, VR tabanlı simülatörler, cerrahi eğitimde önemli bir rol oynamaktadır [5].

Samia et al, çalışmasında cerrahi simülasyonun, özellikle laparoskopik kolorektal cerrahi alanında eğitimdeki rolünü değerlendirmeyi amaçlamaktadırlar. Çeşitli simülatör türleri

ve bunlarla kazanılan becerilerin objektif değeriendirilmesi için geliştirilen araçları incelenmiştir. Sonuç olarak, simülatörlerin cerrahi eğitimde etkili bir yöntem olduğu ve objektif değeriendirme araçları ile eğitimin kalitesinin arttırılabileceği belirlenmiştir [7].

Hancock et al.'ın yaptıkları çalışma simülasyonunda insan faktörleri ile ilgili sorunları ve kavramları ele alarak uzay, denizcilik, denizaltılar, deniz havacılığı ve ticari havacılık gibi alanlarda teori ve uygulamayı kapsamaktadır. Simülatörlerin kullanımındaki spesifik özellikler ve eğitim aracı olarak geçerlilik ve işlevsellik üzerindeki etkilerini derinlemesine incelemişlerdir. Ayrıca, motivasyonel yönler, sosyal etkinliklerin simülasyonu ve bilgisayar tabanlı simülasyonla ilgili teorileri de içermektedir [8].

McLean yapmış olduğu çalışmada, ticari, askeri ve genel havacılık uçaklarında kullanılan uçuş kontrol sistemlerine kısa bir bakış sunmuştur. McLean, uçak güvenliği, güvenilirliği ve hava durumu gecikmelerinin, uçuş kontrol sistemlerinin yaygın kullanımında önemli nedenler olduğunu göstermiştir. Çalışma, elektronik uçuş (Fly-By-Wire, FBW) kavramını inceleyerek, yolcu uçaklarında kullanılan bazı FBW uçuş kontrol sistemlerini tartışarak sonlanmaktadır [9].

Hosman et al. yaptıkları çalışmada iki eksenli elektro-hidrolik servo kontrollü bir side-stick, gelişmiş kontrol sistemlerine sahip uçakların manuel kontrolünü incelemişlerdir. Hareketli taban uçuş simülatöründe, pasif ve aktif side-stick'lerin manuel kontrol üzerindeki etkisinin karşılaştırıldığı bir deney açıklamıştır. Sonuçlar, aktif side-stick'in, hem bozucu görevde hem de hedef takip görevinde izleme performansını iyileştirdiğini göstermektedir [10].

Bailey çalışmasında yer simülatörü, uçuş testi, insan santrifüjü ve deneyimli test pilotlarının görüşlerini bu sonuçların geliştirilmesinde birleştirmiştir. Geliştirme programı, optimum iki eksenli bir side-stick ve pilot-uçak arayüzünü değeriendirmek için etkili bir uçuş testi tekniği ile ilgili sonuçlar üretmiştir. Yüksek talep gerektiren manevra uçuşları ve düşük yaklaşma ve iniş için uygun bir side-stick kontrol cihazının geliştirilmesine yönelik uçuş testi ve mühendislik çalışmalarını tanımlamaktadır [11].

McLean yaptığı çalışmada gelecekte tamamen otomatik uçuşun gerçekleşeceği serbest uçuş konseptinin, özellikle hava yolu trafiğini azaltmayı hedeflediğini belirtmiştir. Otomatik uçuş kontrol sistemleri (Automatic Flight Control Systems, AFCS), ticari

havacılıkta yaygın olarak kullanılmaktadır. AFCS, pilotların iş yükünü azaltmak ve uçuş güvenliğini arttırmak için kullanılmaktadır [12].

Dechow ve Nurcombe yaptıkları çalışmada modern sivil uçakların tipik seyir irtifası olan 12500 metredeki (41000 ft) dış ortamın, insan yaşamı için oldukça zorlayıcı olduğunu belirtmişlerdir. Uçak çevresel kontrol sistemleri (Environmental control systems, ECS), hava taşıtlarında yolcu konforunu sağlamak ve insan yaşamını desteklemek için kritik öneme sahiptir. ECS tasarımının ana faktörleri termal konfor, basınçlandırma ve kabin hava kalitesi parametreleridir [13].



2. BÖLÜM

SİMÜLATÖRLER

Simülatörler, gerçek dünya süreçlerini, sistemlerini veya çevrelerini taklit etmek için kullanılan cihazlar veya programlardır. Çeşitli alanlarda eğitim, test ve araştırma amaçlı olarak kullanılmaktadırlar.

Simülatörler, fiziksel ve/veya dijital modeller aracılığıyla gerçek dünyadaki olayları ve sistemleri taklit eden araçlardır. Bu taklitler, kullanıcıların gerçek dünyada karşılaşacakları durumlara hazırlanmalarına yardımcı olmak amacıyla eğitim, planlama, araştırma ve eğlence gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Uçuş simülatörleri, pilotların eğitiminde kullanılan bu simülatörler, uçakların kokpitlerini, uçuş dinamiklerini ve çevresel koşulları gerçekçi bir şekilde taklit etmektedir [9,12,13].

Havacılık simülasyonları haricinde kullanılan birçok simülasyon çeşidi bulunmaktadır. Sürücülerin çeşitli yol ve trafik koşullarında eğitim almalarını sağlayan sürüş simülatörleri, otomobil, kamyon ve tren gibi araçların sürüş dinamiklerini taklit etmektedir. Sağlık profesyonellerinin çeşitli tıbbi prosedürleri ve acil durumları pratik etmelerini sağlayan tıbbi simülatörler, hasta mankenleri ve sanal gerçeklik uygulamaları gibi araçlar kullanmaktadır [7]. Askeri personelin savaş, operasyon ve eğitim senaryolarını gerçekçi bir şekilde deneyimlemelerini sağlayan askeri simülatörler, savaş alanı taktiklerini ve silah sistemlerini içermektedir [3,9].

Bilimsel araştırmalar ve eğitim amaçlı kullanılan eğitim ve araştırma simülatörleri, çeşitli bilimsel ve mühendislik süreçlerini taklit etmektedirler.

Simulator sistemleri, yazılım ve donanım bileşenlerinden oluşmaktadır. Simulatorün fiziksel bileşenleri, kontrol panelleri, ekranlar, koltuklar ve hareket platformlarıdır. Simulatorün çalışmasını sağlayan programlar ve algoritmalar, simüle edilen ortamın dinamiklerini ve kullanıcı ile etkileşimleri yönetmektedir. VR ve Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality, AR) teknolojileri, simulatorlerin daha gerçekçi ve etkileşimli olmasını sağlamaktadır [5].

Kullanım alanları; eğitim ve gelişim, eğlence araştırma ve geliştirme, planlama ve analizdir. Avantajları ise; risk azaltma, maliyet etkinliği, yeniden kullanılabilirlik, gerçekçi eğitim olanaklarıdır.

Simülasyonlar, gerçek dünyada tehlikeli olabilecek durumları güvenli bir ortamda taklit etmektedirler. Gerçek ekipman ve süreçlerin kullanımına göre daha ekonomik bir çözüm sunmaktadırlar. Farklı senaryoları ve durumları tekrar tekrar test etme olanağı sağlamaktadır. Kullanıcıların pratik yaparak deneyim kazanmalarını sağlamaktadır.

Simulatorler, sürekli olarak gelişen teknolojilerle birlikte daha da gerçekçi ve etkili hale gelmektedirler. Yapay zekâ, makine öğrenimi ve ileri grafik teknolojileri, simulatorlerin doğruluğunu ve etkileşim seviyesini arttırmaktadır.

Simulatorler, eğitimden araştırmaya kadar birçok alanda vazgeçilmez araçlar olarak kullanılmaya devam etmektedir. Bu araçlar, kullanıcıların gerçek dünyada karşılaşacakları durumlara daha iyi hazırlanmalarını sağlayarak güvenlik, verimlilik ve başarı oranlarını arttırmaktadır.

2.1. Simülasyonlarda Kullanılan Sistemler

Uçuş simulatorleri, pilotların eğitimi, uçakların sertifikasyonu ve tasarımı için kullanılmaktadır. Bu simulatorler, gerçek uçuş koşullarını yansıtmak için gelişmiş grafikler, fiziksel modeller ve çoklu sensörlerle donatılmıştır. Havacılık simülasyonları, gerçek uçuş ortamlarını bilgisayar tabanlı sistemlerle taklit eden, pilotların eğitimlerini, uçuş yeteneklerini ve prosedürlerini öğrenmelerini sağlayan değerli araçlardır. Şekil 2.1’de gösterilen Havelsan uçuş simülasyonu, bu tarz gelişmiş simülasyonlara bir örnektir [16].



Şekil 2. 1. Havelsan uçuş simülasyonu

Bu simülasyonlar, havacılık endüstrisinde eğitimden, araştırmaya kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

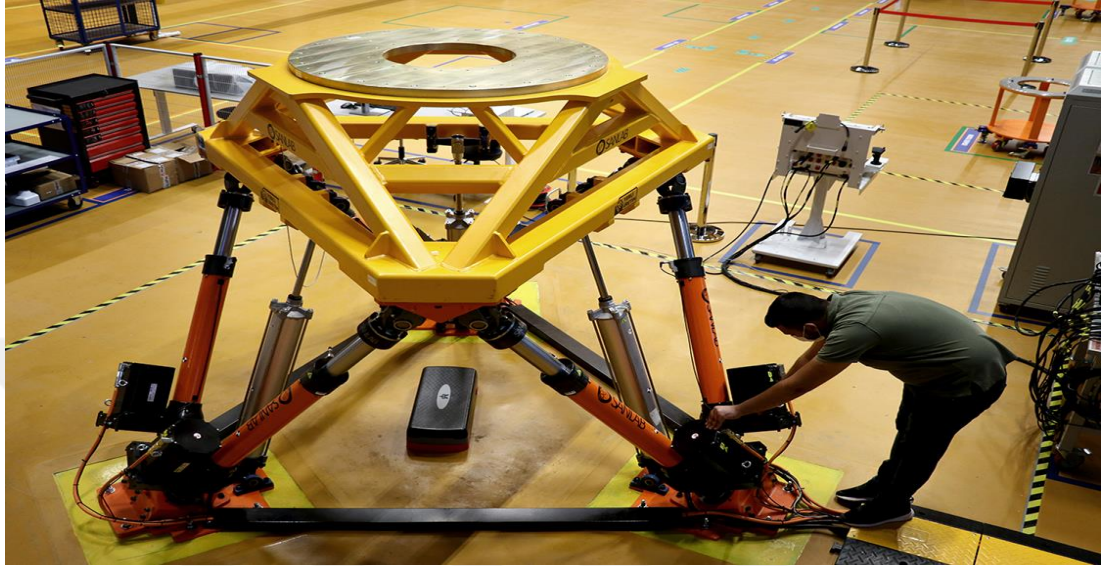
Havacılık simülasyonları, maliyet tasarrufu sağlamaktadır ve gerçek uçuşlar sırasında riski azaltımında etkin görev oynamaktadırlar. Özellikle yeni pilotların eğitiminde, karmaşık uçuş senaryolarının ve acil durumların güvenli bir ortamda simüle edilmesi kritiktir.

Simülasyonlar; tam hareketli simülatörler, gerçek uçak kokpitleri ve tam hareket kabiliyetine sahip platformlar olarak sınıflandırılmaktadır. Pilotların gerçekçi uçuş deneyimleri yaşamalarını sağlamaktadırlar. Şekil 2.2’de yerli test platformları bu deneyimi yaşamak için geliştirilen platformlara örnektir [17].

Sabit tabanlı simülatörler, kokpit gerçekçi bir ortam sağlasa da platform hareket kabiliyeti bulunmamaktadır. Ancak, prosedür eğitimi için idealdir. Şekil 2.3. THY yerli uçuş simülatörü buna örnek olarak gösterilebilir [18].

Masaüstü simülasyonlar, bilgisayar tabanlı ve genellikle ev kullanımı ve sahada İHA kumanda sistemi için tasarlanmıştır. Temel uçuş prensiplerini öğrenmek için idealdir. Şekil 2.4. de ise Baykar simülatör sistemi görülmektedir. İHA simülatör sistemleri için örnek teşkil etmektedir [19].

Havacılık simülasyonları, pilotların yeni uçak tiplerine geçişlerinde, acil durum prosedürlerinin pratik edilmesinde, havacılık araştırmalarında ve hatta tasarım süreçlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 2. 2. Yerli test platformları



Şekil 2. 3. THY yerli uçuş simülatörü

Son yıllarda havacılık simülasyon teknolojisi büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Gelişmiş grafikler, gerçekçi hava durumu simülasyonları ve gelişmiş fizik motorları, eğitim deneyimini daha da zenginleştirmiştir.



Şekil 2. 4. Baykar simülatör sistemi

Havacılık otoriteleri, simülatör eğitimlerini gerçek uçuş eğitimleriyle tamamlayarak pilotların sertifikasyon süreçlerini yönetmektedirler. Simülatör sertifikasyonları, pilotların belirli uçak tipleri üzerinde yetkili olmalarını sağlamaktadır.

Sonuç olarak, havacılık simülasyonları, havacılık endüstrisinin kilit bir bileşeni olup, pilotların becerilerini geliştirmeleri ve güncellemeleri için vazgeçilmez araçlardır. Bu simülasyonlar, sektörün güvenliğini ve etkinliğini artırmaya yönelik kritik bir rol oynamaktadır.

Simülasyonlar bünyelerinde kontrol sistemleri bulundurmaktadır. Simülasyonlar genellikle Oransal-İntegral-Türevsel (Proportional-Integral-Derivative, PID) gibi kontrol algoritmalarını içermektedir. Bu algoritmalar, bir sistemin belirli bir hedefe nasıl ulaşacağını hesaplamak için geri bildirim mekanizmalarını kullanılmaktadır.

Gerçekçi bir deneyim için simülasyonlar, yüksek çözünürlüklü grafik kartları, çoklu monitör sistemleri ve VR teknolojileri ile desteklenir. Şekil 2.5. Flight simülatör uygulaması hem VR hem de simülatör uygulaması için kullanılmaktadır [21].



Şekil 2. 5. Flight simülatör uygulaması

Grafik ve görüntüleme sistemleri, bilgisayar simülasyonlarında gerçekçi ve etkileşimli deneyimler sunmanın kritik bir parçasıdır. Ancak bu teknolojilerin bazı eksiklikleri ve zorlukları da bulunmaktadır:

Karmaşık ve detaylı grafiklerin oluşturulması, bazı durumlarda yüksek miktarda bilgi işlem gücü gerektirmektedir. Bu, kullanıcıların yüksek kaliteli simülasyonları çalıştırmak için güçlü ve pahalı donanımlara ihtiyaç duymasına neden olabilmektedir.

Bazı çok karmaşık simülasyonlar, gerçek zamanlı grafiklerle desteklenemeyebilir. Bu, kullanıcının simülasyonu gerçek zamanlı olarak deneyimlemesini zorlaştırabilmektedir.

Tüm teknolojik gelişmelere rağmen, bazı durumlarda simülasyonların grafikleri tam olarak gerçek dünyayı yansıtmamaktadır. Bu, kullanıcının deneyiminin tam anlamıyla inandırıcı olmadığını hissetmesine ve farklı grafik ve görüntüleme sistemlerinin farklı simülasyon platformlarına entegre edilmesine, bazen uyumluluk ve entegrasyon zorluklarına yol açmaktadır.

Bazı simülasyon sistemlerinde, grafik ve görüntüleme sistemlerinin tepki süreleri, kullanıcının gerçek zamanlı olarak etkileşimde bulunmasını engelleme veya geciktirme sorununa sebep olmaktadır.

Sanal dünyada oluşturulan grafiklerin ve görüntülerin fiziksel gerçeklikle tam olarak uyumlu olmaması, kullanıcının deneyiminin tam anlamıyla doğru ve gerçekçi olmadığını hissetmesine neden olabilmektedir.

Sonuç olarak, grafik ve görüntüleme sistemlerinin simülasyonlarda birçok avantajı bulunmasına rağmen, bu sistemlerin bazı eksiklikleri ve zorlukları da bulunmaktadır. Teknolojik gelişmelerin devam etmesiyle, bu eksikliklerin bir kısmı zamanla aşılabilmektedir, ancak tam anlamıyla kusursuz bir simülasyon deneyimi için sürekli olarak yeni çözümler ve iyileştirmeler arayışı devam edecektir.



3. BÖLÜM

UÇAK KONTROLCÜLERİ

Uçak kontrolcöleri, uçuş sırasında uçağın hareketlerini ve performansını yönetmek için kullanılan sistemlerdir ve pilotların uçağı güvenli ve verimli bir şekilde yönlendirmelerine yardımcı olmaktadır. Bu sistemler, manuel kontrol sistemleri FBW sistemleri ve AFCS gibi çeşitli türlere ayrılmaktadır. Manuel kontrol sistemleri geleneksel mekanik bağlantılar ve hidrolik sistemler kullanırken FBW sistemleri elektronik sinyaller aracılığıyla uçak kontrollerinin yapılmasını sağlamaktadır. AFCS ise otomatik pilot, otomatik yönlendirme ve otomatik iniş sistemlerini içermektedir ve uçağın belirli parametrelere göre otomatik olarak kontrol edilmesini sağlamaktadır.

Uçak kontrolcöleri, kokpit kontrolleri, kontrol yüzeyleri, sensörler, aktüatörler ve uçuş bilgisayarları gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Kokpit kontrolleri, pilotların uçuş komutlarını verdiği kumanda kolları, pedallar ve düğmeleri içermektedir. Kontrol yüzeyleri, kanatlar ve kuyruk yüzeylerindeki hareketli parçalar (aileron, rudder, elevatör) ile uçağın yönünü ve dengesini kontrol etmektedir. Sensörler ve aktüatörler, uçağın durumu hakkında bilgi toplamaktadır ve bu bilgileri kontrol yüzeylerine ileterek uçuşun hassas bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Uçuş bilgisayarları ise uçuş parametrelerini hesaplamakta kontrol komutlarını işlemektedir. Uçak kontrol sistemlerinin kullanım alanları, yönlendirme, yükseklik kontrolü, hız kontrolü ve otomatik pilot gibi çeşitli görevleri içermektedir. Bu sistemler, uçağın yatış, yunuslama ve sapma hareketlerini kontrol ederek yönlendirilmesini, irtifasının ayarlanmasını ve motor gücünün ve hava frenlerinin kontrol edilerek hızının ayarlanmasını sağlamaktadır. Ayrıca, uzun uçuşlarda pilot yükünü azaltmak ve uçuş verimliliğini artırmak için otomatik pilot sistemi kullanılmaktadır. Uçak kontrolcöleri, güvenlik, hassasiyet, konfor ve verimlilik açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Gelecekte uçak kontrol sistemlerinin yapay zekâ ve makine öğrenimi ile daha akıllı ve öngörülü hale gelmesi beklenmektedir. İleri sensör teknolojileri ile daha hassas ve güvenilir veri toplama yeteneklerinin geliştirilecek ve bu sayede uçuş güvenliği daha da arttırılacaktır. Ayrıca, otonom uçakların geliştirilmesi, uçak kontrol sistemlerinin evriminde önemli bir adım olarak görülmektedir. Bu teknolojilerin, havacılık endüstrisinde devrim yaratması ve pilotların daha güvenli ve konforlu uçuşlar gerçekleştirmelerine olanak tanınması beklenmektedir.

3.1. Uçak Kontrol Sistemleri Türleri

Uçuş kontrol türleri; manuel kontrol sistemleri, FBW sistemleri, AFCS, otomatik yönlendirme ve otopilottan oluşmaktadır.

Manuel kontrol sistemleri, geleneksel mekanik bağlantılar ve hidrolik sistemler kullanılarak pilotların doğrudan uçağı kontrol etmelerini sağlamaktadır. Bu sistemler, kontrol yüzeylerine doğrudan bağlı olan kumanda kolları, pedallar ve kablolar gibi mekanik bileşenler içermektedir. Pilotun kokpitteki kumandaları hareket ettirmesi, bu mekanik bağlantılar aracılığıyla doğrudan uçak yüzeylerinde (kanatlar, dümen ve elevatörler gibi) hareket oluşturmaktadır.

Avantajları; basit ve doğrudan kontrolün sağlanmasıdır. Elektriksel veya yazılımsal arızalara karşı daha az hassastır. Daha eski ve düşük teknoloji uçaklarda kullanım için uygundur. Dezavantajları ise ağır olması ve karmaşık mekanik düzenekler gerektirmesidir. Bakım ve onarım maliyetleri yüksektir. Pilotun fiziksel kuvvetine bağlı olarak sınırlı hassasiyet kabiliyeti sunmaktadır.

FBW sistemleri, uçak kontrollerinin elektronik sinyaller kullanarak yapılmasını sağlayan dijital sistemlerdir. Bu sistemlerde, pilotun kumanda kolları ve pedallarının hareketleri, elektronik sensörler tarafından algılanmaktadır ve bu hareketler elektriksel sinyallere dönüştürülmektedir. Bu sinyaller, uçuş bilgisayarlarına iletilmektedir ve uçuş bilgisayarları, kontrol yüzeylerini hareket ettiren aktüatörlere komutlar gönderilmektedir.

Avantajları; daha hafif ve daha az karmaşık yapısıdır. Bu da uçak ağırlığının ve yakıt tüketimini azaltılmasıdır. Uçuş bilgisayarları sayesinde uçuş dinamikleri ve stabilitesi iyileştirilmektedir. Pilot hatalarını minimize eden koruyucu yazılım katmanlarına sahiptir. Daha hassas ve duyarlı kontrol sağlamaktadır.

Dezavantajları; elektriksel veya yazılımsal arızalara karşı hassas oluşudur. Karmaşık elektronik bileşenlerin bakımı ve onarımı zordur. Sistem arızalarında manuel yedeklemeler gerektirmektedir.

AFCS, uçakların otomatik olarak kontrol edilmesini sağlayan gelişmiş sistemlerdir. Bu sistemler, otomatik pilot, otomatik yönlendirme ve otomatik iniş sistemlerini içermektedir. AFCS, belirli uçuş parametrelerine göre uçağın yönünü, irtifasını ve hızını otomatik olarak ayarlayabilme yetkinliğine sahiptir. Bu sistemler, uçuş sırasında pilot yükünü azaltmak ve uçuş güvenliğini arttırmak için kullanılmaktadır.

Otopilot; uzun uçuşlarda pilotların dinlenmesine olanak tanımaktadır. Belirlenen rotada, hızda ve irtifada uçağı otomatik olarak kontrol etmektedir. Uçuş verimliliğini arttırarak yakıt tasarrufu sağlamaktadır.

Otopilot sisteminin, otomatik yönlendirme özelliğı bulunmaktadır. Sistem, belirli bir rotada uçağı yönlendirmektedir ve sapmaları düzeltmektedir. Hedefe doğru yönlendirirken rüzgâr ve diğer dış etkenleri hesaba katmaktadır. Bu özellik, kalkış, seyir ve iniş sırasında kullanılmaktadır. Görüşün kısıtlı olduğu durumlarda güvenli inişi sağlamaktadır. Hassas aletler ve sinyaller kullanarak pisti tespit etmektedir ve uçağı inişe yönlendirmektedir. Özellikle yoğun hava trafiğı olan havaalanlarında kullanılmaktadır.

Otopilot sisteminin birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar arasında, pilot hatalarının azaltarak uçuş güvenliğini arttırılması; uzun uçuşlarda pilotun yoğun iş yükünü hafifletilmesi; daha verimli ve yakıt tasarrufu sağlayan uçuşların gerçekleştirilmesi yer almaktadır.

Otopilot sisteminin dezavantajları arasında ise karmaşık yazılım ve donanım bileşenlerinin arızalanması; sistemlerin güvenilirliğinin düzenli bakım ve güncelleme gereksinimi; pilotların sistemi doğru kullanabilmesi için gereken kapsamlı eğitim ihtiyacı yer almaktadır. Bu sistemlerin her biri, uçuş güvenliği ve verimliliğini arttırmak için farklı teknolojiler ve yaklaşımlar kullanmaktadır. Modern uçaklarda, bu sistemlerin bir kombinasyonu genellikle bir arada bulunmaktadır ve birbirini tamamlayarak daha güvenli ve etkili uçuşlar sağlamaktadır.

3.2. Uçak Kontrol Sistemlerinin Bileşenleri

Kokpit kontrolleri, pilotların uçuş komutlarını verdiği kumanda kolları, pedallar ve düğmelerden oluşmaktadır. Bu bileşenler, pilotun uçuş boyunca uçağı yönlendirmesi ve kontrol etmesi için kullanılmaktadır.

Lövy, geleneksel uçaklarda kullanılan direksiyon benzeri kumanda koludur. Yatay ve dikey eksenlerde hareket ederek uçağın yatış ve yunuslama hareketlerini kontrol etmektedir. Şekil 3.1 side-stick aksamı, Boeing uçaklarında kullanılan kumanda kontrol sistemidir [32].



Şekil 3. 1. Side-stick aksamı

Side-stick, modern uçaklarda, özellikle FBW sistemlerde kullanılan joystick benzeri kumanda koludur. Daha hafif ve hassas kontrol olanağı sunmaktadır. Ayrıca kokpitte daha fazla alan kazandırmaktadır.

Pedallar, uçağın yön dümenini (rudder) kontrol etmektedir. Pilot, pedallara basarak uçağın yatay eksen etrafında dönmesini sağlamaktadır. Ayrıca, pedallar yere iniş sırasında tekerlek frenlerini kontrol etmek için de kullanılmaktadır.

Kokpitte, çeşitli uçuş fonksiyonlarını kontrol eden düğmeler ve anahtarlar bulunmaktadır. Bu bileşenler, motor güç ayarları, flap ve spoiler kontrolleri, iniş takımı yönetimi ve diğer uçuş sistemlerinin kontrolü için kullanılmaktadır.

3.3. Kontrol Yüzeyleri

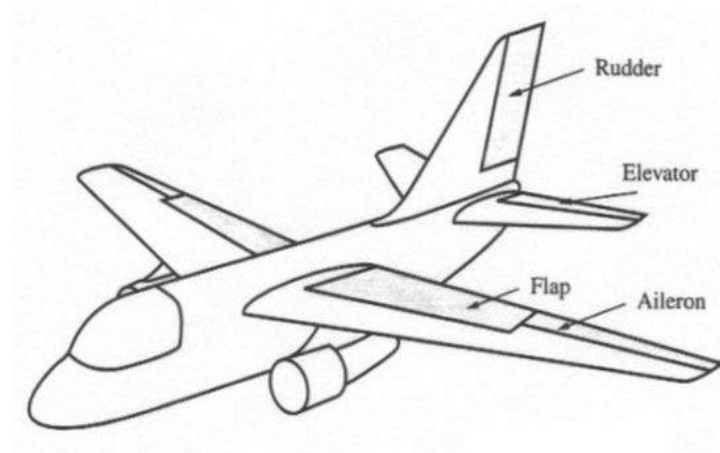
Kontrol yüzeyleri, uçağın yönünü ve dengesini kontrol eden hareketli parçalardır. Bu yüzeyler, kanatlarda ve kuyruk bölümünde bulunmaktadır ve pilotun kumanda komutlarına göre hareket etmektedir

Aileron, kanatların dış kısmında bulunan küçük hareketli yüzeylerdir. Aileronlar, uçağın kanatlarını yukarı veya aşağı hareket ettirerek yatış hareketini sağlamaktadır. Bir kanattaki aileron yukarı hareket ederken, diğer kanattaki aşağı hareket etmektedir.

Rudder, kuyruk dikey stabilizatöründe bulunan hareketli yüzeydir. Rudder, uçağın burun kısmını sola veya sağa döndürerek sapma hareketini kontrol etmektedir. Rudder kontrolü, pedallar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

Elevator, kuyruk yatay stabilizatöründe bulunan hareketli yüzeylerdir. Elevatorler, uçağın burun kısmını yukarı veya aşağı hareket ettirerek yunuslama hareketini kontrol etmektedir. Elevatörler, lövyeye veya side-stick aracılığıyla kontrol edilmektedirler.

Flap ve spoiler, kanatların arka kenarında bulunmaktadır ve kalkış ve iniş sırasında ek kaldırma kuvveti sağlamaktadır. Şekil 3.2’de kontrol yüzeyleri gösterilmektedir [33].



Şekil 3. 2. Kontrol yüzeyleri

3.4. Sensörler ve Aktüatörler

Sensörler ve aktüatörler, uçağın durumu hakkında bilgi toplayan ve bu bilgileri kontrol yüzeylerine ileten cihazlardır. Hava aracında birçok sensör bulunmaktadır. Bu sensörlerden; pitot tüpleri, hava hızını ölçerken altimetrelere irtifayı ölçmektedir. İvmeölçer ve jiroskop birimleri (Inertial Measurement Units, IMU), uçağın hızlanma, dönme ve yönelme bilgilerini sağlamaktadır. Pozisyon sensörleri ise uçağın farklı parçalarının konumunu ve hareketini izlemektedir. Aktüatörler, elektriksel, hidrolik veya pnömatik güç kullanarak kontrol yüzeylerini hareket ettiren cihazlardır. Sensörlerden ve uçuş bilgisayarlarından gelen komutlara göre hareket etmektedirler.

3.5. Uçuş Bilgisayarları

Uçuş bilgisayarları, uçuş parametrelerini hesaplamakta ve kontrol komutlarını işlemektedir. Bu bilgisayarlar, uçuşun güvenli ve verimli bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Uçuş kontrol bilgisayarları (Flight Control Computers, FCC), uçağın hareketlerini ve dengesini kontrol eden ana bilgisayarlardır. FCC, pilot komutlarını işlemekte ve uygun kontrol yüzeylerine iletmektedir.

Otomatik pilot sistemleri, belirli uçuş modlarında uçağı otomatik olarak kontrol etmektedir. Hedef irtifa, hız ve yön gibi parametreleri ayarlamaktadır. Navigasyon sistemleri ise uçağın konumunu ve rotasını belirleyen sistemlerdir. Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System, GPS), inertial navigasyon ve diğer navigasyon verilerini kullanmaktadır. Bu bileşenlerin her biri, uçak kontrol sistemlerinin genel işleyişini ve uçuş güvenliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Birlikte çalışarak pilotların uçağı güvenli ve etkili bir şekilde yönetmesine olanak tanımaktadır.

3.6. Kullanım Alanları

Uçak kontrol sistemleri, uçağın yatış (roll), yunuslama (pitch) ve sapma (yaw) hareketlerini kontrol ederek manevra kabiliyeti sağlamaktadır. Yatış hareketi, uçağın kanatlarının birinin yukarı, diğerinin aşağı hareket etmesiyle sağlanmaktadır ve bu hareket aileronlar tarafından kontrol edilmektedir. Yunuslama hareketi, uçağın burun kısmının yukarı veya aşağı hareket etmesiyle sağlanmaktadır ve bu hareket elevatörler tarafından kontrol edilmektedir. Sapma hareketi ise uçağın burun kısmının sola veya sağa

dönmesiyle sağlanmaktadır ve rudder tarafından kontrol edilmektedir. Bu üç hareketin koordinasyonu, uçağın istenilen rotada ve yönlendirilmiş şekilde uçuşmasını sağlamaktadır.

Uçak kontrol sistemleri, uçağın irtifasını (yüksekliğini) ayarlamak için kullanılmaktadır. Yükseklik kontrolü, yunuslama hareketiyle doğrudan ilişkilidir ve elevatörler tarafından sağlanmaktadır. Pilot, kumanda kolunu ileri veya geri hareket ettirerek uçağın burnunu yukarı veya aşağı yönlendirmektedir ve böylece irtifa değişikliği sağlamaktadır. Ayrıca, otomatik pilot sistemleri de belirli bir irtifayı korumak için kullanılmaktadır ve bu sistemler, uçuş boyunca uçağın istenilen irtifada kalmasını sağlamaktadır.

Uçak kontrol sistemleri, motor gücünü ve hava frenlerini kontrol ederek uçağın hızını ayarlamaktadır. Pilot, motor itiş gücünü artırmak veya azaltmak için gaz kollarını kullanmaktadır. İniş ve kalkış sırasında ek kaldırma kuvveti ve frenleme sağlamak için flaplar ve spoilerlar kullanılmaktadır. Hava frenleri (spoilerlar), hızın azaltılması gerektiğinde devreye girerek kanat üzerindeki hava akışını bozmaktadır. Ayrıca, otomatik hız kontrol sistemleri (autothrottle), belirli bir hızın korunmasını sağlamakta ve motor gücünü otomatik olarak ayarlamaktadır.

Otomatik pilot sistemleri, uzun uçuşlarda pilot yükünü azaltmak ve uçuş verimliliğini artırmak için kullanılmaktadır. Otomatik pilot, uçağın belirli bir rotada, irtifada ve hızda uçuşmasını sağlamaktadır. Bu sistemler, sensörler ve uçuş bilgisayarları tarafından toplanan verileri kullanarak uçağın yönünü, irtifasını ve hızını otomatik olarak ayarlamaktadır. Otomatik pilot, kalkıştan inişe kadar çeşitli uçuş modlarında kullanılabilir kabiliyetine sahiptir ve özellikle uzun mesafeli uçuşlarda pilotların dinlenmesini sağlamaktadır. Ayrıca, düşük görüş koşullarında otomatik iniş sistemleri, güvenli inişi sağlamak için kullanılmaktadır. Bu kullanım alanları, uçak kontrol sistemlerinin uçuşun her aşamasında nasıl kritik bir rol oynadığını ve uçuş güvenliği, verimliliği ve pilot konforunu nasıl artırdığını göstermektedir.

Avantajları; uçak kontrol sistemleri, uçuşun daha güvenli ve stabil bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır. Modern kontrol sistemleri, uçuş sırasında meydana gelebilecek çeşitli durumlara hızlı ve doğru tepkiler vererek pilotların hata yapma olasılığını minimize etmektedir. FBW sistemler gibi dijital kontroller, birçok yedekleme sistemiyle donatılmıştır ve bu sayede herhangi bir arıza durumunda bile uçuş güvenliği korumaktadır.

Uçak kontrol sistemleri, pilot komutlarının hassas ve doğru bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Elektronik ve dijital sistemler, manuel mekanik kontrollerden daha hassas tepkiler vermektedir ve bu sayede pilotların istediği manevraları daha etkin bir şekilde gerçekleştirmesine olanak tanımaktadır. Bu hassasiyet, özellikle karmaşık manevralar ve kötü hava koşullarında uçuş güvenliğini arttırmaktadır.

Uçak kontrol sistemleri, yolcular için daha rahat ve sarsıntısız bir uçuş sağlamaktadır. İleri teknoloji kontrol sistemleri, hava türbülanslarını ve diğer rahatsız edici uçuş koşullarını minimize edecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sistemler, uçuşun her aşamasında stabiliteyi koruyarak yolcu konforunu arttırmaktadır.

Uçak kontrol sistemleri, yakıt tüketimini optimize ederek uçuş maliyetlerini azaltmaktadır. Otomatik pilot ve otomatik hız kontrol sistemleri, uçuş rotasını ve hızını en verimli şekilde ayarlayarak yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca, motor performansını ve uçuş dinamiklerini optimize eden bu sistemler, genel operasyonel maliyetleri düşürmektedir ve çevresel etkiyi azaltmaktadır.

3.7. Gelecekteki Gelişmeler

Yapay zeka (Artificial Intelligence, AI) ve makine öğrenimi (Machine Learning, ML), uçak kontrol sistemlerinin daha akıllı ve öngörülü hale gelmesini sağlayacağı düşünülmektedir. AI ve ML algoritmaları kullanarak uçuş sırasında toplanan büyük verilerin analiz edilerek daha güvenli ve verimli uçuş stratejilerinin geliştirileceği öngörülmektedir. Örneğin, hava durumu tahminlerini ve uçuş verilerini analiz ederek en uygun rotayı belirlemektedir ve acil durumlarda en hızlı ve en güvenli tepkileri verebilmektedir. AI destekli sistemler, ayrıca pilotlara uçuş sırasında daha iyi destek sağlayarak insan hatalarını minimize edebilmektedir.

İleri sensör teknolojilerinin, daha hassas ve güvenilir veri toplama yeteneklerini sunacağı düşünülmektedir. Modern uçaklar, hava durumu, hava akışı, irtifa, hız ve uçuş dinamikleri hakkında anlık veri sağlayan gelişmiş sensörlerle donatılacağı öngörülmektedir. Bu sensörlerin, uçuş kontrol sistemlerine daha doğru ve zamanında bilgi sağlayarak, daha hassas uçuş kontrolü ve artırılmış güvenlik sunması beklenmektedir. İleri sensörlerin ayrıca, bakım ihtiyaçlarını önceden tespit ederek, arızaları önceden önlemeye yardımcı olacağı tasarlanmaktadır.

Gelecekte tamamen otonom uçuş kabiliyetine sahip uçakların geliştirilmesi beklenmektedir. Otonom uçakların, insan müdahalesi olmadan uçuş planlarını gerçekleştirebilecek ve karmaşık uçuş manevralarını güvenli bir şekilde yapabilecek yetkinlikte olacağı umulmaktadır. Bu uçakların, AI ve ML destekli sistemler ile donatılacağı ve ileri sensör teknolojileri sayesinde çevresel koşullara anında uyum sağlayabileceği öngörülmektedir. Otonom uçaklar, hava taşımacılığında devrim yaratacağı ve insan hatalarından kaynaklanan kazaları önemli ölçüde azaltacağı düşünülmektedir. Ayrıca, havacılık endüstrisinde operasyonel verimliliği artırarak, daha düşük maliyetli ve çevre dostu uçuşların gerçekleşmesi hedeflenmektedir.

Uçak kontrol sistemleri, modern havacılığın temel taşlarından biridir ve uçuş güvenliği, verimliliği ve konforunu önemli ölçüde arttırmaktadır. Kokpit kontrolleri, pilotların uçağı hassas ve etkin bir şekilde yönlendirmesini sağlarken, kontrol yüzeyleri uçağın hareketlerini ve dengesini yönetmektedir. Sensörler ve aktüatörler, uçağın durumunu sürekli izleyerek gerekli ayarlamaları yapmaktadır ve uçuş bilgisayarları, tüm bu bilgileri işleyerek pilotlara ve otomatik sistemlere doğru komutlar vermektedir.

Gelecekte, AI ve ML gibi teknolojilerin entegrasyonu ile uçak kontrol sistemlerinin daha da akıllı ve öngörülü hale gelmesini sağlayacaktır. İleri sensör teknolojileri, daha hassas ve güvenilir veri toplama yetenekleri sunarak uçuş güvenliğini arttıracaktır. Ayrıca, tamamen otonom uçakların geliştirilmesi, havacılık endüstrisinde devrim yaratacağı ve insan hatalarından kaynaklanan kazaları minimize edeceği düşünülmektedir. Bu gelişmeler, havacılığın gelecekte daha güvenli, verimli ve çevre dostu olmasına katkı sağlayacaktır. Uçak kontrol sistemlerinin bu sürekli evrimin hem pilotlar hem de yolcular için daha güvenli ve konforlu uçuş deneyimleri sunması beklenmektedir.

3.8. Araştırma Modeli

Bu araştırma, side-stick ana elemanını temel alarak Arduino platformu ile bir simülasyon standı oluşturma amacını taşımaktadır. Araştırma modeli, projenin yöntemolojik yaklaşımını ve adımlarını detaylandırmak için kullanılmaktadır. Side-stick ve Arduino kullanarak bir simülasyon standı oluşturma ihtiyacı ve bu standın havacılık eğitimi ve simülasyon alanındaki potansiyel uygulamaları üzerine odaklanmaktadır.

Bu çalışmada, side-stick ve Arduino ile simülasyon standı oluşturma teknik detaylarını araştırılmaktadır. Potansiyometrelerin side-stick hareketlerini nasıl algılayıp Arduino'ya aktardığını incelenmektedir. Arduino'nun bu verileri nasıl model uçaktaki servolara aktardığı ve uçak üzerinde nasıl gösterdiğini araştırılmaktadır.

Çalışma, side-stick teknolojisi ve potansiyometre kullanımı temelinde gerçekleşmektedir. Simülatör özellikleri ve servoların çalışma prensipleri gibi konularda literatür taraması yapılmıştır. Bu, mevcut bilgilerin derlenmesi ve projenin teorik temellerinin oluşturulması için kritiktir. Side-stick, potansiyometreler, Arduino ve model uçak arasındaki bağlantıların nasıl kurulacağına dair bir tasarım oluşturulmuştur. Bu aşamada, kullanılacak materyaller ile bileşenlerin konumları ve bağlantı şemaları belirlenmektedir. Araştırma modelinin pratik uygulaması için bir prototip oluşturulmuştur. Bu, side-stick hareketlerinin potansiyometreler tarafından nasıl algılandığını, Arduino'nun bu veriyi nasıl işlediğini ve model uçakta nasıl bir harekete dönüştüğünü gösteren bir modeldir. Oluşturulan prototip, belirlenen hedeflere ve amaçlara uygun olarak test edilmektedir. Side-stick hareketlerinin doğruluğu, potansiyometrelerin hassasiyeti, Arduino'nun performansı ve model uçaktaki servoların tepkisi gibi faktörler değerlendirilmektedir. Araştırma modelinin sonuçları, elde edilen bulgular ve karşılaşılan zorluklar detaylı bir şekilde sunulmaktadır. Ayrıca, gelecekteki benzer projeler için öneriler ve geliştirme alanları üzerine değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Bu araştırma modeli, side-stick ve Arduino ile simülasyon standı oluşturma sürecini sistematik bir şekilde ele almaktadır. Her adım, projenin başarılı bir şekilde tamamlanması ve havacılık eğitimi ve simülasyon alanındaki uygulamalar için değerli bir katkı sağlaması için kritik öneme sahiptir.

3.9 Evren ve Örneklem

3.9.1 Evren

Simülasyon teknolojileri, birçok farklı endüstri ve uygulama alanında kullanılmaktadır. Side-stick ve Arduino'nun bir araya getirilerek oluşturulan simülasyon sistemleri ise özellikle havacılık, otomotiv, eğitim ve araştırma gibi alanlarda önemli bir potansiyele sahiptir.

3.9.2 Örneklem

Bu evren, side-stick ve Arduino'nun kullanıldığı simülasyon sistemlerinin geniş bir yelpazede uygulanabileceğini ve farklı endüstri ve uygulama alanlarına hitap edebileceğini göstermektedir. Bu sistemler, gerçek dünya senaryolarını, koşullarını ve etkileşimleri simüle etmek için esnek ve özelleştirilebilir çözümler sunmaktadır.

Örneklem seçimi gerçekleştirilirken örneklem türü; örneklem boyutu, örneklem kriterleri göz önüne alınmaktadır. Evrenin örneklem türü için rastgele örneklem yöntemi kullanılarak, simülasyon sistemlerinin farklı versiyonları ve uygulama alanları üzerinde yoğunlaşıldığı ifade edilebilmektedir. Bu, simülasyon sisteminin genel performansını ve uygulanabilirliğini değerlendirmek için kapsamlı bir görünüm sağlamaktadır. Evrenin örneklem boyutu incelendiğinde; araştırmanın kapsamına ve hedeflerine bağlı olarak beş farklı simülasyon ve Arduino tabanlı simülasyon sistemi örneğinin seçildiği saptanmıştır. Örneklem kriterleri arasında side-stick'in tasarım ve işlevselliği, Arduino'nun entegrasyon seviyesi ve kullanılan bileşenler, potansiyometrelerin hassasiyeti ve doğruluğu, model uçak üzerindeki servoların performansı ve tepkisi yer almaktadır. Seçilen örneklem üzerinde, side-stick hareketlerinin Arduino tarafından nasıl algılandığı, bu verilerin nasıl işlendiği ve model uçak üzerinde nasıl bir tepkiye dönüştürüldüğüne dair detaylı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, potansiyometrelerin ve servoların performansı da değerlendirilmiştir. Toplanan veriler ile side-stick ve Arduino kullanılarak oluşturulan simülasyon sistemlerinin genel özellikleri, avantajları, dezavantajları ve uygulama alanları üzerine bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirme, araştırmanın ana bulgularını ve sonuçlarını belirlemek için kullanılmıştır. Bu evren ve örneklem yaklaşımı, side-stick ve Arduino tabanlı simülasyon sistemlerinin kapsamlı bir analizini sağlamaktadır. Seçilen örneklem, araştırmanın odak noktasını ve belirlenen hedefleri doğrultusunda temsili bir görünüm sunmaktadır.

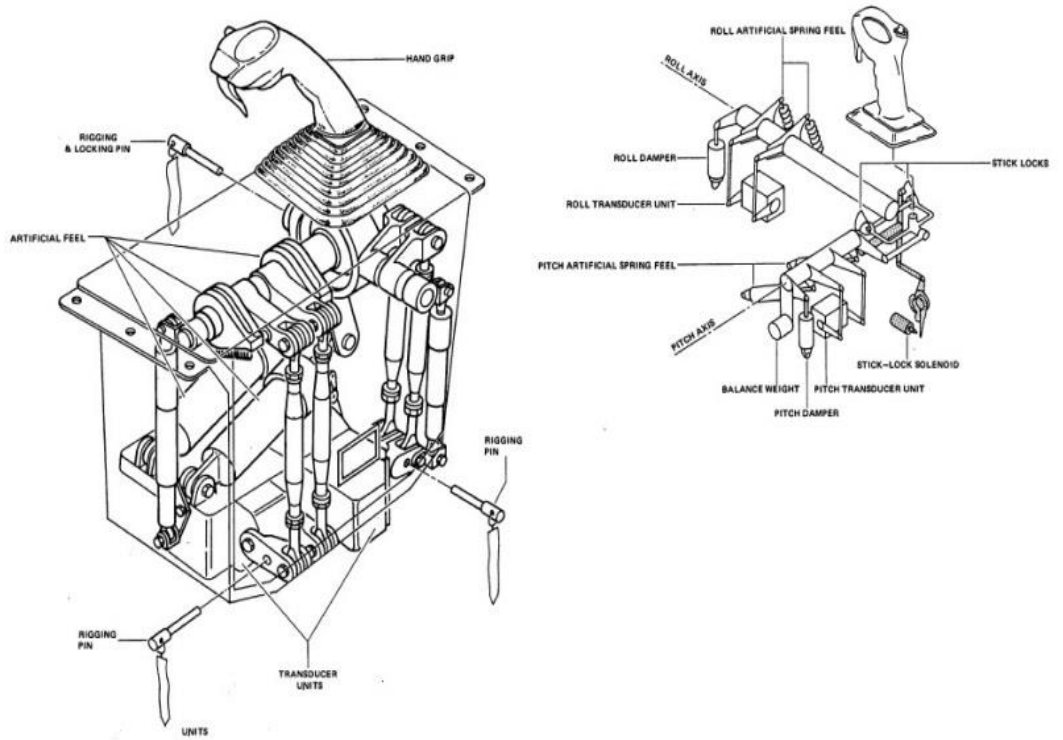
4. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tezde, side-stick ana elemanı temel alınarak Arduino tabanlı bir simülasyon standı oluşturma yaklaşımı detaylandırılmıştır. Side-stick'in gerçekçi bir şekilde simüle edilmesi için potansiyometreler kullanılacak, bu veriler Arduino ile işlenip model uçak üzerindeki servolara aktarılacaktır.

4.1. Materyal

Şekil 4.1 side-stick iç yapısını ve detaylı şekilde çalışma mekanizmasını göstermektedir.



Şekil 4. 1. Side-stick iç yapısı

Simülasyon standı oluşturulurken kullanılacak materyaller, projenin başarısı ve fonksiyonelliği için kritik bir role sahiptir. Bu bağlamda, side-stick ana elemanın, Arduino entegrasyonun, potansiyometreler ve diğer bileşenlerin seçiminin dikkatlice gerçekleşmesi gerekmektedir.

. İşte bu projede kullanılması önerilen materyaller:

4.1.1. Side-stick

Side-stick kullanımının birçok avantajı bulunmaktadır. Uçuş ekranlarına net bir görüş sunan daha iyi bir ergonomi ve “Kablosuz uçuş” komutlarına geçişle kaybedilen statik kuvvetleri geri kazanma ve dinamik olarak farklı dokunsal geri bildirimler oluşturabilmemize olanak tanımaktadır. Örneğin stall gibi kritik bir uçuş parametresine uçuşu etkilemeden ve müdahale edilebilmekte seviyeyi geçmesine izin vermeden bildirim oluşturabilmektedir. Pilot iş yükünün azaltılması ve durumsal farkındalığın iyileştirilmesine olanak tanımaktadır. Uçuş seyrüsefer güvenliğinin iyileştirilmesine katkı sunmaktadır. Pilot talimatları tereddüt etmeden uygulayabildiği için uçağın daha iyi performans göstermesini sağlamaktadır. Pilotun ve yardımcı pilotun komutlarının birleştirmektedir.

Side-stick pilot tarafından hissedilebilecek kavrama kuvveti oluşturma olanağı sunmaktadır. Bu kuvvetler zamana, kavramanın açısal konumuna, uçağın durum değişkenlerine, uçak/helikopter sınırlamalarına ve seyrüsefer güvenliğiyle ilgili diğer parametrelere göre değişecek şekilde ayarlanabilmektedir. Bu kuvvetler dizisi statik özelliklerini tanımlamakta ve kilitlemektedir, kapılar, sürtünme, titreşimler ve nominal kuvvet-yer değiştirme yasasının veya QF’nin gradyanının bir kombinasyonu ile ayrıştırılabilmektedir [14].

4.1.2. Arduino

Arduino Mega, standart projeler için uygun olan ve geniş bir destek sunan bu model tercih edilmiştir. Şekil 4.2. de Arduino geliştirme kartı Mega 2560 gösterilmektedir. Arduino mega, genişletilmiş bellek ve giriş/çıkış seçenekleri ile güçlü bir mikrodenetleyici kartıdır. Arduino platformunun bir parçası olarak, 256 kilobyte (KB) flash bellek, 8 KB Durağan Rastgele Erişimli Bellek(Static Random Access Memory, SRAM) ve 4 KB Elektronik Silinip Programlanabilir Salt Okunur Bellek (Electrically Erasable

Programmable Read-Only Memory, EEPROM)'a sahiptir, bu da onu geliştirilebilir ve karmaşık projeler için uygun kılmaktadır. 54 dijital giriş/çıkış (Input/Output, I/O) pinine, 16 analog girişe ve 4 seri portuna sahip olması, çeşitli sensörler, motorlar ve diğer bileşenlerle etkileşimde bulunmayı kolaylaştırmaktadır.



Şekil 4. 2. Arduino geliştirme kartı

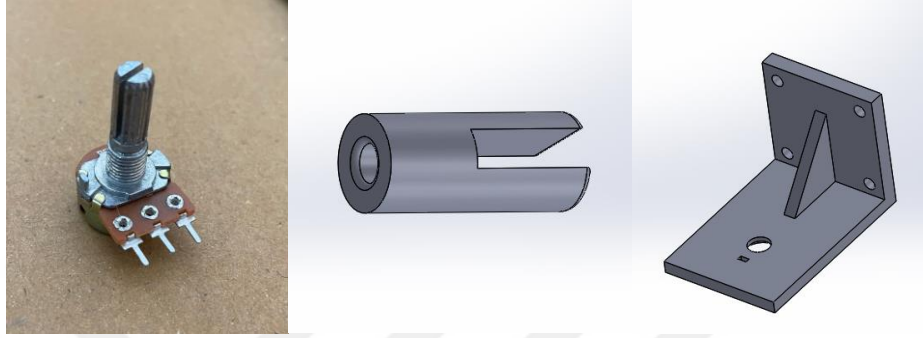
Arduino ile diğer bileşenler arasında bağlantı kurmak için uygun kablo ve bağlantı elemanları seçilmiştir. Şekil 4.3. Bağlantı kabloları için örnektir.



Şekil 4. 3. Bağlantı kabloları

4.1.3. Potansiyometre

Hassasiyet ve doğruluk kritik bileşendir. Side-stick hareketlerinin doğru bir şekilde algılanması için yüksek hassasiyetli ve doğruluğa sahip potansiyometreler seçilmiştir. Şekil 4.4. Potansiyometre Arduino ve benzer devreler ile uyumlu bir modeldir.



Şekil 4. 4. Potansiyometre ve bağlantı çizimleri

Yoğun kullanımda aşınmayacak ve hassasiyetini koruyacak malzemeler tercih edilmiştir.

4.1.4. Model Uçak ve Servolar

Uygun ölçekli model uçak: proje için uygun ölçekli ve yeterli alana sahip bir model uçak seçilmiştir. Şekil 4.5. ile 3 boyutlu (Three Dimensional)3D yazıcıdan, depron köpük benzeri malzemelerden, Ahşap malzemelerden yapılmış model uçak çeşitleri görülmektedir.



Şekil 4. 5. Model uçak çeşitleri

Şekil 4.6. da ise seçilen model uçak gösterilmektedir. Seçilirken maliyet, dayanıklılık, görsellik, ulaşılabilirlik ve doğruluk baz alınmıştır.



Şekil 4. 6. Seçilen model uçak

Hassas Servolar: Side-stick hareketlerinin doğru bir şekilde aktarılması için hassas ve güvenilir servolar tercih edilmiştir. Şekil 4.7. Model uçak yapısı hakkında fikir vermektedir.



Şekil 4. 7. Model uçak yapısı

Çalışmanın literatür araştırmasında, gelişmiş uçaklar için kontrolörlerin kullanımı incelenmiştir. Spesifik olarak, çift yan side-stick kokpit konfigürasyonları için servo bağlantılı aktif side-stick hakkında incelemeler yapılmıştır.

Summers et. al tarafından yapılan çalışmada, FBW de kullanılan side-stick denetleyici değerlendirmesi için bir simülasyon çalışması incelenmiştir. Bu değerlendirme için Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration, NASA) Araştırma Merkezi'ndeki İnsan-Araç Sistemleri Araştırma Tesisinde bulunan gelişmiş konseptli uçuş simülatörü kullanılmıştır. Birincil amaç, pilotun ve yardımcı pilotun yardımcı kontrolörlerini birleştirme gereksinimini değerlendirmektir. Ele alınan diğer konular, side-stick denetleyici özellikleri, kontrol modu işleme nitelikleri ve otopilotun önceliğini belirlenmesidir [21-24].

Crops tarafından yapılan çalışmada, Airbus Industrie A320'nin side-stick ve uçtan uca haberleşme elemanları incelenmektedir. Kokpit ve side-stick'lerin kokpit üzerindeki etkisinin tartışılmasından sonra, side-stick düzenlemeleri, hareket, kuvvetler ve elektronik bağlantı tartışılmaktadır. Airbus Industrie' nin A320'ye tanıdığı fly-by-wire ile mümkün hale gelen yeni şeylere biraz vurgu yapan kontrol yasaları ele alınmaktadır. Pitch, roll ve yalpalama kontrolü, uçuş yolunu güvenli sınırlar içinde tutacak koruma sistemleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Aktif side-stick denetleyicilerinin modern bir uçak kokpitine dahil etmenin avantajlarını da tartışılmaktadır. Pitch and roll'da manuel pilot girişleri için aktif side-stick'ler, ticari nakliye uçakları için incelenmiştir. Side-stick için seçenekler ve gereksinimler gözden geçirilmektedir. Hem kokpitler arası bağlantı hem de otomatik pilot geri sürüş yeteneği sağlayan aktif bir side-stick denetleyicisinin tasfiyesi geliştirilmiştir. Bu özellikler, geleneksel kablo bağlantılı sütun/boyunduruk yapılandırmalarıyla aynı pilot ipuçları sağlamaktadır [20-24,27].

4.1.6. 3D Yazıcılar:

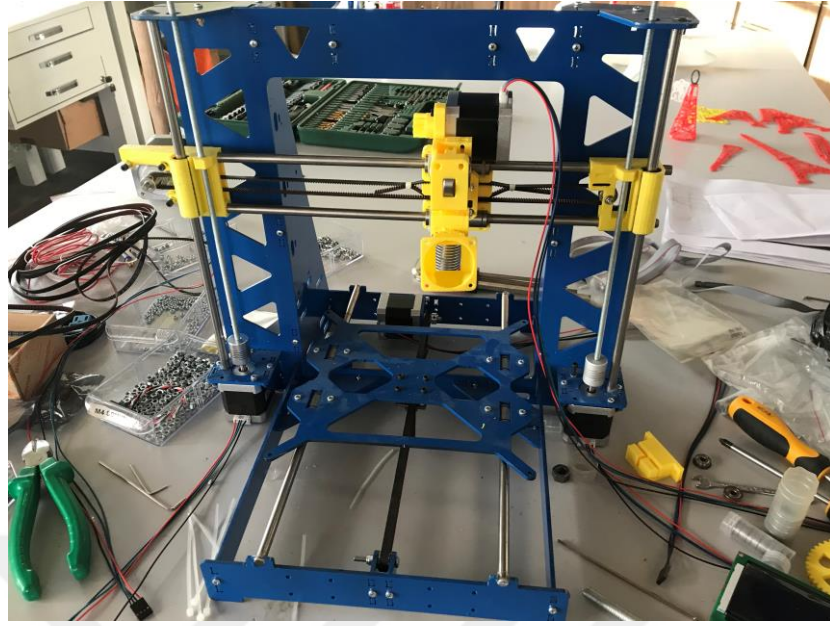
Bu projede, Airbus A320 Side-stick kontrolcüsü ve ilgili bileşenlerin prototip üretiminde 3D yazıcılar kullanılarak ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) ve PLA (Polilaktik Asit) filamentleri tercih edilmiştir. 3D yazıcılar, katmanlı üretim teknolojisi sayesinde, karmaşık geometrilere sahip bileşenlerin hızlı ve maliyet etkin bir şekilde üretilmesine olanak tanımaktadır. Bu cihazlar, dijital tasarımları fiziksel objelere dönüştürme sürecinde yüksek hassasiyet ve detay doğruluğu sağlamaktadır. filament serbest biçimli fabrikasyon (Fused Deposition Modeling, FDM) teknolojisi ile çalışan 3D yazıcılar,

eritilen plastik filamentin katman katman dökülmesiyle çalışmakta ve bu sayede dayanıklı ve işlevsel prototipler üretilmektedir.

ABS, yüksek mukavemeti, dayanıklılığı ve ısıya karşı direnci ile bilinmektedir. Bu özellikleri sayesinde ABS, Side-Stick kontrolcüsü gibi yüksek stres altında çalışacak bileşenlerin güvenilir ve uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Mekanik parçaların üretiminde ABS'nin kullanımı, bu parçaların fiziksel testlerde ve simülasyonlarda gerçekçi performans göstermesini mümkün kılmaktadır. Diğer yandan, PLA, biyolojik olarak parçalanabilen yapısı ve düşük erime noktası ile dikkat çekmektedir. Kolay işlenebilirliği ve detayları yüksek doğrulukla basabilmesi nedeniyle PLA, özellikle prototiplerin hızlı ve detaylı bir şekilde üretilmesine olanak tanımaktadır. PLA'nın çevre dostu olması, sürdürülebilirlik açısından projeye önemli bir katkı sağlamaktadır.

3D yazıcıların sunduğu esneklik, tasarım değişikliklerinin hızlı bir şekilde yapılabilmesine imkân tanımaktadır. Tasarımsal değişiklikler dijital ortamda gerçekleştirildikten sonra, yeni prototipler hızla üretilbilir ve test edilebilmektedir. Bu süreç, tasarım döngüsünü hızlandırır ve geliştirme maliyetlerini azaltmaktadır. Her iki malzemenin kullanımı, projenin farklı aşamalarındaki ihtiyaçları karşılamak için ideal bir kombinasyon sunmakta; ABS'nin sağlamlığı ve PLA'nın işlenebilirliği, tasarım ve üretim süreçlerini optimize etmeye yardımcı olmaktadır. ABS ve PLA kullanımı sayesinde, prototiplerin fonksiyonel ve yapısal olarak test edilmesi, hataların erken aşamada tespit edilip düzeltilmesi ve nihai ürünün performansının artırılması mümkün olmaktadır.

Sonuç olarak, 3D yazıcılar, Airbus A320 Side-stick kontrolcüsü projesinin çeşitli aşamalarında kritik bir rol oynamaktadır. Prototip üretimi, özel parçaların üretilmesi, maliyet ve zaman tasarrufu sağlanması gibi birçok avantaj sunmaktadır. Bu teknoloji sayesinde, tersine mühendislik çalışmaları daha verimli ve etkili bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. 3D yazıcıların sağladığı esneklik ve hız, projenin başarısı için önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, ABS ve PLA gibi malzemelerin kullanımı, projenin ihtiyaç duyduğu hassasiyet ve işlevselliği sağlayarak tasarım ve üretim süreçlerini optimize etmeye yardımcı olması beklenmektedir. Şekil 4.8. de ev ortamında üretilen 3D yazıcı örneği gösterilmektedir.



Şekil 4. 8. 3D yazıcı

4.1.7. Diğer Bileşenler:

Güç Kaynağı: Tüm bileşenlerin güç ihtiyaçlarını karşılayacak uygun bir güç kaynağı seçilmiştir. Şekil 4.9. kullanılacak güç kaynağı gösterilmektedir.



Şekil 4. 9. Güç kaynağı

Arduino, potansiyometreler, servolar ve diğer bileşenler arasında güvenli ve sağlam bağlantılar kurmak için gerekli bağlantı elemanlarının temini gerçekleştirilmiştir. Kullanılacak materyallerin seçimi, simülasyon standının fonksiyonelliği, güvenilirliği ve kullanıcı deneyimi için kritik bir öneme sahiptir. Yukarıda belirtilen materyaller, projenin gereksinimlerini karşılamak ve başarılı bir simülasyon standı oluşturmak için dikkatlice seçilmektedir.

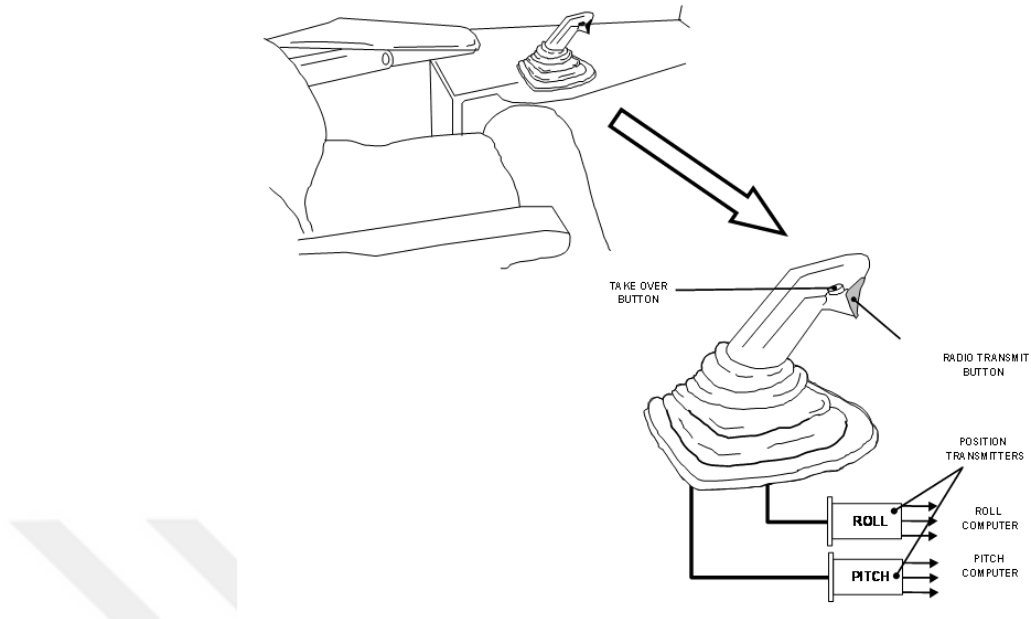
4.2. Yöntem

Havacılık simülasyonları, gerçek uçuş koşullarını sanal bir ortamda deneyimlemek için kritik bir araçtır. Bu çalışma, side-stick ve Arduino'nun havacılık simülasyonları için donanım ve yazılım entegrasyonunu ele almaktadır, bu sayede gerçekçi ve etkili bir simülasyon deneyimi oluşturulması amaçlanmaktadır. Şekil 4.10. da bileşenlerin ve uygulamanın akış diagramı gösterilmektedir.



Şekil 4. 10. Uygulamanın akış diyagramı

Şekil 4.11'de gösterilen side-stick'in hava aracı yerleşimi, ergonomi açısından pilotun rahat ve etkili bir kontrol sağlamasına olanak tanımaktadır. Yan tarafa yerleştirilen stick, pilotun koltukta doğal bir pozisyonda oturmasını ve daha az yorulmasını sağlamakta, bu da uzun süreli uçuşlarda konfor ve performansı arttırmaktadır.



Şekil 4. 11. Side-stick'in hava aracı yerleşimi

Şekil 4.12'de gösterilen uçak kontrol paneli, pilotların uçuş sırasında gerekli tüm bilgilere ve kontrollere kolayca erişebilecekleri şekilde düzenlenmektedir. Ergonomik bir tasarıma sahip olan bu panel, pilotun dikkatini dağıtmadan hızlı ve etkili bir şekilde uçuş parametrelerini yönetmesini sağlamaktadır.



Şekil 4. 12. Kontrol paneli

Side-stick üzerinden aktarılan mekanik hareket potansiyometre ve cihaz üzerindeki konnektörler ile sinyale çevrilerek aktarılacak olup Arduino ile işlenerek tekrardan hava aracı üzerinde mekanik hareket olarak gösterimi gerçekleştirilecektir.

Çalışmanın önce parçaları ayrı ayrı çalıştırılacak olup sonraki adımında birlikte test ve çıktı adımlarına geçilecektir. Aktarılabilecek ve yararlanılabilecek kitler üzerinde çalışılacaktır.

Side stick mekanik olarak bir bütün halinde bir tasarımıdır. Hareketi iletirken elektriksel geribildirimler ile birlikte mekanik olarak geribildirim de olacaktır. Ani olarak verdiğimiz harekete nazikçe cevap verip hareketi yumuşatmak ile birlikte kararlı hareketimizi de uçak üzerindeki kontrolcüye aktaracaktır. Stand üzerinde bu mekanik hareketlerin olduğu alanları saklamak yerine görülebilir tasarlayıp side-stick hareketini mekanizma ile nasıl aktarıyor inceleme şansımız olacaktır.

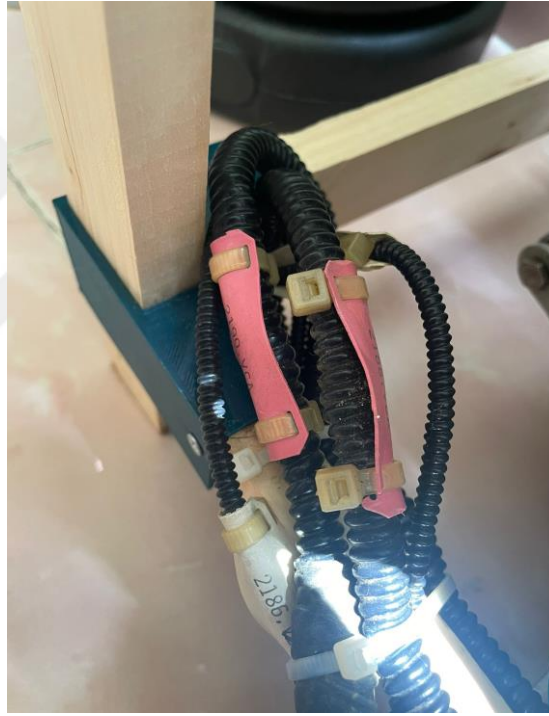
Set, hem side-stick hem de hava aracı kontrolör hareketlerini inceleme olanağı sunmaktadır. Müdahale edilebilecektir. Set kurulumu sonrası istenirse farklı hava aracı tiplerine de uyarlanabilmektedir. Her hava aracı yapısına göre farklı tepkiler vereceği için (savaş uçağı manevrası ile nakliye uçağı manevrası hava aracı tasarımına göre farklı olacaktır) gerektiğinde set değişimi gerçekleştirilmektedir..

4.2.1. Side-stick ve Potansiyometre Kullanımının Temeli

Side-stick, modern uçaklarda pilotların uçağı kontrol etmelerini sağlayan bir kontrol mekanizmasıdır. Geleneksel joystick'e kıyasla daha ergonomik ve kullanıcı dostudur. Çalışma, side-stick kumandasının mekanik ve elektronik bileşenlerinin detaylı bir şekilde incelenmesiyle başlamaktadır. Bu aşamada, side-stick'in hareket aralığı, hassasiyeti ve tepkime süresi gibi parametreler test edilmekte ve ölçülmektedir. Bu ölçümler, side-stick'in nasıl çalıştığını ve uçuş kontrol yüzeylerine nasıl komutlar verdiğini anlamak için kritik önem arz etmektedir. Şekil 4.13'te gösterilen kablo numaralandırılması, uçak içindeki elektriksel sistemlerin düzenli ve kolay anlaşılır olmasını sağlamaktadır. Bu numaralandırma sistemi, bakım ve onarım süreçlerini hızlandırarak hata riskini azaltmakta ve uçuş güvenliğini arttırmaktadır.

Side-stick kumandası için yapılan ölçümlerde kablo numaralandırılması, doğru sinyal iletimi ve bağlantıların doğru yapılması açısından önem arz etmektedir. Her bir kablo, belirli bir fonksiyona ve bağlantı noktasına karşılık gelmektedir. Kablo numaralandırılması, karışıklıkları önlemek ve sistemin doğru çalışmasını sağlamak için gereklidir. Kabloların doğru şekilde numaralandırılması, montaj ve bakım süreçlerini

kolaylaştırmaktadır ve olası hataların önüne geçmektedir. Ayrıca, kablo numaralandırılması, teknisyenlerin ve mühendislerin sistem üzerinde çalışırken hızlı ve doğru bir şekilde bağlantıları tanımlamasını ve sorun gidermesini sağlamaktadır. Bu yöntem, özellikle karmaşık elektriksel sistemlerin yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır ve uçuş güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Şekil 4.14'te gösterilen bağlantı konnektörleri, hava aracında elektriksel ve elektronik sistemlerin güvenli ve verimli bir şekilde bağlanmasını sağlamaktadır. Konnektörler, sistemlerin modüler yapıda olmasına olanak tanımakta, bakım ve onarım işlemlerini kolaylaştırmakta ve bağlantıların güvenilirliğini artırarak uçuş güvenliğine katkıda bulunmaktadır.



Şekil 4. 13. Kablo numaralandırılması

Şekil 4.15'te gösterilen ölçüm için hava aracı lisanslı pinler, elektriksel devrelerde güvenli ve doğru ölçüm yapılmasını sağlamaktadır.

Side-stick kumandasının ölçümlerinin doğru ve güvenilir bir şekilde yapılması, uçuş güvenliği ve sistem performansı açısından kritik öneme sahiptir. Hava aracı lisanslı pinler, bu ölçümlerin hassasiyetini ve doğruluğunu sağlamak için kullanılmaktadır. Yüksek doğruluk ve hassasiyetle tasarlanan bu pinler, side-stick hareketlerinin tam olarak ölçülmesini sağlamaktadır. Bu hassasiyet, özellikle uçuş kontrol komutlarının doğru bir

şekilde uygulanması için önemlidir, çünkü hatalı veya eksik ölçümler, uçuş sırasında istenmeyen durumlara yol açabilmektedir.



Şekil 4. 14. Bağlantı konnektörleri



Şekil 4. 15. Ölçüm için hava aracı lisanslı pinler

Lisanslı pinler, zorlu uçuş koşullarında güvenilir bir performans sunmaktadır. Titreşim, sıcaklık değişimleri ve diğer çevresel faktörlerden etkilenmeyecek şekilde tasarlanan bu pinler, ölçüm verilerinin sürekli ve güvenilir olmasını sağlamaktadır. Bu güvenilirlik, uçuş güvenliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca, hava aracı lisanslı pinler, uluslararası havacılık standartlarına uygun olarak üretilmekte, bu da ölçüm sistemlerinin ulusal ve uluslararası havacılık otoriteleri tarafından kabul edilen standartlara uyduğunu göstermektedir.

Elektriksel performans açısından da önemli olan bu pinler, side-stick kumandasından gelen analog sinyallerin doğru ve kararlı bir şekilde iletilmesini sağlamaktadır. Düşük direnç ve yüksek iletkenlik sunarak sinyal kayıplarını minimize ederek ölçümlerin doğruluğunu arttırmaktadır. Standartlara uygunluğu ve yüksek performansı ile hava aracı lisanslı pinler, side-stick ölçümlerinin güvenilirliğini ve doğruluğunu arttırmaktadır.

Şekil 4.16'de gösterilen ölçüm için kullanılan ölçü aleti ve pinlerin bağlantısı, hava aracındaki elektriksel devrelerin doğru ve güvenli bir şekilde test edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 4. 16. Ölçüm için kullanılan ölçü aleti ve pinlerin bağlantısı

4.2.2. Arduino'nun Entegrasyonu

Arduino, esnek, kullanıcı dostu ve maliyet etkili bir platform olarak simülasyon standının merkezinde yer almaktadır. Arduino'nun geniş destek topluluğu ve çok sayıda mevcut kütüphanesi, projeyi geliştirme sürecini hızlandırmakta ve teknik sorunların çözümünü kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, çeşitli sensörler ve aktüatörlerle uyumlu olması, Arduino'yu bu tür uygulamalar için ideal bir seçim haline getirmektedir. Arduino, potansiyometrelerden gelen veriyi alacak, işleyecek ve model uçaktaki servolara uygun komutları ileterek side-stick hareketlerini simüle edecektir. Bu süreç aşağıdaki adımları içermektedir.

Potansiyometreler, side-stick'in konumunu algılamakta ve analog sinyaller üretmektedir. Arduino, bu analog sinyalleri analog-dijital dönüştürücü kullanarak dijital verilere dönüştürmektedir. Arduino, dijital verileri okuyarak side-stick'in pozisyonunu belirlemektedir. Okunan veriler, uçuş kontrol algoritmaları kullanılarak işlenmektedir. Bu algoritmalar, side-stick'in hareketlerine uygun olarak servoların nasıl hareket etmesi gerektiğini belirlemektedir. İşlenen veriler, darbe genişlik modülasyonu (pulse width modulation, PWM) sinyalleri olarak servolara iletilmektedir. Servo motorlar, bu sinyallere göre hareket ederek model uçağın kontrol yüzeylerini (aileronlar, elevatörler, rudderlar) ayarlanmaktadır.

Güç yönetimi, Arduino ve bağlı bileşenler için uygun güç kaynağı ile sağlanmaktadır. Bu hem Arduino'nun hem de bağlı sensör ve servoların stabil çalışmasını garanti etmektedir. Kablolama ve bağlantılar noktasında, Arduino'nun sensörler ve servolarla doğru bir şekilde bağlantılı olduğundan emin olunması gerekmektedir. Bağlantıların güvenli ve kararlı olması, veri iletiminin doğruluğunu ve sistemin genel güvenilirliğini arttırmaktadır.

Kalibrasyon, potansiyometrelerin ve servoların doğru çalışması için kalibrasyon yapılmalıdır. Bu, sensörlerin doğru veri toplamasını ve servoların doğru pozisyonlara hareket etmesini sağlamaktadır.

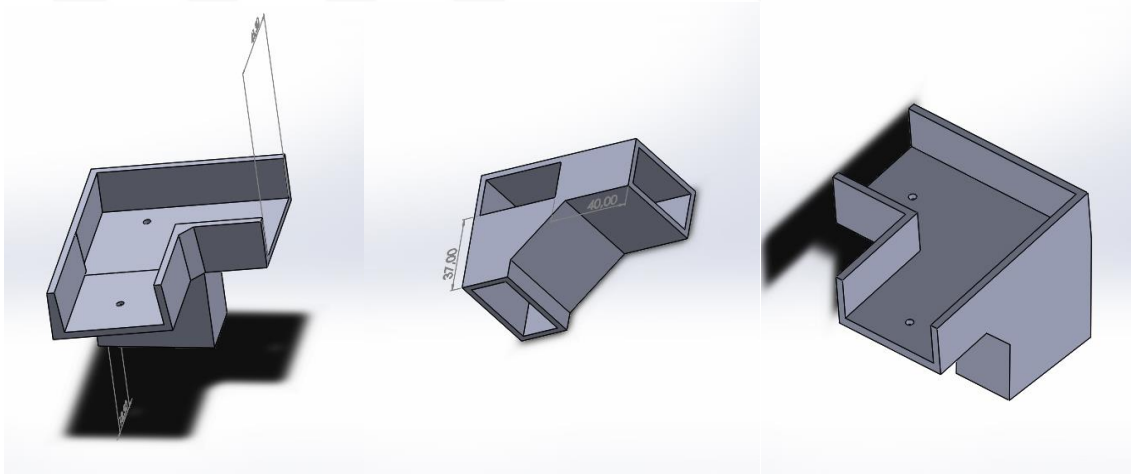
Test ve doğrulama, tüm sistem, gerçek uçuş koşullarını simüle eden testlerle doğrulanmalıdır. Bu, herhangi bir hatayı erken aşamada tespit ederek düzeltmeye olanak tanımaktadır.

Yazılım ve programlama, Arduino için özel olarak yazılmış yazılım, veri toplama, işleme ve aktarma süreçlerini yönetmektedir. Yazılımın güvenilir ve hatasız çalışması, tüm sistemin performansını doğrudan etkilemektedir.

Bu adımlar tamamlandığında, Arduino tabanlı simülasyon standı, side-stick hareketlerini doğru bir şekilde simüle edebilmekte ve model uçağın kontrol yüzeylerini hassas bir şekilde yönetebilmektedir. Bu entegrasyon hem eğitim hem de mühendislik uygulamaları için etkili ve güvenilir bir çözüm sunmaktadır.

4.2.3. Simülasyon Standının Oluşturulması

Stant, side-stick'in ergonomik bir şekilde yerleştirileceği ve kullanıcının kolayca erişebileceği bir yapıda tasarlanmıştır. Bağlantılar ve entegrasyon, Arduino, potansiyometreler ve model uçaktaki servolar arasındaki bağlantılar dikkatlice kurulmuş, böylece side-stick hareketleri doğru bir şekilde aktarılmıştır. Şekil 4.17. 'de stant yerleşimi ve montajı için kullanılan ara parçaların çizimi görülmektedir. 3D yazıcı teknolojilerinden faydalanılmaktadır.



Şekil 4. 17. Stand bağlantı parçaları çizimi

Standın yapısını oluşturmak için dayanıklı ve hafif malzemeler (örn. ahşap, plastik) kullanılmıştır. Şekil 4.18'de stant yerleşimi ve kullanılan malzemeler görülmektedir. Kullanıcının rahatça erişebileceği ve kullanabileceği bir tasarım oluşturulmuştur.



Şekil 4. 18. Stand yerleşimi

4.3.4. Yazılım Entegrasyonu

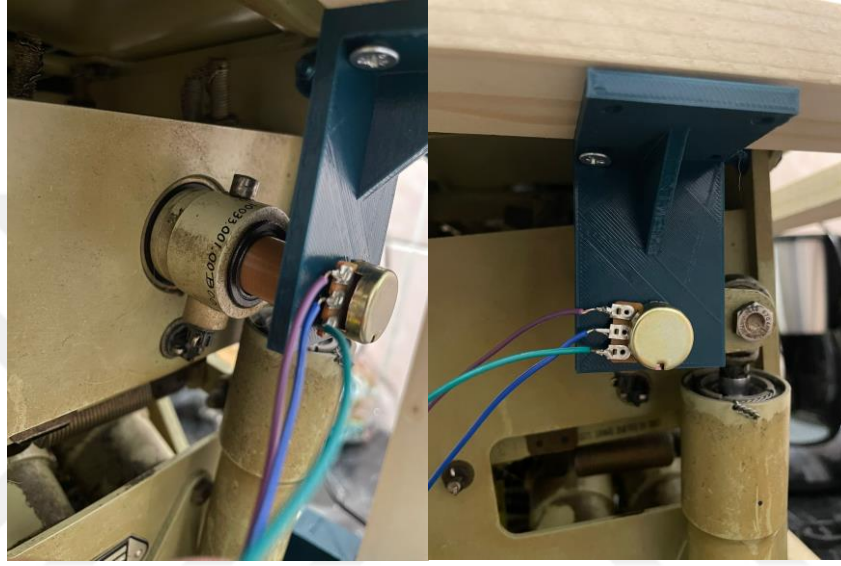
Side-stick kumandasının uçuş kontrol sistemleriyle entegrasyonu sırasında yapılan ölçümler, side-stick'in uçuş kontrol bilgisayarları (FCC) ile doğrudan bağlantı kurabildiğini göstermektedir. Bu bağlantı, uçuş güvenliği ve sistem performansı açısından kritik öneme sahiptir, çünkü FCC, uçak kontrol komutlarını işleyen ve kontrol yüzeylerine ileten ana bilgisayar olarak görev yapmaktadır [18,25].

Side-stick kumandasının sinyallerinin doğru bir şekilde işlenmesi ve model uçak üzerinde gösterilmesi için potansiyometreler kullanılmıştır. Potansiyometreler, side-stick hareketlerini hassas elektrik sinyallerine dönüştürerek bu sinyallerin Arduino platformuna iletilmesini sağlamaktadır. Arduino, bu sinyalleri dijital komutlara dönüştürerek servo motorları kontrol edilmekte ve model uçağın kontrol yüzeylerini hareket ettirmektedir. Bu süreç, side-stick'in hareketlerini doğru bir şekilde takip ederek uçuş kontrol yüzeylerine aktarmak için kullanılmaktadır. Şekil 4.19 potansiyometrenin bağlantısı ve aktarımı için basılan parça ile montajı görülmektedir.

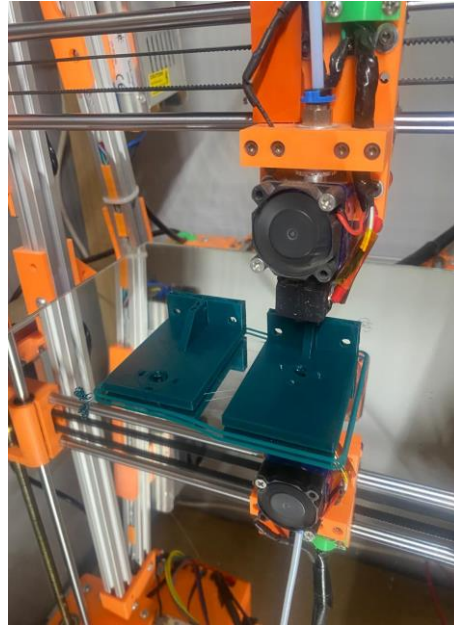
Şekil 4.20'da potansiyometre bağlantı elemanı üretim aşaması görülmektedir. Çizimi yapılan parça 3d yazıcı ile PLA malzeme kullanılarak üretilmektedir.

Entegrasyon sürecinde, side-stick kumandasının mekanik hareketlerinin potansiyometreler aracılığıyla elektriksel sinyallere dönüştürülmesi ve bu sinyallerin Arduino ile işlenerek servo motorlara iletilmesi sağlanmaktadır. Arduino, gelen sinyalleri

işleyerek servo motorların pozisyonlarını ayarlamakta ve bu sayede model uçağın kontrol yüzeyleri doğru bir şekilde hareket etmektedir. Bu sistem, side-stick kumandasının gerçek uçuş koşullarında nasıl çalıştığını simüle etmekte ve pilot komutlarının uçuş kontrol yüzeylerine nasıl aktarıldığını göstermektedir.



Şekil 4. 19. Potansiyometre aktarımı



Şekil 4. 20. Potansiyometre bağlantı elemanı üretim aşaması

Sonuç olarak, side-stick kumandasının FCC ile bağlantı kurabildiği ve potansiyometre, Arduino ve servo motorlar kullanılarak model uçak üzerinde başarıyla entegre edilebildiği gösterilmiştir. Bu entegrasyon, uçuş kontrol sistemlerinin çalışma prensiplerini anlamak ve eğitim amaçlı kullanmak için etkili bir yöntem sunmaktadır. Proje, havacılık mühendisliği öğrencileri ve profesyonelleri için değerli bir eğitim aracı olarak değerlendirilmiştir.

Side-stick kumandasından gelen elektriksel sinyallerin doğru bir şekilde işlenmesi ve model uçak kontrol yüzeylerine iletilmesi için Arduino kullanılır. Arduino platformu, esnek ve programlanabilir yapısıyla bu tür projeler için idealdir.

Side-stick'ten gelen analog sinyallerin Arduino tarafından okunması için bir yazılım geliştirilmiştir.

Yazılım, bu sinyalleri dijital komutlara dönüştürmekte ve model uçağın kontrol yüzeylerini hareket ettiren servo motorları yönetmektedir. Yazılım, side-stick'in hareketlerini hassas bir şekilde takip ederek uygun tepkiler vermektedir. Arduino IDE üzerinde özelleştirilmiş bir kod, side-stick hareketlerini servo motorlara uygun sinyallere dönüştürmek amacıyla yazılmaktadır. Bu kod, analog verileri dijital sinyallere dönüştürerek servo motorların doğru pozisyonlara hareket etmesini sağlamaktadır.

Yazılım:

```
#include <Servo.h>
// Servo motorları tanımlayın
Servo servo1;
Servo servo2;
// Potansiyometre pinlerini tanımlayın
const int potPin1 = A0; // Potansiyometre 1 için analog pin
const int potPin2 = A1; // Potansiyometre 2 için analog pin
// Servo motor pinlerini tanımlayın
const int servoPin1 = 9; // Servo 1 için dijital pin
const int servoPin2 = 10; // Servo 2 için dijital pin
void setup() {
// Servo motorlarını başlatın ve pinlerini atayın
```

```

servo1.attach(servoPin1);
servo2.attach(servoPin2);
// Seri iletişimi başlatın
Serial.begin(9600);
}

voidloop() {
    // Potansiyometre değerlerini okuyun
    int potValue1 = analogRead(potPin1);
    int potValue2 = analogRead(potPin2);
    // Potansiyometre değerlerini servo motor açılarına çevirin
    int servoAngle1 = map(potValue1, 0, 1023, 0, 180);
    int servoAngle2 = map(potValue2, 0, 1023, 0, 180);

    // Servo motorlara açıları gönderin
    servo1.write(servoAngle1);
    servo2.write(servoAngle2);
    // Seri monitöre değerleri yazdırın (isteğe bağlı)
    Serial.print("Pot1: ");
    Serial.print(potValue1);
    Serial.print(" -> Servo1: ");
    Serial.print(servoAngle1);
    Serial.print(" degrees ");
    Serial.print("Pot2: ");
    Serial.print(potValue2);
    Serial.print(" -> Servo2: ");
    Serial.print(servoAngle2);
    Serial.println(" degrees");
    // Bir süre bekleyin
    delay(15); // 15ms beklemek, servo motorların hareketini düzgün hale getirmektedir

```

Simülasyon yazılımı, havacılık simülasyonu için kullanılan ana yazılım platformu, Arduino'nun gönderdiği sinyalleri almaktadır ve model uçak üzerindeki sanal ortamda hareketleri simüle etmektedir. Bu yazılım, gerçekçi görseller, sesler ve fiziksel özelliklerle birlikte uçuş deneyimini tamamlamaktadır.

Entegrasyon testleri, donanım ve yazılım entegrasyonunun doğru çalıştığından emin olmak için kapsamlı testler yapılmaktadır. Bu testler ile side-stick hareketlerinin doğru bir şekilde simüle edilip edilmediği, servo motorların ve yazılımın beklenen tepkileri verip vermediğini değerlendirilmektedir.

Side-stick ve Arduino'nun entegrasyonu, havacılık simülasyonlarının daha gerçekçi, esnek ve özelleştirilebilir olmasını sağlamaktadır. Bu entegrasyon, pilot eğitimi, araştırma ve geliştirme çalışmaları gibi birçok alanda önemli fırsatlar sunmakta, aynı zamanda simülasyon deneyiminin kalitesini ve etkinliğini arttırmaktadır.

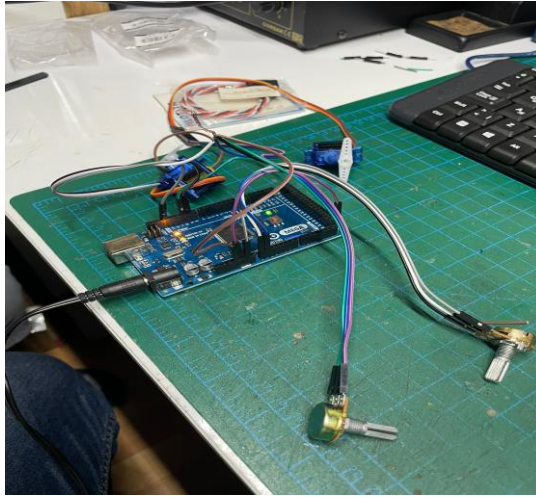
4.3.5. Donanım Entegrasyonu

Side-stick seçimi, gerçekçi bir simülasyon deneyimi için ergonomik ve hassas bir side-stick modelinin seçilmesi gerekmektedir. Side-stick, pilotun uçağın kontrolünü doğrudan sağladığı ana araçtır. Side-stick hareketlerinin Arduino tarafından algılanması için potansiyometreler entegre edilmektedir. Bu, side-stick'in x, y ve z eksenlerindeki hareketlerini hassas bir şekilde izlemeyi mümkün kılmaktadır. Arduino, side-stick'ten gelen verileri işlemek, analiz etmek ve servolara doğru sinyalleri göndermek için kullanılmaktadır. Arduino'nun esnek ve programlanabilir doğası, simülasyonun özelleştirilmesini ve optimize edilmesini sağlamaktadır.

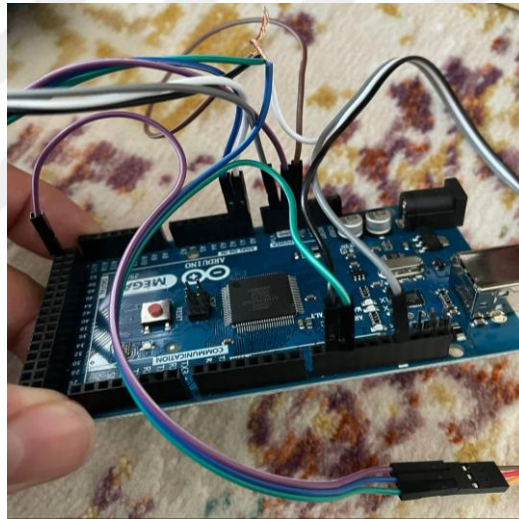
Arduino tarafından kontrol edilen servo motorlar, side-stick hareketlerini model uçak üzerindeki fiziksel hareketlere dönüştürmektedir. Bu, pilotun side-stick hareketlerine gerçek zamanlı olarak tepki almasını sağlamaktadır.

4.3.6. Bağlantılar ve Devre Tasarımı

Side-stick'in potansiyometre veya sensörlerinden gelen çıkışlar, Arduino'nun analog giriş pinlerine bağlanmaktadır. Servo motorlar, Arduino'nun dijital çıkış pinlerine bağlanarak kontrol edilmektedir. Güç kaynağı ve diğer yardımcı devre elemanları, sistemin stabil ve güvenilir çalışmasını sağlamaktadır. Şekil 4.21 ve 4.22 'de gösterilen Arduino ve bağlantıları, çeşitli sensörlerin ve cihazların kontrolünü sağlamak için kullanılan esnek ve modüler bir platform sunmaktadır. Arduino'nun kolay bağlantı imkanı, prototip geliştirme sürecini hızlandırmakta ve karmaşık elektronik projelerin hızlı bir şekilde oluşturulmasını sağlamaktadır.



Şekil 4. 21. Arduino ve bağlantıları kurulumu



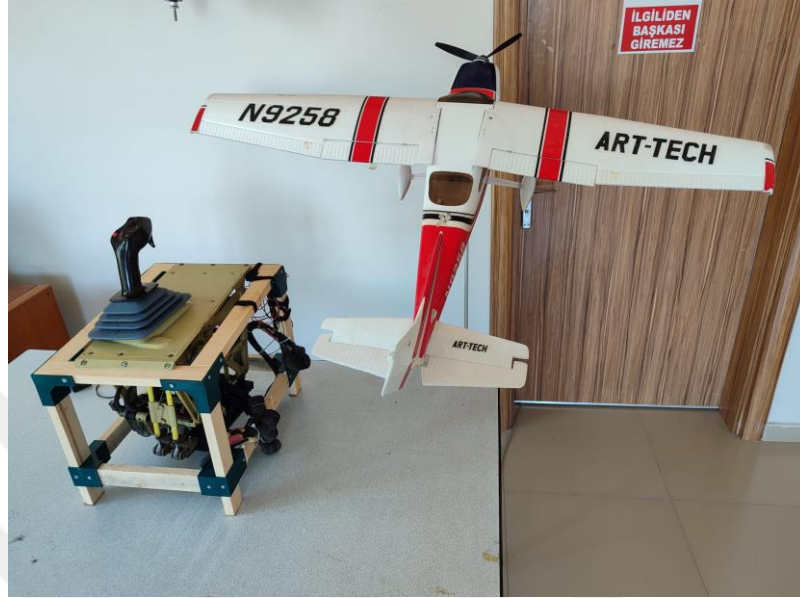
Şekil 4. 22. Arduino bağlantıları

4.3.7 Model Uçak Üzerinde Gösterim

Projenin nihai aşaması, tüm bileşenlerin birleştirilmesi ve model uçak üzerinde test edilmesidir. Bu aşamada, side-stick kumandası kullanılarak model uçağın kontrol yüzeylerinin nasıl hareket ettiği gözlemlenmekte ve sistemin performansı değerlendirilmektedir.

Arduino, side-stick ve potansiyometre bağlantıları gerçekleştirilip servo motorlar model uçağa monte edilmektedir. Şekil 4.23'te model uçak üzerinde gösterim, gerçek uçak sistemlerinin çalışma prensiplerini ve yapılarını ölçekli bir model üzerinde anlamayı sağlamaktadır. Bu gösterim, mühendislerin ve teknisyenlerin tasarım, test ve eğitim

süreçlerinde önemli bir araç olarak kullanılmaktadır, pratik uygulamalar ve teorik bilgiler arasında köprü kurmaktadır.



Şekil 4. 23. Model uçak üzerinde gösterim

4.3.8. Test ve Doğrulama Süreci

Test ve doğrulama süreci iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama, prototipin hazırlanması: aşamasıdır. Bu aşamada, simülasyon standının ilk prototipi oluşturularak ve temel fonksiyonları test edilmektedir. İkinci aşama, hata ayıklama ve optimize etme aşamasıdır: Bu aşamada, ilk prototipteki olası hatalar ve sorunlar belirlenmekte, ardından gerekli düzeltmeler yapılarak optimizasyon süreci başlatılmaktadır.

4.3.9. Sonuç ve Beklentiler

Bu alt başlıkta, simülasyon standının genel performansı değerlendirilmekte ve beklenen sonuçlar doğrultusunda değerlendirmeler gerçekleştirilmektedir. Geleceğe yönelik öneriler olarak simülasyon standının gelecekteki geliştirme potansiyeli ve olası iyileştirmeler üzerine öneriler sunulmaktadır.

Bu yöntem kısmı, side-stick ve Arduino temelli simülasyon standının oluşturulmasının detaylı bir planını ve sürecini sunmaktadır. Standın tasarımı, entegrasyonu, testi ve optimize edilmesi adımları adım adım ele alınmaktadır. Tüm bağlantılar ve devreler kontrol edilerek sistemin doğru çalıştığından emin olunulmaktadır.

Testlerde; side-stick'in farklı pozisyonlarda nasıl tepki verdiği ve bu tepkilerin model uçağın kontrol yüzeylerine nasıl aktarıldığı gözlemlenmektedir. Kumanda sinyallerinin doğruluğu ve sistemin tepkime süresi gibi kritik parametreler incelenmektedir.

Değerlendirme ve sonuç kısmında elde edilen veriler analiz edilmiştir. Side-stick kumandasının ve Arduino ile geliştirilen kontrol sisteminin performansı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, sistemin havacılık uygulamalarında ne kadar etkili ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

Bu proje, side-stick kumanda sisteminin tersine mühendislik yöntemiyle analiz edilmesi ve model uçak üzerinde uygulanmasını gösterilmektedir. Tüm aşamalar, side-stick'in çalışma prensiplerini anlamayı ve bu prensipleri pratik bir uygulamaya dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Elde edilen sonuçlar, havacılık mühendisliği öğrencileri ve profesyonelleri için değerli bir eğitim ve araştırma aracı olarak kullanılabilir.

5. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1.Tartışma

Simülasyon teknolojileri, havacılık, otomotiv, sağlık ve birçok diğer sektörde eğitim, araştırma ve geliştirme çalışmalarında kritik bir rol oynamaktadır. Side-stick ve Arduino'nun bir araya getirilerek simülasyon standı oluşturma konsepti, bu teknolojilerin entegrasyonunun potansiyelini ve bu entegrasyonun avantajlarını sunmaktadır. Ancak, bu yaklaşımın getirdiği fırsatlar ve zorluklar dikkate alındığında bazı tartışma noktaları ortaya çıkmaktadır.

5.1.1. Avantajlar:

Esneklik ve özelleştirilebilirlik avantajları arasında yer almaktadır. Arduino platformu, kullanıcıların kendi ihtiyaçlarına ve gereksinimlerine göre özelleştirilebilen bir sistem sunmaktadır. Bu, simülasyon standının farklı uygulamalara ve senaryolara uygun olarak tasarlanmasını sağlamaktadır.

Maliyet etkin çözümler konusunda Arduino, ekonomik ve erişilebilir bir platform olup, simülasyon projelerinin maliyetlerini düşürerek daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşılmasını sağlamaktadır. Arduino'nun kullanıcı dostu programlama arayüzü ve genişletilebilir yapıları, hızlı prototipleme ve iteratif tasarım süreçleri için idealdir.

5.1.2. Zorluklar ve Tartışma Noktaları:

Side-stick hareketlerinin doğru bir şekilde algılanması ve aktarılması, simülasyonun gerçekçiliği için kritiktir. Potansiyometrelerin ve Arduino'nun hassasiyeti bu noktada önemlidir.

Farklı bileşenlerin (side-stick, potansiyometreler, servolar vb.) sorunsuz bir şekilde bir araya getirilmesi ve çalıştırılması, teknik zorluklar ve uyumluluk sorunlarına neden olma riski taşımaktadır.

Simülasyon standının sürekli ve yoğun kullanımlarda dayanıklılığını ve güvenilirliğini koruyabilmesi için kaliteli malzemelerin ve bileşenlerin kullanılması önemlidir. Bu noktada, side-stick ve Arduino kullanarak simülasyon standı oluşturma konsepti, simülasyon teknolojilerinin daha erişilebilir, esnek ve özelleştirilebilir hale getirilmesine olanak tanımaktadır. Ancak, bu yaklaşımın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için teknik detaylara, entegrasyon zorluklarına ve güvenilirlik gereksinimlerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu tartışma, side-stick ve Arduino tabanlı simülasyon standı oluşturma konseptinin potansiyelini ve bu alandaki gelişmelerin önemini vurgulamaktadır.

5.2. Sonuç ve Öneriler

Buradaki en önemli sonuç uçak üzerinde kullanılmış ve ömrünü doldurmuş bir parçanın değerlendirilebileceği; iş hayatı öncesinde öğrencilerin, teknisyen adaylarının, mühendis adaylarının gerçek uçak parçalarını eğitim materyali olarak kullanabilmeleridir. Bu parça özelinde değil çoğu kumanda yüzeyinin ve hava aracı parçasının kullanımı mümkün olmaktadır.

Ölçüm kriteri olarak force gauge ile gerçekleştirilen ölçümlerde doğrulamasını yaptığımız joystick ile side-stick arasındaki kuvvet farkını matematiksel olarak gösterilmiştir. Joystick ölçümü 25in/lb iken ve kuvvet ile orantılı değişmezken side-stick ile ölçtüğümüzde 40in/lb ve kuvvet hızlandıkça ve değiştikçe artan bir kuvvet ile karşılaşmıştır. Gradyan bölgelerinde 55 in/lb olarak ölçülmüştür.

Side-stick ve Arduino'nun bir araya getirilmesiyle oluşturulan simülasyon stantları, kullanıcı dostu ve ekonomik çözümler sunarak simülasyon teknolojilerinin daha geniş kitlelere ulaşmasını sağlamaktadır. Bu projeler, özellikle özelleştirilebilirlik ve esneklik açısından büyük avantajlar sunmaktadır. Bu da çeşitli uygulama alanlarında daha fazla kullanılabilirlik sağlamaktadır. Side-stick hareketlerinin doğru bir şekilde algılanması ve aktarılması gibi teknik zorlukların yanı sıra Arduino'nun hassas bir şekilde programlanması gerekliliği, bu projelerin başarısı için kritik öneme sahiptir.

Bu çalışma, Airbus'a ait side-stick kontrolcüsünün mekanik ve elektronik bileşenlerinin detaylı bir şekilde incelenmesi ve Arduino platformu kullanılarak bir simülasyon standı oluşturulmasını içermektedir. İlk aşamalarda, side-stick'in hareket aralığı, hassasiyeti ve tepkime süresi gibi parametreler test edilmiş ve ölçülmüştür. Bu ölçümler, side-stick'in uçuş kontrol yüzeylerine nasıl komut verdiğini anlamak için temel oluşturmuştur. Entegrasyon sırasında yapılan ölçümler, side-stick'in FCC ile doğrudan bağlantı kurduğunu ve uçuş güvenliği ile sistem performansı açısından kritik bir rol oynadığını göstermiştir.

Projede, potansiyometreler kullanılarak side-stick hareketlerinin hassas elektrik sinyallerine dönüştürülmesi sağlanmış ve bu sinyaller Arduino platformuna iletilmiştir. Arduino, bu sinyalleri dijital komutlara dönüştürerek servo motorları kontrol etmiş ve model uçağın kontrol yüzeylerini doğru bir şekilde hareket ettirmiştir. Bu süreç, side-stick'in x, y ve z eksenlerindeki hareketlerini hassas bir şekilde izlemeyi ve uçuş kontrol yüzeylerine aktarmayı mümkün kılmıştır. Bu entegrasyon, uçuş kontrol sistemlerinin çalışma prensiplerini anlamak ve eğitim amaçlı kullanmak için etkili bir yöntem sunmaktadır.

Simülasyon standının kurulumu ve test edilmesi sırasında, side-stick kumandasının hareketlerinin doğru bir şekilde algılanıp model uçağın kontrol yüzeylerine aktarıldığı gözlemlenmiştir. Bu sistem, side-stick'in gerçek uçuş koşullarında nasıl çalıştığını simüle ederek pilot komutlarının uçuş kontrol yüzeylerine nasıl aktarıldığını göstermiştir. Böylece, havacılık mühendisliği öğrencileri ve profesyonelleri için değerli bir eğitim aracı olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, side-stick kumandasının uçuş kontrol bilgisayarları ile uyumlu bir şekilde çalışabildiği ve potansiyometre, Arduino ve servo motorlar kullanılarak model uçak üzerinde başarıyla entegre edilebildiği gösterilmiştir. Bu proje, simülasyon teknolojilerinin daha erişilebilir, esnek ve özelleştirilebilir hale getirilmesine olanak tanımaktadır. Ancak, başarılı bir uygulama için teknik detaylara, entegrasyon zorluklarına ve güvenilirlik gereksinimlerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Gelecekte, bu tür projelerin devam ettirilmesi ve simülasyon teknolojilerinin sürekli olarak geliştirilmesi, eğitim ve araştırma alanlarında önemli katkılar sağlayacaktır. Bu proje, hem eğitim hem

de pratik uygulamalar için önemli bir köprü oluşturarak, teori ile uygulama arasındaki boşluğu kapatmayı hedeflemektedir.

Kalibrasyon ve test süreçleri, eğitim ve kullanıcı deneyimi, yedek parça ve bakım, güncelleme ve iyileştirme ve kullanıcı geri bildirimleri dikkate alınması gerekmektedir. Side-stick, potansiyometreler ve servolar arasındaki bağlantıların ve veri akışının doğru bir şekilde çalıştığından emin olmak için düzenli kalibrasyon ve test süreçleri uygulanmalıdır. Kullanıcıların simülasyon standını etkili bir şekilde kullanabilmesi için eğitim materyalleri, kullanıcı kılavuzları ve destek dokümantasyonları oluşturulmalıdır.

Sürekli ve yoğun kullanımlarda olası arızaları ve aşınmaları önlemek için yedek parça stoku yapılmalı ve periyodik bakım rutinleri uygulanmalıdır. Teknolojinin hızla ilerlediği bir ortamda, standın performansını ve özelliklerini güncellemek için periyodik olarak iyileştirme ve yenilik süreçleri planlanmalıdır. Kullanıcıların geri bildirimleri ve deneyimleri, standın tasarımı, işlevselliği ve performansı üzerinde değerli bilgiler sağlamaktadır. Bu nedenle, kullanıcıların geri bildirimlerini almak ve değerlendirmek önem arz etmektedir.

Sonuç olarak, side-stick ve Arduino kullanarak simülasyon standı oluşturma konsepti, simülasyon teknolojilerinin gelişimine ve yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır. Ancak, bu yaklaşımın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için teknik detaylara, kullanıcı ihtiyaçlarına ve sürekli iyileştirme süreçlerine dikkat edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

1. Fellah, K., Guiatni, M., Ournid, A. K., Boulahlib, M. A. (2016). Fuzzy-PID side-stick force control for flight simulation. **The Aeronautical Journal**, **120**(1227), 845-872.
2. Tselegkaridis, S., Sapounidis, T. (2021). Simulators in Educational Robotics: A review. **Education Sciences**, **11**(1), 11.
3. Bell, H. H., Waag, W. L. (1998). Evaluating the effectiveness of flight simulators for training combat skills: A review. **The International Journal of Aviation Psychology**, **8**(3), 223-242.
4. Bell, H. H., Waag, W. L. (2009). *International Journal of Aviation Psychology*, **8**(3), 223-242.
5. Farmer, E., Rooij, J.V., Riemersma, J., Jorna, P. (1999). *Handbook of Simulator-Based Training* (1st ed.). Routledge.
6. Basdogan, C., Sedef, M., Harders, M., Wesarg, S. (2007). VR-based simulators for training in minimally invasive surgery. **IEEE Computer Graphics and Applications**, **27**(2), 54-66.
7. Aguilar, G. P., Binet, L., Rakotomamonjy, T. (2019, July). Design methodology of force feedback laws for active side stick interface. **In World Haptics Conference**.
8. Samia, H., Khan, S., Lawrence, J., Delaney, C. P. (2013). Simulation and its role in training. **Clinics in colon and rectal surgery**, **26**(01), 047-055.
9. Hancock, P. A., Vincenzi, D. A., Wise, J.A., Mouloua, M. (2008). *Human Factors in Simulation and Training* (1st ed.). CRC Press.
10. McLean, D. (1999). Aircraft flight control systems. **The Aeronautical Journal**, **103**(1021), 159-166.
11. Hosman, R. J., Benard, B., Fourquet, H. (1990, November). Active and passive side stick controllers in manual aircraft control. **IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics Conference Proceedings** (pp. 527-529). IEEE.

12. Bailey, JR, A. (1963). Development of a Side-Stick Controller for Aerospace Vehicles. **In Testing of Manned Flight Systems Conference** (p. 1806).
13. McLean, D. (2003). Automatic flight control systems. **Measurement and Control**, 36(6), 172-175.
14. Dechow, M., Nurcombe, C. A. H. (2005). Aircraft environmental control systems. **Airquality in Airplane Cabin Sandsimilaren Closed Spaces**, 3-24.
15. Hegg, J. W., Smith, M. P., Yount, L. (1992, October). Sidestick controllers for advanced aircraft cockpits. In [1992] Proceedings **IEEE/AIAA 11th Digital Avionics Systems Conference** (pp. 491-499).
16. Summers, L. G., Shannon, J. H., White, T. R., Shiner, R. J. (1987). Fly-by-wire sidestick controller evaluation (No. 871761). **SAE Technical Paper**.
17. Corps, S. G. (1986). Airbus A320 Side Stick and FlybyWire—An Update. **SAE Transactions**, 1263-1275.
18. Hegg, J. W., Smith, M. P., Yount, L., Todd, J. (1994, October). Features of active sidestick controllers. **In AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference. 13th DASC** (pp. 305-308). IEEE.
19. Pallett IEng E. H. J., Msteps Coyle S., Automatic Flight Control, 1993.
20. Çetiner A., Uçuş Kontrol Teknolojisinin Geleceği, UTED, Temmuz 2004.
21. Tischler, M. B. (1996). Advances in aircraft flight control. crcpress.
22. Alford, L. D. (2004). Fly-by-wire T & E challenge [aircraft test pilot handling compensation]. **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine**, 19(2), 3-7.
23. Kim, B. S., Calise, A. J. (1997). Non linear flight control using neural networks. **Journal of Guidance, Control, and Dynamics**, 20(1), 26-33.
24. Collinsion R.P.G., Introduction to Avionics, 1996

25. De Lucena, S. E., Suzuki, E. Y. (2007, May). Electro-hydraulic actuator tester for fly-by-wire aircrafts. In 2007 **IEEE Instrumentation & Measurement Technology Conference IMTC 2007** (pp. 1-3). IEEE.
26. Bağış, A., Konar, M., (2008). Elektronik Uçuş Kontrol Sistemleri. **VII. Havacılık Sempozyumu (HaSeM'08)** (pp.155-159). Kayseri, Turkey
27. Aguilar, G. P., Binet, L., Rakotomamonjy, T. (2019, July). Design methodology of force feed backlaws for active sidestick interface. **In World Haptics Conference.**
28. Alford, L. D. (2004). Fly-by-wire T & E challenge [aircraft test pilot handling compensation]. **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine**, 19(2), 3-7.
29. Havelsan, (2024). Havelsan Uçuş Simulatörleri (Web sayfası: <https://www.havelsan.com.tr/sektorler/egitim-ve-simulasyon/sivil-havacilik/havelsan-ucus-simulatorleri>) (Erişim tarih: Haziran 2024).
30. Doğan, A., (2023). Yerli Test Platformları (Web sayfası: <https://www.aa.com.tr/tr/savunma-sanayisi/yerli-test-platformlari-savunma-sanayisinde-uretime-hiz-kazandiracak/2387258>) (Erişim tarih: Mayıs 2024).
31. AA, (2018). THY'nin yerli uçuş simülatörü hizmete alındı. (Web sayfası: <https://www.aa.com.tr/tr/sirkethaberleri/ulasim/thynin-yerli-ucus-simulatoru-hizmete-alindi-/646485>) (Erişim tarih: Haziran 2024).
32. Baykar (2024). Simulatör Sistemi. (Web sayfası: <https://baykartech.com/tr/simulator-sistemi/>) (Erişim tarih: Haziran 2024).
33. Hayden, S. (2015) Microsoft Flight Simülatör. (Web sayfası: <https://www.roadtovr.com/flyinside-fsx-vr-plugin-microsoft-flight-simulator-x-passes-kickstarter-goal-first-week/>) (Erişim tarih: Mayıs 2024).
34. Airteamimages (2024). Boeing 737-330 Lufthansa D-ABEH (Web sayfası: <https://www.airteamimages.com/boeing-737-D-ABEH-lufthansa-255269>) (Erişim tarih: Temmuz 2024).

35. Hilmi, A. (2023) Uçuş kontrol yüzeyleri, (Web sayfası: **(<https://medium.com/@hillmi/u%C3%A7u%C5%9F-kontrol-y%C3%BCzeyleri%CC%87-3478ac5b2dbf>)** (Erişim tarih: Haziran 2024).
36. Aviation Services, (2017). How does the control sidestick in Airbus aircraft work? (Web sayfası: **(<https://an.aero/how-does-the-control-sidestick-in-airbus-aircraft-work/>)** (Erişim tarih: Haziran 2024).



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Hüseyin GÜLHAN

Uyruğu: Türkiye (T.C)

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durum:

e-mail:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Havacılık Elektrik Ve Elektronik	2024
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Uçak Elektrik- Elektronik	2020
Lise	Fatih Anadolu Teknik Lisesi, Sakarya	2013

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2022-Halen	Türk Havacılık Ve Uzay Sanayii (TUSAŞ)	Uçuş Hattı Helikopter Bakım Teknisyeni
2018-2022	Kocasinan Belediyesi	Havacılık Eğitmeni
2013-2017	Elektrovet Elektrik Otomasyon	Teknik Servis Sorumlusu

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR