



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



UÇAKLARDA TEKER-YERDE SİNYALİNİN SENSOR FÜZYONU VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE ANALİZİ

EMRAH ATAÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekatronik Mühendisliği

Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Gökhan GÖKMEN

İSTANBUL, 2022



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



UÇAKLARDA TEKER-YERDE SİNYALİNİN SENSOR FÜZYONU VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE ANALİZİ

EMRAH ATAÇ

523518013

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekatronik Mühendisliği

Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Gökhan GÖKMEN

İSTANBUL, 2022

MARMARA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Emrah ATAÇ'ın
“Uçaklarda Teker-Yerde Sinyalinin Sensor Füzyonu Ve Makine Öğrenmesi İle Analizi”
başlıklı tez çalışması, tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı
bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Adı SOYADI (Danışman)
Marmara Üniversitesi(İMZA).....

Doç.Dr. Adı SOYADI (Üye)
Marmara Üniversitesi(İMZA).....

Dr. Öğr. Üyesi Adı SOYADI (Üye)
Marmara Üniversitesi(İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararı ile Emrah ATAÇ'ın Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Mekatronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü Prof.
Dr. Adı SOYADI

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yol gösterici oldukları için, sundukları katkılar için danışman hocam Prof. Dr. Gökhan GÖKMEN'e en içten saygılarımı ve şükranlarımı; tez konumu belirlediğim ilk zamanlardan beri bana desteklerini esirgemeyen aileme ve iş arkadaşlarıma da teşekkürlerimi sunarım



İçindekiler Tablosu

1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM	4
2.1. İniş Takımı	4
2.1.1. Fren sistemleri	14
2.1.2. İniş Takımı Açma Kapama sistemleri	14
2.1.3. Dümen Sistemleri	15
2.2. WoW Sinyali Kullanan Diğer Sistemlerin Bazıları	16
2.2.1. Silah Sistemleri	16
2.2.2. Radar Sistemleri	16
2.2.3. İtke tersleyiciler	16
2.2.4. Kanopiler	17
2.3. Makine Öğrenmesi	17
2.3.1. Lojistik Bağlanım	19
2.3.2. Yapay Sinir Ağları	21
2.4. Fiziksel Titreşim	22
2.5. Sensor Füzyonu	24
2.6. Kalman Filtresi	27
2.7. Hilbert Dönüşümü	28
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
3.1. Titreşim ve Açık Verilerin elde edilmesi	31
3.2. Verilerin İşlenmesi	40
4. SONUÇ	48
5. KAYNAKÇA	51

ÖZET

UÇAKLARDA TEKER-YERDE SİNYALİNİN SENSOR FÜZYONU VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE ANALİZİ

Bu tez çalışmasında; hava araçlarında önemli yeri olan Teker-Yerde (İngilizcesi: Weight on Wheel - WoW) fonksiyonunun makine öğrenmesi yöntemleriyle gerçekleştirilmesi irdelenmiştir. Bu amaçla ivme, açı ve titreşim sensörlerinin veri füzyonu yöntemleriyle birleştirilerek veri seti oluşturulmuş ve makine öğrenmesi (İngilizcesi: Machine Learning - ML) yöntemleri eğitilerek fonksiyon gerçekleştirilmiştir. Çıkan sonuçlar değerlendirilerek doğru ve gürbüz şekilde WoW fonksiyonunun üretilebilirliği araştırılmıştır.

Hava aracının havada mı yerde mi olduğunu belirleyen kritik sistemin temeli WoW işlevidir. Uçak yerde iken iniş takımlarının (İngilizcesi: Landing Gear - LG) hata ile kapanmasını engellemek, askeri uçaklarda silah sistemlerinin yanlışlıkla çalıştırılmamasını sağlamak gibi çeşitli hata senaryolarında önemli rol oynar. Genel olarak, WoW sinyali, çeşitli kaynaklardan sensörlerden toplanır ve ana bilgisayar üzerinde yorumlanarak fonksiyon gerçekleştirilir [1].

Uçak, havada iken ya da yerde sabitken, manevralar yaparken veya motor itkisi değiştiğinde iniş takımına etki eden kuvvetlerin yönü ve miktarı değişir. Bu, dikme üzerinde çeşitli titreşimlerin oluşmasına neden olur. Farklı koşullarda iniş takımı dikmesinde meydana gelen titreşimlerin modu ve genliği değişeceğinden farklı veri profilleri açığa çıkar. Bu çalışmada, RC (Radio or Remote Controlled) model uçak olan Talon T38 üzerinden titreşim ivme ve açı gibi veriler elde edildi. Çeşitli füzyon teknikleri ile birleştirilen veriler, seçilen makine öğrenmesi yöntemi bu verilerle eğitilerek tekerin yerde mi havada mı olduğunun kararı verilmeye çalışıldı.

Model uçağın, toplanan tüm verileri içeren 3026 satır veri seti oluşturuldu. Her bir satır, beşer adet sağ ve sol iniş takımlarından gelen anlık titreşim verilerini ve x/y/z eksenlerine göre açı verilerini ihtiva etmektedir. Bu veri seti kullanılarak lojistik bağlanım (regresyon) yöntemi ile WoW fonksiyonu gerçekleştirilmeye çalışıldı. Sonuç olarak, bir operasyon senaryosu (%20'luk motor itkisi – teker yerde 1500 satır veri ve havada 1500 satır veri olacak şekilde) çalışıldı ve veri setinin %75'lik kısmı ile eğitim gerçekleştirilerek 0,997 gibi bir doğrulukta WoW fonksiyonu başarıldı.

Anahtar Kelimeler: Teker-Yerde, WoW, İniş takımları, Titreşim, Makine Öğrenmesi, Sensör Füzyonu

ABSTRACT

ANALYSIS OF WEIGHT-ON-WHEEL SIGNAL IN AIRCRAFT WITH SENSOR FUSION AND MACHINE LEARNING

In this thesis study; The realization of the Weight on Wheel (WoW) function, which has an important place in air vehicles, with machine learning methods has been examined. For this purpose, a data set was created by combining acceleration, angle and vibration sensors with data fusion methods and machine learning (ML) methods were trained and the function was realized. The results were evaluated and the producibility of accurate and vigorous WoW function was investigated.

The WoW function is the basis of the critical system that determines whether the aircraft is in the air or on the ground. It plays an important role in various fault scenarios, such as preventing the landing gear (LG) from closing while the aircraft is on the ground, ensuring that the weapon systems in military aircraft are not operated accidentally. In general, the WoW signal is collected from sensors from various sources and interpreted on the host computer, performing the function [1].

When the aircraft is in the air or stationary on the ground, when maneuvering or when the engine thrust changes, the direction and amount of forces acting on the landing gear changes. This causes the formation of various vibrations on the strut. Different data profiles are revealed, as the mode and amplitude of the vibrations that occur in the landing gear strut under different conditions vary. In this study, data such as vibration acceleration and angle were obtained from Talon T38, an RC (Radio or Remote Controlled) model aircraft. The selected machine learning method were trained with the data, which was combined with various fusion techniques, to decide whether the wheel was on the ground or in the air.

A dataset of 3026 rows was created, which included all the data collected from the model aircraft. Each row contains instantaneous vibration data from five right and left landing gear and angle data according to the x/y/z axes. Using this data set, the WoW function was tried to be realized with the Logistic Regression method. As a result, an operational scenario was studied (20% engine thrust – 1500 rows of data in the single location and 1500 rows of data in the air) and training was performed with 75% of the data set, achieving a WoW signal with an accuracy of 0.997.

Keywords: Weight-on-Wheel, WoW, Landing gear, Vibration, Machine Learning, Sensor Fusion

SEMBOLLER/SYMBOLS

t : Zaman (s)

T : Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)

w : Nöronlar Arası Bağlantı Ağırlığı

σ : Standart Sapma

e : Euler Sayısı



KISALTMALAR/ABBREVIATIONS

ABS	: Anti-Blockage System
ADC	: Analog Dijital Çevirici – Analog Digital Converter
AIAA	: American Institute of Aeronautics and Astronautics
ANN	: Artificial Neural Network – Yapay sinir ağları
ASS	: Anti-Skid System
CAD	: Computer Aided Design – Bilgisayar Destekli Tasarım
ÇK	: Çok küçük
DAC	: Digital Analog Converter – Dijital Analog Çevirici
I2C	: The Inter-Integrated Circuit
k-NN	: saf Bayes (NB), k-en yakın komşular
LDA	: Doğrusal diskriminant analizi
LG	: Landing Gear – iniş takımı
Mah	: Mili amper saat
ML	: Machine Learning – Makine Öğrenmesi
ms	: Mili saniye
NG	: Negatif
OT	: Orta
PID	: Proportional Integral Derivative – Oransal İntegral Türev
SAE	: Society of Automobile Engineers – Otomobil Mühendisleri Derneği
SCL	: Serial Clock – Seri Saat
SDA	: Serial Data – Seri Veri
SPI	: Serial Peripheral Interface – Seri Çevresel Arayüz
SPS	: Sample Per Second – Saniye Başına Örnek
SVM	: Destek vektör makineleri
YSA	: Yapay Sinir Ağları

USB : Universal Serial Bus

VNC : Virtual Network Computing

WoW : Weight on Wheel – Teker Yerde



ŞEKİL

Şekil 1: Uçak iniş takımı Single Main ve Quadricycle düzeni [9].....	8
Şekil 2: Uçak iniş takımı Tail Dragger ve Bicycle düzeni [9].	9
Şekil 3: Uçak iniş takımı Tricycle ve Multi-Bogey düzeni [9].....	10
Şekil 4: Uçak iniş takımı genel düzeni.....	11
Şekil 5: Uçak iniş takımları genel parçaları.	12
Şekil 6: WoW sinyali – Mekanik limit anahtarı.....	13
Şekil 7: WoW sinyali – yaklaşım sensörü.....	13
Şekil 8: Frenlerin genel yapısı.....	14
Şekil 9: açma-kapama sistemlerinin genel yapısı.....	15
Şekil 10: Burun iniş takımı dümen sistemi yapısı.....	16
Şekil 11: Derin öğrenme, yapay zekâ ve makine öğrenmesi aralarındaki ilişkisi [14].....	17
Şekil 12: Lojistik Bağlanım ve Doğrusal Bağlanım modelleri [8].....	20
Şekil 13: Genel yapay sinir ağı modeli [17=37].	22
Şekil 14: Harmonik dalga.....	23
Şekil 15: Giriş/Çıkışa göre sınıflandırma.....	25
Şekil 16: Sensor yapılandırmasına göre sınıflandırma.....	26
Şekil 17: Ham Veriler için Füzyon Akış Şeması [53=49]	28
Şekil 18: Sinyal ve Hilbert genlik zarfı	30
Şekil 19: RC Talon T38 model uçağı.....	32
Şekil 20: a-Kutunun uçak üzerindeki yerleşimi ve b-Yakın görünümü.....	33
Şekil 21: Örnek I ² C [66].....	34
Şekil 22: Sistemin Devre Şeması	34
Şekil 23: Ham Veriler için Füzyonsuz ve Füzyonlu Akış Şeması	36
Şekil 24: Ham Veriler için Füzyon Akış Şeması	36
Şekil 25: Elde edilen CSV formatında verile	38
Şekil 26: CSV formatında verilerin alınması ve isimlendirilmesi	40
Şekil 27: Colab Gerekli yüklemeler ve kütüphaneleri dahil etme	41
Şekil 28: Kalman filtresi uygulanişı.....	41
Şekil 29: Örnek ham veri ve Kalman filtresi cevabı	42
Şekil 30: df2 verilerinde Hilbert dönüşümünün uygulanması	43
Şekil 31: Sol teker için Hilbert dönüşümünün grafik sonucu	43
Şekil 32: Hilbert dönüşümünün grafik sonucu.....	44
Şekil 33: A1 ML sonucu	45
Şekil 34: A2 ML sonucu	46
Şekil 35: A3 ML sonucu	46
Şekil 36: B1 ML sonucu.....	47

TABLO LİSTESİ

Tablo 1: Özet veriler tablosu	39
Tablo 2: WoW dağılım tablosu	39
Tablo 3: Verilerin durumu.....	40
Tablo 4: Toplu sonuç durumu	47
Tablo 5: Veri özellikleri durumu.....	47



1. GİRİŞ

Bu çalışma, hava araçlarında tekerlerin havada mı yerde mi olduğunun denetiminde kullanılan WoW fonksiyonun gürbüz şekilde üretilmesi ve yorumlanmasında yenilikçi yaklaşımlara zemin hazırlayan 5 bölümden oluşturuldu. **Giriş** bölümünde kısa genel bilgi verilirken başvuru kaynakları ve benzer çalışmalardan bahsedildi. Sonraki **Materyal Metot** bölümünde, tezi okuyanlar için uçağın gelişimi, tasarımı ve WoW sinyalinin nasıl elde edildiği anlatıldı. Alt başlıklarla iniş takımları düzenleri, parçaları ve yapısı detaylı şekillerle anlatıldı. Yine alt başlıklarda bu çalışmada kullanılacak makine öğrenmesi teknikleri, fiziksel titreşim konusu ve sensör füzyonu konuları başlangıç seviyesinde anlatıldı. Böylece okuyucunun temel olarak konu hakkında bilgi altyapısına erişmesi sağlandı. Daha sonra bu tez çalışmasında kurulan sistemler ve yapılan işlemler detaylıca anlatılırken yazılan kodlara da değinildi. Sonraki bölüm **Bulgular ve Tartışma**'da, elde edilen veriler ile ML yöntemlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilirken **Sonuç** başlığında hem çıktılar hem de tez genel manada değerlendirildi. Önerilen sistemin geleceğine ve nasıl geliştirileceğine dair yorumlar yapıldı. Son başlıkta ise kaynakça verildi. Özetle bu çalışmada: iniş takımları ve WoW sinyali hakkında bilgi verilip, sensör füzyonu ve makine öğrenmesi ile WoW'un elde edilebilirliğinin analizi yapıldı.

WoW sistemleri farklı boyutlara, şekillere ve teknolojilere sahip olabilir. Herhangi bir konfigürasyonda, kullanılan sensör devreyi tamamlar ve sinyal oluşur. Ağırlığa bağlı WoW sistemlerinde genelde iniş takımı üzerindeki -özel olarak da tork link denilen parçalardaki- değişikliği algılayan sensörler iki temel tipte sınıflandırılabilir: yakınlık sensörleri ve mekanik kontaklı anahtarlar. Bir örnekte, WoW sistemleri için Airbus tarafından önerilen konfigürasyon, iniş takımının gövdesine monte edilmiş gerinim ölçerlere dayanmaktadır [2]. Diğer ilgi çekici bir örnekte, LG sıkıştırma oranını tahmin etmek için uçak gövdesine bağlı kameralar kullanılır [3]. Sikorski tarafından, helikopter WoW tespit etmek için uzaktan Lazer Görüntüleme Tespiti ve Menzil (LIDAR) cihazlarını kullanan otomatik bir sistem tanıtılmıştır [4]. Helikopter gibi döner kanatlı uçaklar için, LG üzerindeki WoW'u belirlemek için arızaya dayanıklı bir mekanizma US10466093B2 nolu patentte önerilmiştir [5]. LG uçağının titreşim davranışını ele alan başka bir kavram [6]'da sunulmuştur.

SAE International, havacılık, otomotiv ve ticari araç endüstrilerinde 128.000'den fazla mühendis ve ilgili teknik uzmandan oluşan küresel bir dernektir. Temel yetkinliği, yaşam boyu öğrenme ve gönüllü fikir birliği standartları geliştirmektir [7].

1963 yılında iki havacılık kurumu olan American Rocket Society ve Institute of Aerospace Science'in birleşmesi ile American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)

kurulmuştur. AIAA kuruluşu, küresel olarak uygulanan aktif ve tarihsel standartları ihtiva eder. Bu havacılık ve savunma standartları, havacılık ve uzay endüstrileri için verimli ve pratik tasarımlar ve üretim süreçlerini belirler [8].

R. Kyle Schmid tarafından yazılan *The Design of Aircraft Landing Gear Volume1-2* güncel temel kitaplardan biridir. SAE tarafından 2020 yayınlanmıştır [1]. Hava alanı ve pist uyumluluğundan başlayıp teker seçimi, iniş takımlarının düzeni ve kinematik sentezini anlatıp birçok başlıktan sonra gereksinimler ve yönetmelik başlığıyla kitap son bulmaktadır.

AIAA Education Series tarafından 1988 yılında yayınlanan *Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practices* adlı kitap Norman S. Currey tarafından yazıldı [9]. İniş takımı tarihi ve türleri ile giriş yapıp, tasarım süreci, başlangıç düzeni, gereksinimler, şok emici sistemi, teker ve fren sistemleri gibi başlıklarda iniş takımı anlatılmaktadır.

tez.yok.gov.tr sitesinde, 2020 yılında Hamdi Türkmen 632978 numaralı tezinde burun iniş takımı tasarımına [10]; Sena Koçak 2021 yılında 660783 numaralı tezinde Burun iniş takımı sisteminde yalpalama (İngilizcesi: shimmy) davranışının modellenmesine ve analizine [11]; 2021 yılında Fatih Yıldız 704503 numaralı tezinde Mekanik kuvvet jeneratörü kullanılarak lineer olmayan yay ve lineer olmayan damper tasarım algoritması ve uçak iniş takımına uygulanmasına [12]; yer vermişlerdir. Benzer şekilde iniş takımı hakkında tezler mevcuttur ancak WoW sinyali üzerine bir tez bulunamamıştır.

2004 Cher Ming Tan, Kok Meng Ang, Liang Huat Tay, Tan Yeow Meng tarafından yılında yayınlanan *Investigation of weight-on-wheel switch failure in F-16 aircraft*, adlı bir araştırmada F16 uçağının WoW anahtarındaki tel kopması kaynaklı oluşan hatayı incelemektedir [13].

Franchois Chollet 2018 yılında *Deep Learning with Python* adlı kitabında, Python dilini ve Keras kütüphanesini kullanarak derin öğrenme alanını anlatır. Keras'ın mucidi ve Google AI araştırmacısı Franchois Chollet tarafından yazılan bu kitap, sezgisel açıklamalar ve pratik örnekler verir [14].

Ian Goodfellow ve arkadaşları tarafından yazılan *Deep Learning* adlı kitap, derin öğrenmede çok çeşitli konuları tanıtmaktadır. Metin, doğrusal cebir, olasılık teorisi ve bilgi teorisi, sayısal hesaplama ve makine öğrenimindeki ilgili kavramları kapsayan matematiksel ve kavramsal bir arka plan sunar. Derin ileri beslemeli ağlar, düzenlileştirme, optimizasyon algoritmaları, evrişimli ağlar, dizi modelleme ve pratik metodoloji dahil olmak üzere birçok derin öğrenme tekniklerini açıklar; ve doğal dil işleme, konuşma tanıma, bilgisayarla görme, çevrimiçi öneri sistemleri, biyoinformatik ve video oyunları gibi uygulamaları araştırır. Son olarak kitap,

doğrusal faktör modelleri, otomatik kodlayıcılar, temsili öğrenme, yapılandırılmış olasılık modelleri, Monte Carlo yöntemleri, bölümlleme işlevi, yaklaşık çıkarım ve derin üretken modeller gibi teorik konuları anlatır[15].

Aurélien Géron tarafından yazılan *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow* adlı kitap makine öğrenmesi konularında scikit-learn ve TensorFlow kütüphanelerini anlatır. Bu tez çalışmasında scikit-learn kütüphanesinden lojistik bağlamın yöntemleri kullanıldı. Yazar Aurélien Géron, somut örnekler, minimal teori ve üretime hazır iki Python çerçevesi (scikit-learn ve TensorFlow) kullanarak, akıllı sistemler oluşturmak için kavramlar ve araçlar hakkında temel bilgiler verir. Basit doğrusal regresyonla başlayan ve derin sinir ağlarına ilerleyen bir dizi teknik yönler anlatılır [16].

Quoc Viet Luong ve arkadaşları *Intelligent Control Based on a Neural Network for Aircraft Landing Gear with a Magnetorheological Damper in Different Landing Scenarios* adlı çalışmalarında, farklı iniş senaryolarını dikkate alan bir manyetik sönümleyicili uçak iniş takımları için yapay sinir ağı denetleyicisini irdeler [17]. Denetleyici, çok sayıda denemeden geçerek öğrenir ve buna bağlı olarak ana avantajı, sistem bilgisi gerektirmeden otonom olarak çalışır. Şimdiye kadar birçok kontrol algoritması deneyler veya teorik çalışmalar yoluyla incelenmiştir. Günümüzde oldukça konuşulan bir konu olan makine öğrenimi, uzun yıllardır geliştirilmekte ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır [18]. Makine öğrenimi, kendi kendine öğrenen arabalar ve robotik sistemlerde örneklerinde görüldüğü gibi, bir sistemi o sistemin bilgisi olmadan kontrol etme yeteneğini kanıtlamıştır [19-21]. Bununla birlikte, iniş takımı uygulamaları nispeten nadirdir. Geoffrey Holmes ve arkadaşları, düşürme testi deneysel verilerine dayalı olarak iniş sırasında iniş takımı yüklerini tahmin etmek için makine öğrenimi algoritmalarını kullandı[22]. Bununla birlikte, henüz, WoW sinyali tespiti için titreşim ve makine öğrenmesi yöntemlerini beraber uygulayan çalışma bulunamamıştır. Sadece US20200087002A1 numaralı patentte döner kanatlı hava araçları için titreşim sensörünün WoW için kullanımına dairdir [6].

Baojia Chen ve arkadaşları bir makalede CNC makinesinde, titreşim sinyallerini kullanarak lojistik bağlanım modeline dayanan kesici takımlara yeni bir güvenilirlik tahmini yaklaşımı önermektedir [23]. Zhuangzhuang Wang ve ekibi makalelerinde, Uçak fren sisteminde kayma önleyici sistemi (İngilizcesi: Anti-Skid System) nedeniyle doğan iniş takımı titreşimini bastırmak için, çok amaçlı model öngörücü kontrolüne dayanan bir uçak ABS kontrol yöntemi önerilmektedir. Titreşim tahmini için Kalman filtresi kullanmıştır [24].

Bu çalışma, WoW üzerine literatürde az sayıdaki çalışmalara katkı sağlayacaktır. Akıllı sensör

gibi ileri seviye çalışmalara kapı aralayacaktır. Bu sayede bir sensörün birçok amaç için (örneğin: iniş takımı açık mı kapalı mı olduğunu belirlemek ve hatta iniş takımı sağlık yönetim sistemine veri sağlamak) kullanılabilir çalışmalara temel sağlamaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. İniş Takımı

Hava araçlarının günümüze kadar gelen gelişim tarihinde Wright kardeşlerin çalışmaları en dikkat çekici adımlardan birisi olarak kabul edilir. Tasarlayıp ürettikleri araç ile motor itkisi kuvvetiyle ilk uçuşlarını 1903 yılında yapmışlardır [1]. Ancak insanoğlunun gökyüzüne olan ilgisi ve arzusu daha eski tarihlere dayandığı aşikardır. 1632 senesinin rüzgârlı bir günde Galata Kulesi'nden, Hezârfen Ahmed Çelebi, kendi tasarladığı kanatlar ile İstanbul Boğazı üzerinde 3km'den fazla süzölmüştür diğer bir deyişle uçmuştur. Bu olay, kayıtlara uçuşu başaran ilk Türk bilgini olarak geçmiştir. Uçuş hayalini gerçekleştirebildiği için ve engin bilgisinden dolayı halk arasında Hezârfen olarak anıldığı bilinmektedir [25].

Bulutsuz güzel bir günde gökyüzüne bakıldığında büyük bir ihtimalle, bir uçağın kanatları ile pervaneleri görülecektir. Günümüz teknolojisinde insansız bir hava aracı olma ihtimali artık yadsınamazken, havada asılı gibi duran veya yavaş yavaş giden uçak muhtemelen yakındaki bir havaalanına süzölen bir yolcu uçağıdır. Kompozit ya da metal kanatlarıyla uçan bu hava makinelerini bugün çok olağan karşılıyoruz. İster bir tanesini görelim ister binip yolculuk yapalım ya da hava kargoyla gelen bir paket alalım, uçaklar günlük yaşamın bir parçası durumdadır. Uçağın icadı ve geliştirilmesi, tartışmasız yirminci yüzyılın en önemli üç teknik gelişmesinden biridir - diğer ikisi elektronik devrimi (transistorlar) ve atomun gücünün serbest bırakılmasıdır [1]. Bu bağlamda uçak, yirminci yüzyılda hayatı dönüştürdü ve bu dönüşüm tüm insanlığı etkiledi.

İnsanlığın uçuş tekniklerini keşfetmesi ve çözmesi, Eski Yunan biliminden başlayarak son 2500 yılda gelişim sağladı. 1903'ün Aralık ayında, bu yasaların nihayet insanlar tarafından, havadan ağır, insan taşıyan bir makinenin havada sürekli uçuş gerçekleştirmesiyle önemli bir aşamayı başarmış oldu. 17 Aralık'ta, Orville ve Wilbur Wright, çalışmalarının ve denemelerinin sonucunda ilk başarılı uçan makineyi icat eden kişiler oldular [26].

Uçak iniş takımları ve sistemleri, zorlayıcı bir tasarım konusudur. Katlanabilir iniş takımları hem bir sistem hem de bir yapısal eleman iken başlı başına bir makinedir. İniş takımları, diğer bir deyişle alt taşıyıcı sistem (İngilizcesi: Undercarriage), hava aracını yerde iken ayakta tutar

ve destekler, çeşitli yük ve darbelerde enerjileri sönümlemesi yapar; manevra/dümen sistemi sayesinde yerdeki dönüşlere izin verir. Uçuş anında ise uçağın sürtünmesini en aza indirmek için birçok örnekte olduğu gibi takımlar uçak içerisindeki yuvaya katlanır. İniş takımları uçuş sırasında gerekli olmadığından, gereksiz bir ağırlık olarak değerlendirilir. Bu yüzden de ağırlığı düşürmek için çeşitli analizler ve değerlendirmeler yapılmalıdır. Bir uçaktaki en karmaşık ve çeşitli sistemlerden biri iniş takımlarıdır. Flight dergisindeki 1940 tarihli bir makalede “Uçağın başka hiçbir parçasında mühendislik becerisi olarak bu kadar kapsam yoktur ve başka hiçbir parçada istenen sonuca ulaşmanın bu kadar çok yolu geçmesi gerektiği ile övünemez.” şeklinde ifade edilmiştir [1]. Bu, onlarca yıl sonra bugün de geçerlidir. İniş takımları için bir uzman, malzeme metalürji, mekanizma, yapısal sistem, ısı transferi, aerodinamik ve daha pek çok konuda mühendislik disiplinlerine aşina olmalıdır. Tasarlanan uçağın ihtiyaçlarına bağlı olarak, bir iniş sistemi, uçak yapısına bağlı bir tekerlekten daha fazlasıdır; asfaltsız pistlere de iniş imkânı veren, dümen hareketlerine, diz çökme işlemine uygun, yuvaya katlanma ve daha fazla uçak operasyonuna izin veren karmaşık bir sistemdir. Bunlarla beraber iniş takımı bu işlevi yüksek güvenilirlik ve düşük ağırlıkta sağlamalıdır.

Genel manada Uçak iniş takımı işlevleri ve görevleri şöyle sıralanabilir:

- İniş takımları, uçağı yerde destekler, taksi anındaki yükleri sönümler.
- Lastikler ve şok sönümleyiciler, iniş sırasında dikey enerjiyi emer ve yer manevraları sırasında darbeleri en aza indirir.
- Frenler, yerdeyken hızı azaltır ve durdurur; park halindeyken uçağı tutar.
- Diferansiyel frenleme ve/veya dümen ile zeminde dönüş ve manevra yapmaya izin verir.
- Çeşitli ekipmanlarla, uçağın çekilmesine, krikoyla kaldırılmasına ve yere bağlanmasına izin verir.
- İniş takımı, uçuş esnasında gövde sürtünmesini en aza indirmek için katlanabilir yapıdadır.
- Katlanabilen iniş takımların için yuvada genellikle gövde sürtünmesini azaltmak için tahrikli veya tahriksiz kapılar içerir.
- İniş takımı, kalkış veya yükleme için uçağın geometrisini değiştirmek amacıyla diz çökme işlemine sahip olabilir.
- İniş takımı, manevra yapmak için tahrikli tekerlekler içerebilir.
- İniş takımı, gemilerden mancınık ile fırlatmaya izin veren ekipmanlar içerebilir

- Gemi inişlerinde ya da acil durumlarda gövdeye monteli yakalama (durdurma) kancası içerebilir [1,9,27,28].

İlk tekerlekli iniş takımları, Wright kardeşlerin Aralık 1903'teki ilk uçuşundan kısa bir süre sonra ortaya çıktı. Santos-Dumont'un "No. 14 bis" uçağında tekerlekli bir iniş takımı vardı. Bu uçak Ekim 1906'da Avrupa'da ilk uçuşunu yaptı. Bunu hızlı bir şekilde Voisin (1907), Delagrang (1907), Farman (1908), Bleriot (1908), Curtiss (1908), Cody (1908), Ellehammer (1908), McCurdy (1909), Roe (1909) ve Short (1909) izledi. Bunlardan birkaçı ilk uçuşlardı [9].

I. Dünya savaşı zamanında uçağın yapısal parçalarına bağlanan rijit elemanlarla iniş takımları uygulandı. Darbelere karşı lastik/kauçuk parçalarla kısmi şok sönümleme sağlandı. Daha sonra, II. Dünya Savaş'ına kadar geçen 21 yılda, iniş takımı tasarımı, uçak gövdesi tasarımı kadar hızlı gelişti. İniş takımları, sürekli artan uçak ağırlıklarına ve iniş hızlarına uyum sağlamak için şok emilimi gerekli hale gelirken, bu şok emici sistemler kullanılarak geri çekilebilir hale geldi [9]. Şok emici sistemlerin verimi ve çalışma kursları, darbelerin uçak yapısalına etkisini azaltmak için şok sönümleme miktarını artırmak çalışılan bir konu olmuştur.

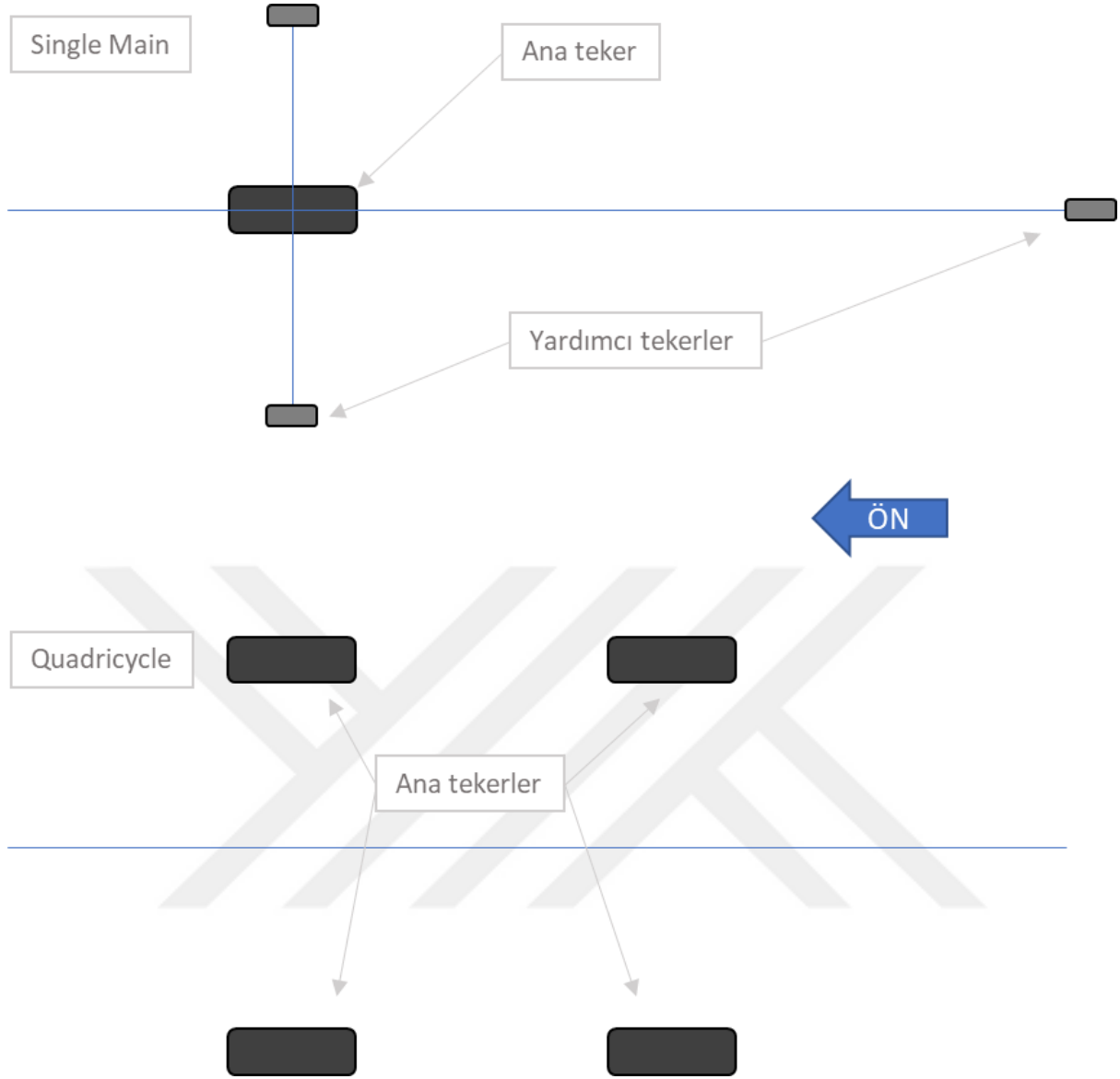
Hava araçlarının ilk zamanlarında sabit iniş takımları tercih edildi. Ancak zaman geçtikçe azami hız isteri arttı. Bu nedenle hava sürtünmelerini düşürme ihtiyacı doğdu. Yapılan çalışmalarla içeri çekilebilir ve katlanabilir iniş takımlarına sahip uçaklar bu amaçla denenmeye başlandı. İlk örnek olarak tam katlanabilir iniş takımını barındıran Dayton-Wright RB-1'dir [9]. Bu uçak 1920 Gordon Bennet Yarışına katılmak için tasarlanmıştı. İniş takımının yuvaya katlanabilmesi için, kokpitte pilotun çektiği bir mekanizma aracılığıyla yapılmıştır [1]. II. Dünya Savaşı başladığında ise neredeyse tüm operasyonel avcı ve bombardıman uçaklarının geri çekilebilir iniş takımları vardı [9].

Devam eden tarih içerisinde uçak sistemleri çeşitlendi ve gelişti. Uçak sistemleri karmaşıklaştı. Bu da iniş takımının havada mı yerde mi olduğunu, iniş takımı tam kapandı mı açıldı mı gibi durumları bilmeyi gerekli kılmıştır. Pilota bilgi vermek ve kritik sistemlerin ile fonksiyonların aktifleştirilmesi bu gerekliliğin başında gelmektedir. Bu amaçla iniş takımına çeşitli durumları takip etmek için çok sayıda sensörler eklenmektedir. WoW fonksiyonu, yani tekerlerin yere değip değmediği, bu sensörlerin bazılarından gelen sinyal ile oluşturulmaktadır. Genel olarak iniş takımı üzerindeki bir mekanik limit anahtarı veya yaklaşım sensorundan elde edilen sinyal, bazı kritik sistemlerde hatayı önlemek amacıyla hava aracının yazılımına girdi olarak verilir. Bu işlev, frenlerin etkinleştirilmesi, çeşitli radarların aktifleştirilmesi gibi bazı kritik işlemlerde kullanıldığından yüksek bir doğrulukla üretilmelidir. Yanlış anlarda bazı sistemlerin veya

fonksiyonların etkinleştirilmesi büyük kazalara yol açabilmektedir [1].

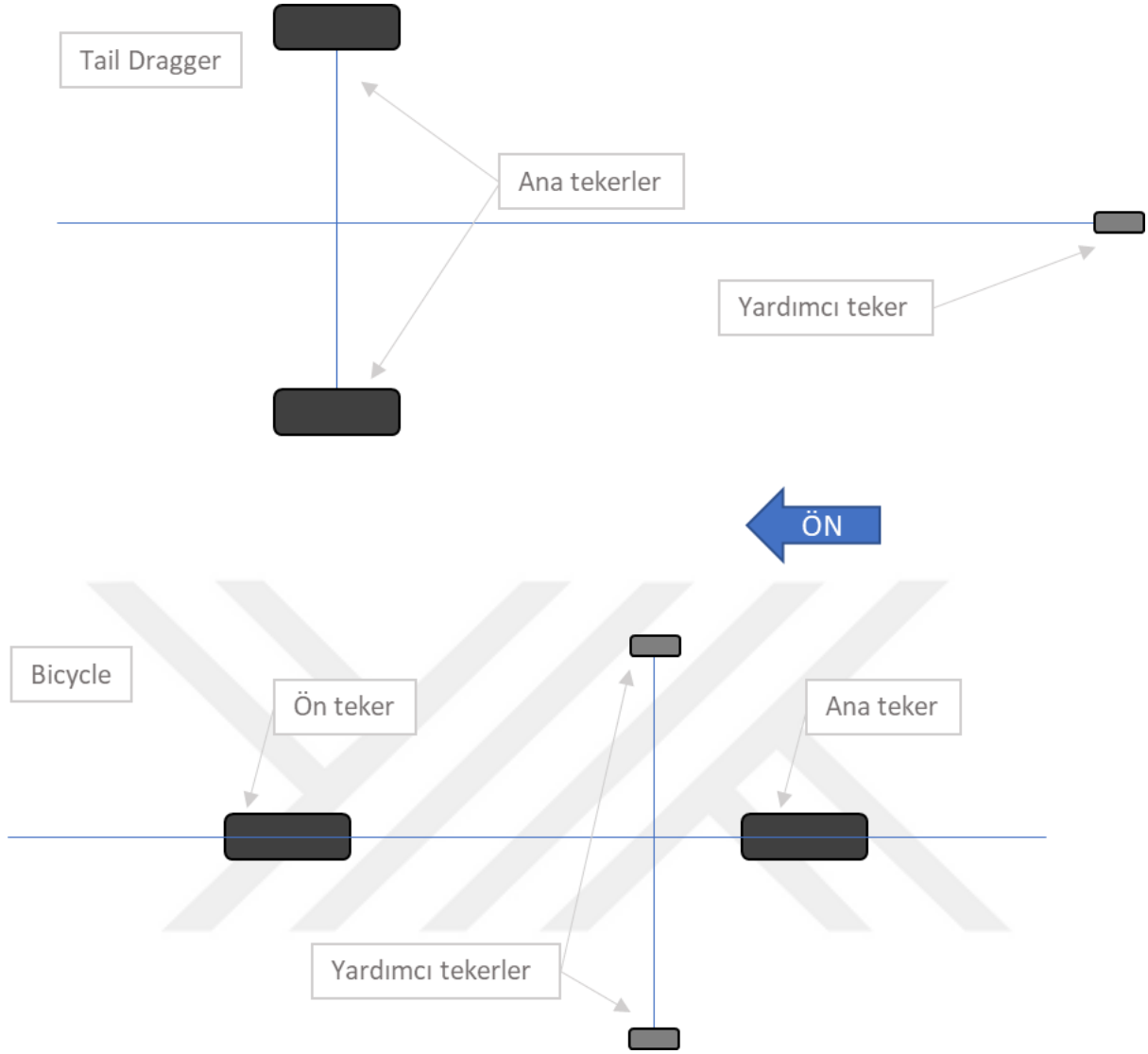
Sinyaller genel olarak iniş takımı üzerinden toplanır. İniş takımı mekanizmasına yerleştirilen ve teker yere değdiğinde fiziksel olarak tetiklenen mekanik ya da yaklaşım sensör (İngilizcesi: proximity sensor) üzerinden okunur [1]. WoW fonksiyonu, sensörlerden gelen sinyallerin (diğer ifade ile bu WoW sinyali) hava aracı bilgisayarında yorumlanarak icra edilir. Bu fonksiyon ile diğer kritik sistemler aktif edilir ya da edilmez. Bu tez çalışmasında WoW sinyali ve fonksiyonu bu şekilde ifade edilmiştir. WoW sinyalinin elde edilmesinde genel geçer yöntem, iniş takımı mekanizmasında kinematik değişikliği tespit ederek hava aracı ağırlığının tekerlekler üzerinde olduğunu algılamaktır. Hava araçlarının bir kısmında WoW sinyalini elde etmek için iniş takımındaki darbe sönümleyicilerinin sıkışma durumu takip edilir. Mekanik limit anahtarlar ya da yaklaşım sensörleri takip etme işini gerçekleştirir. Sensörlerden doğan sinyaller uçak elektronik sistemlerine (İngilizcesi: avionic systems) girdi olarak beslenir. Küçük/hafif uçaklarda ve eski uçaklarda çoğunlukla olarak limit anahtarlar tercih edilir, ancak yaklaşım sensörleri çok daha güvenli ve gürbüz çalışırlar. Algılayıcı sensor, tekerlerin yere değdiğinin tespiti için genellikle dikme üzerinde hareket eden eklem civarına bağlanır. Sensoru tetiklemek için hedef parça da karşısına bağlanır. Teker yere değince uçak ağırlığı ile mekanizma ve eklem hareket eder, hedef parça sensörü tetikler. Böylece WoW sinyali oluşur. Sensor olarak ister yaklaşım sensörü ister limit anahtarı kullanılsın, WoW gösterge hassasiyeti şok sönümleyicilerin hareketlerine direkt bağlıdır. Farklı bir örnek olarak, Airbus firmasının kargo hava aracı olarak kullanılan A400M uçağında WoW sinyallerini daha hassas elde edilmesi gerekmiştir [1]. Hassas ölçüm için A400M’de iniş takımı ile uçak üzerindeki ana bağlantı yapısı arasına, kuvvet ölçümü yapacak ara parça eklenmiştir. Bu ara parça yük ölçüm hücresi içermektedir. Böylece kuvvet ölçümü gerçekleştirilerek, şok sönümleyicisinin hareketine gerek kalmadan, WoW sinyali elde edilmiştir [29].

İniş takımları hava aracı gövdesine çeşitli düzenlerde yerleştirilir. Uçak büyüklüğüne ve kullanım yerlerine göre iniş takımları düzenleri bir diğer konudur. Aşağıdaki şekillerde bu düzenler üstten görünüş olarak temsili çizilmiştir. Tek ana iniş takımı (İngilizcesi: Single Main) düzeni, bir ana teker ve kanatlar ile kuyrukta yardımcı küçük tekerlerden oluşur. Genelde çok hafif ve yavaş planör gibi araçlarda kullanılır. Quadricycle düzeni, dört ana gruptan oluşan düzendir. Genelde kargo uçaklarında kullanılmıştır [1,9]. Şekil 1’de bu iki düzenin üstten görünüşü verilmiştir.



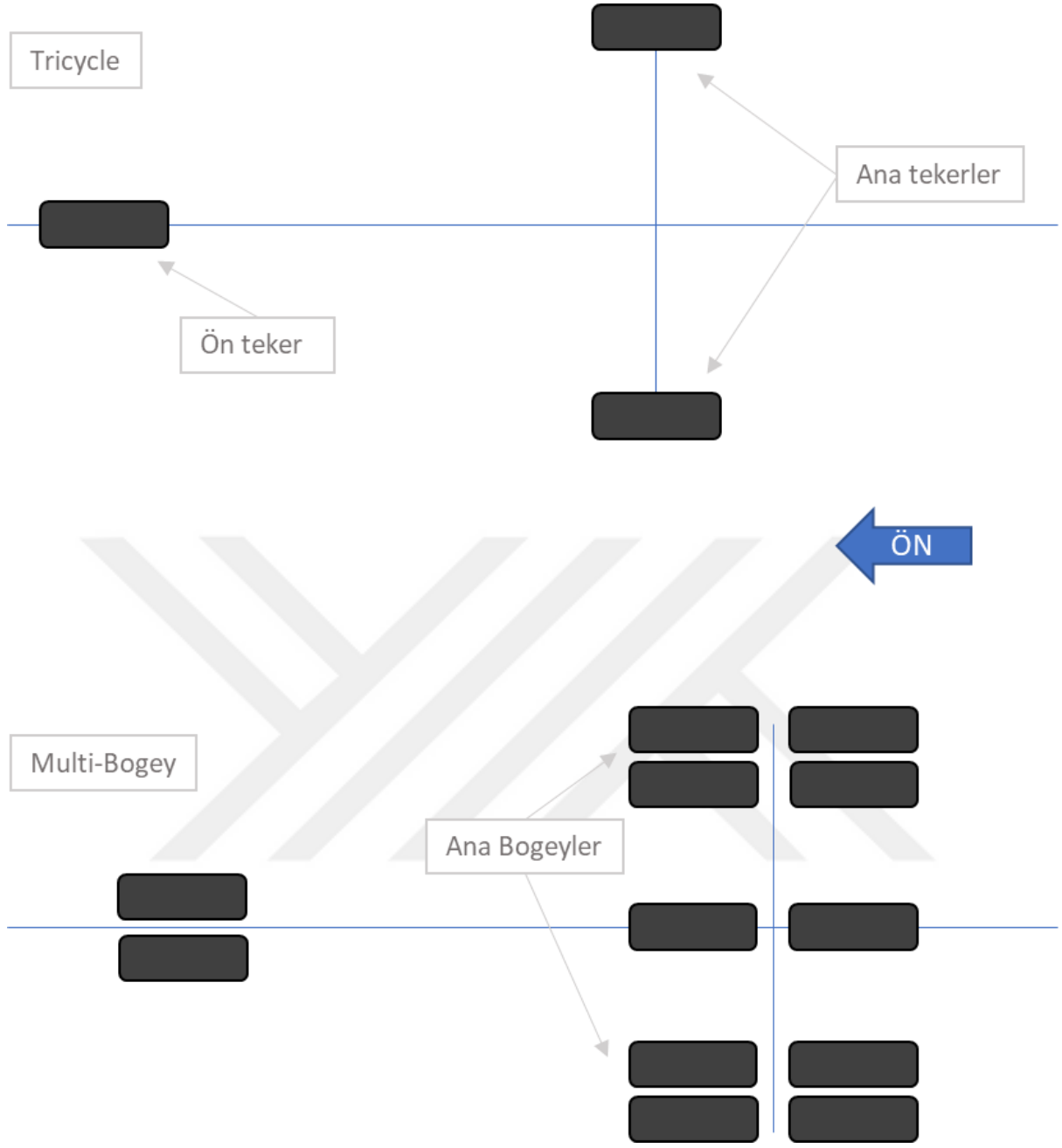
Şekil 1: Uçak iniş takımı Single Main ve Quadricycle düzeni [9].

Şekil 2’de ise Tail dragger düzeni ve Bicycle düzeni gösterilmiştir. Tail dragger düzeninde önde iki ana tekeri bulunur ve daha çok önden pervaneli hafif uçaklarda görülmektedir. Bicycle düzeni ise önlü arkalı iki ana teker içerir. Genelde uzun gövde ve uzun kanatlı uçaklarda kullanılır. Kanatlarda yardımcı küçük tekerler bulunur.



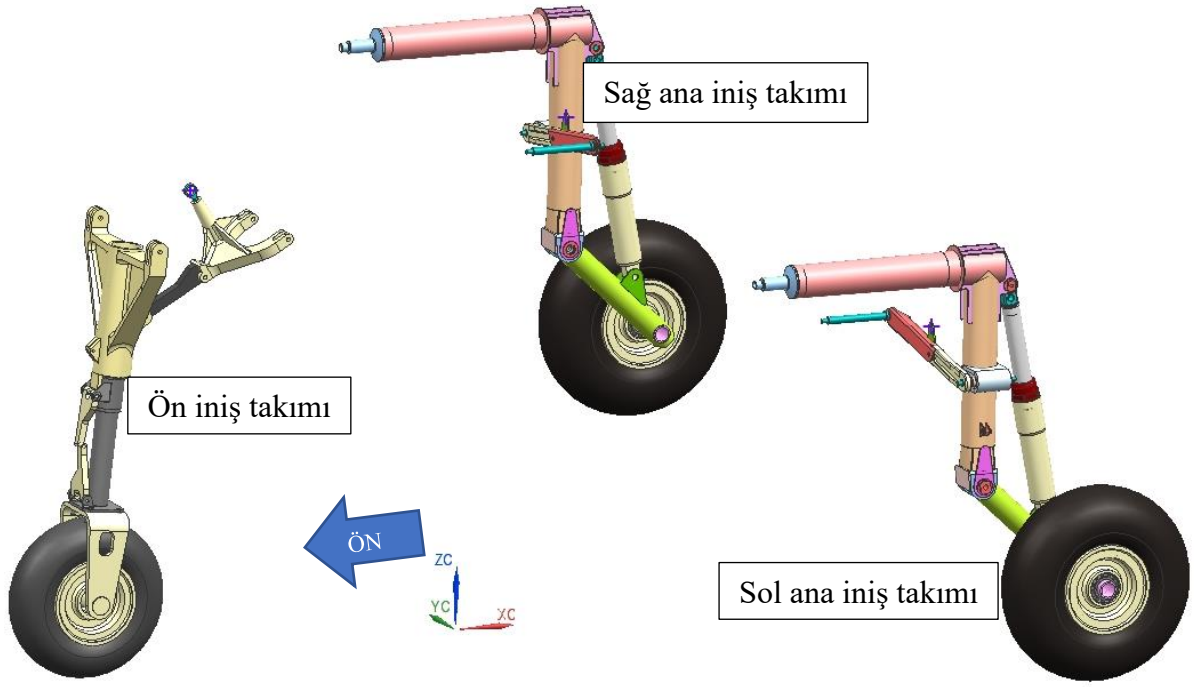
Şekil 2: Uçak iniş takımı Tail Dragger ve Bicycle düzeni [9].

Şekil 3'te en yaygın kullanılan bir düzen olan Tricycle düzeni görülmektedir. İki ana teker ve bir ön tekerden oluşmaktadır. Yerde stabil bir çalışma sağlar. Bu çalışmada kullanılan uçak da bu düzende iniş takımlarına sahiptir. Multi-Bogey düzeninde her alanda çoklu tekerler mevcuttur ve çok ağır uçaklarda tercih edilmektedir.



Şekil 3: Uçak iniş takımı Tricycle ve Multi-Bogey düzeni [9]

Şekil 4’te Tricycle düzeninde genel fonksiyonları ve görevleri yerine getirebilen bir iniş takımının genel görünüşü verilmiştir. Bu düzen yer operasyonlarında stabil bir hareket sağlar. İleri hareketlerde yalpalama diğer düzenlere göre daha azdır.

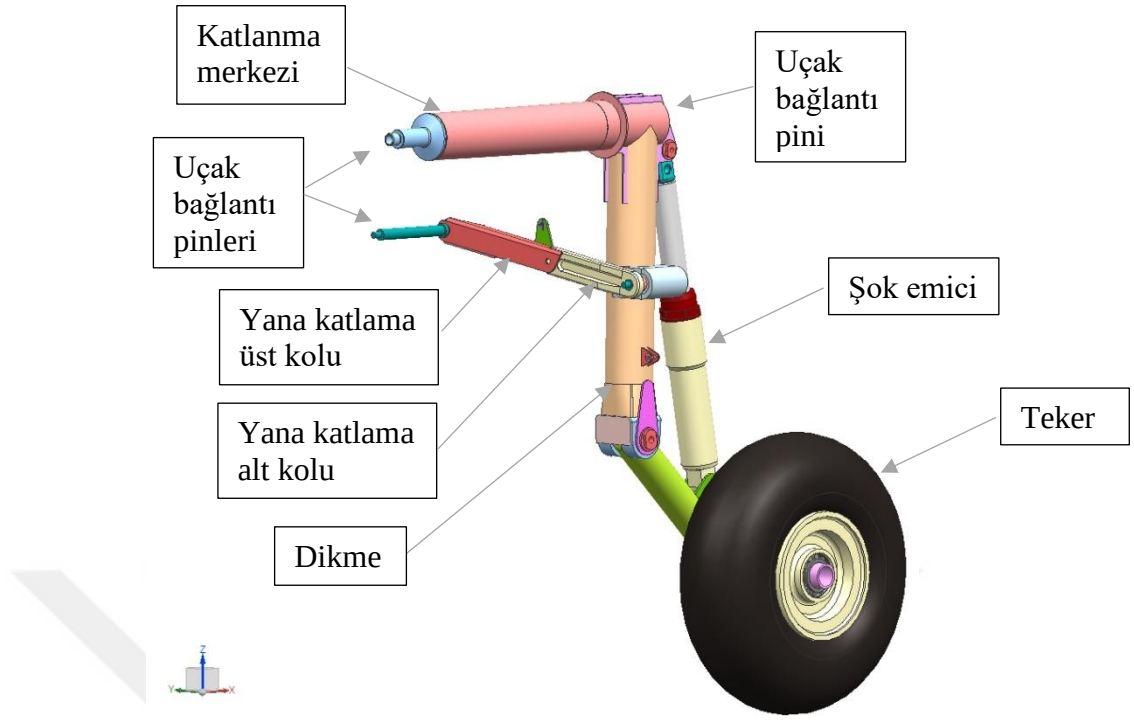


Şekil 4: Uçak iniş takımı genel düzeni.

Şekil 5’de iniş takımını meydana getiren parçalar gösterilmektedir. Uçak iniş takımını oluşturan temel elemanlar:

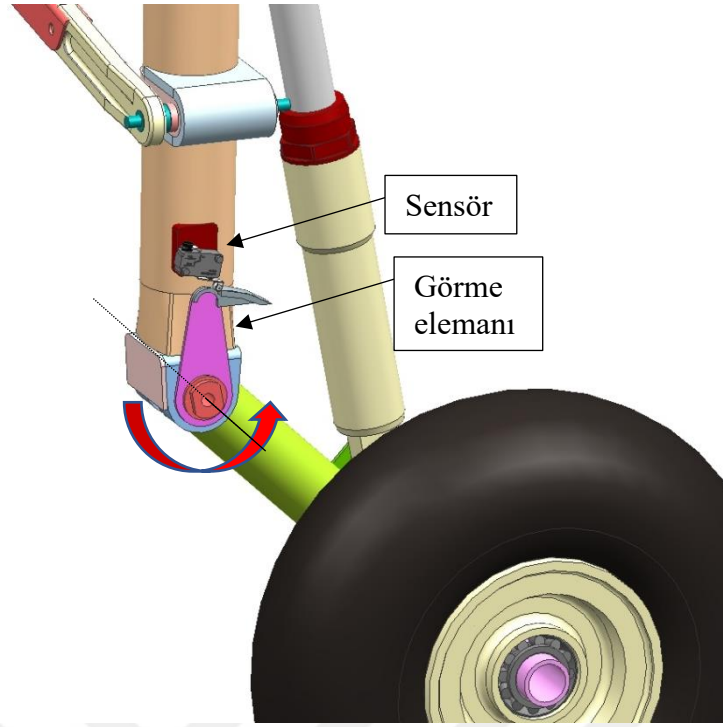
- dikme (İngilizcesi: Strut),
- açma kapama eyleyicisi,
- şok sönmleyici (İngilizcesi: Shock absorber),
- teker/jant ,
- sürüklenme destek kolu (İngilizcesi: side/drag brace)

olarak sıralanabilir [9,27].

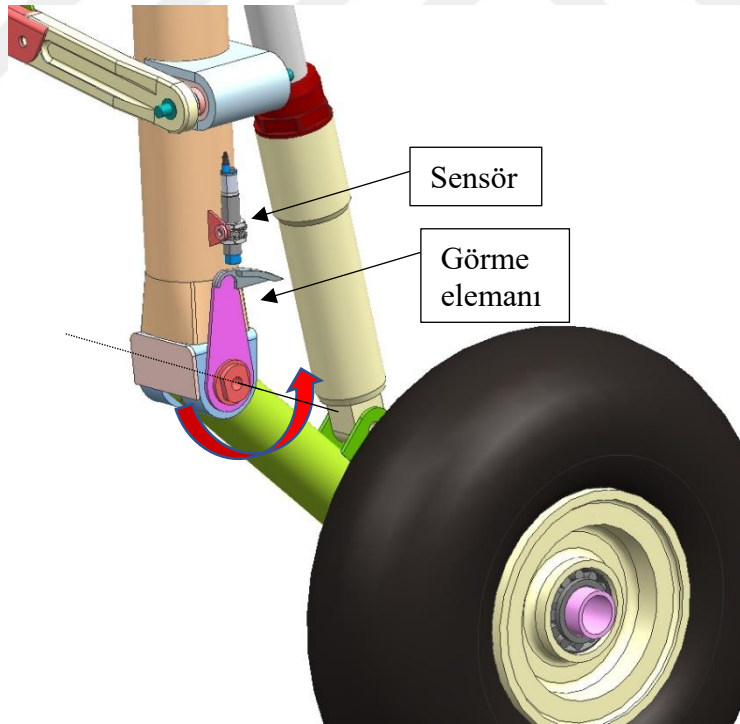


Şekil 5: Uçak iniş takımları genel parçaları.

WOW sensörünün kinematik değişimi algılamada kullanılan mekanik limit anahtarı ve yaklaşım sensörü temsili örneği sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7’de temsili gösterilmiştir. Teker yere değip şok emiciyi sıkıştırmaya başladığında sensör önündeki parça ok yönünde dönerek tetikleme prosesini gerçekleştirir.



Şekil 6: WoW sinyali – Mekanik limit anahtarı.



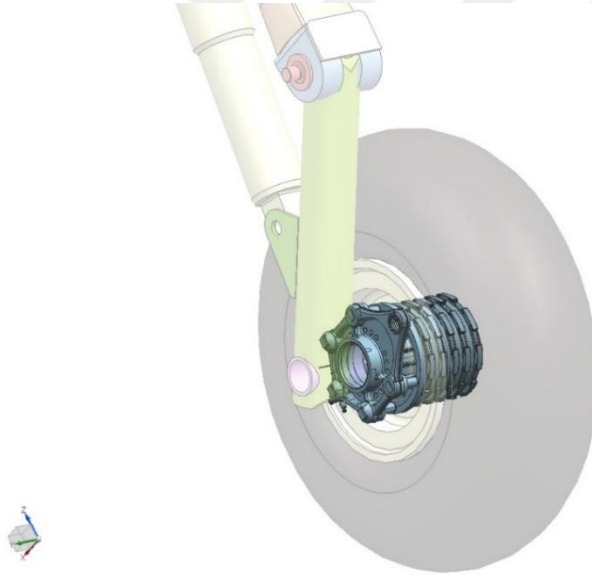
Şekil 7: WoW sinyali – yaklaşım sensörü.

Teker yere değdiğinde sensor önündeki görme elemanı ok yönünde dönerek sensorun durum değiştirmesine ve sinyal göndermesine vesile olmaktadır. Görme elemanı, yanlış tetiklemeleri

engelleyecek kadar küçük, her ağırlıkta ise sinyal göndertecek kadar büyük olmalıdır.

2.1.1. Fren sistemleri

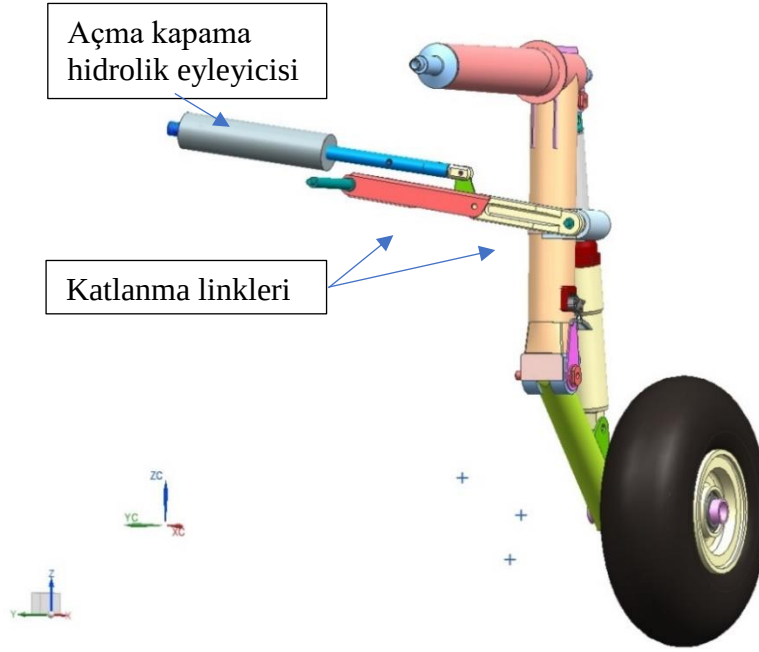
Uçağı yerde yavaşlatmaya ve durdurmaya yarayan sistemlerdir. Hidrolik ya da elektromekanik sistemlerdir ve elektronik olarak kontrol edilirler. En tipik şekli diskler ve baskı elemanlarından oluşur ve jant içine yerleştirilir. Şekil 8’de görüldüğü gibi, diskler dönen tekere bağlıdır ve buna baskı yaparak hareket engellenir. Frenler yere inip belli bir hıza düştüğünde aktifleşir. Tipik olarak WoW sinyali ve teker dönüşü kontrolcü için temel girdidir. Pilotun fren (rudder) pedallarına basması ile tekerler frenleme yapılır. Kayma önleyici (Anti-skid) denen sistemler tekerlerin tamamen kilitlenip kontrol kaybetmesi için alt bir sistemdir. Otomatik frenleme de fren sistemlerinin bir işlevidir. Kısa iniş mesafesi için pilotun görev yükünü azaltmak amacıyla kullanılır. Dönmesi kısıtlanmış bir teker inen uçağın tekerini yere ilk değdirdiğinde denge problemleri çıkartma olasılığı yüksektir. Bu yüzden ilk teker yere değme anında fren sistemi aktif değildir. Diferansiyel frenleme ile dümen işlemi de sağlayabilmektedir [9,30].



Şekil 8: Frenlerin genel yapısı

2.1.2. İniş Takımı Açma Kapama sistemleri

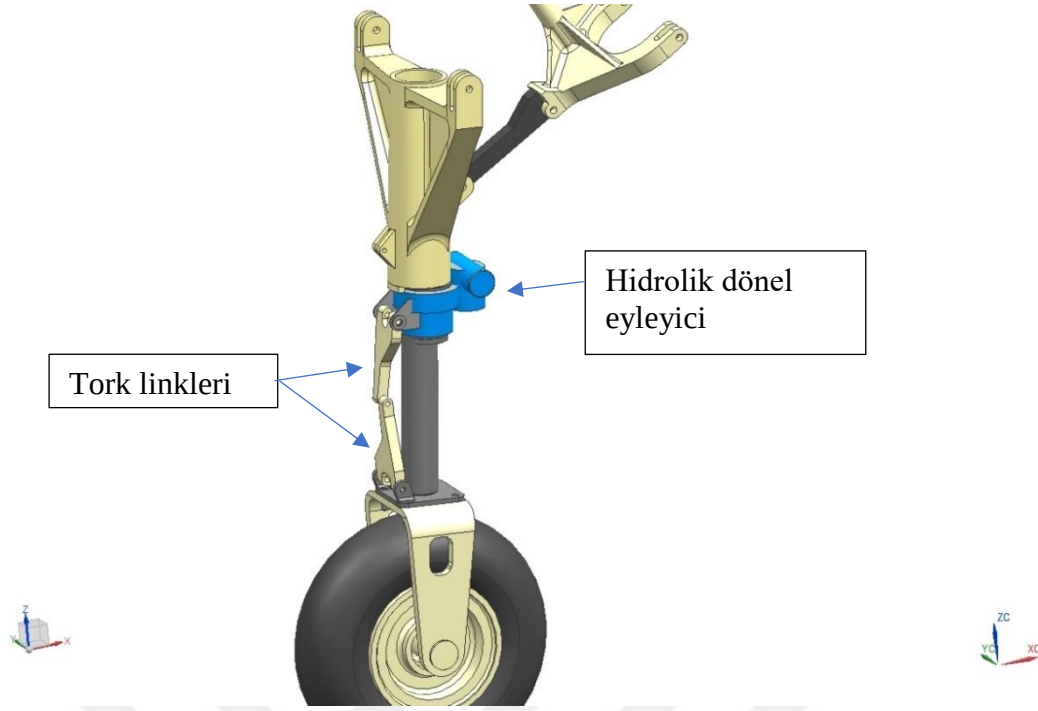
İniş takımının açılması ve kapanmasını sağlayan hidrolik ya da elektromekanik (elektrohidrostatik) sistemlerdir. Şekil 9’da gösterilmiştir. Elektronik kontrollüdür. Uçak yerde iken kapanma komutu WoW sinyali ile tamamen engellenir. Genelde yükün taşınması için side brace ya da drag brace denen kolları içerir.



Şekil 9: açma-kapama sistemlerinin genel yapısı

2.1.3. Dümen Sistemleri

Dümen sistemleri uçağın yerde iken manevra yapabilmesini sağlayan sistemdir. Hidrolik (Şekil 10'da mavi renkli parça) ya da elektromekanik itkili ve genelde elektronik kontrollüdür. Genel olarak tork linkleri aracılığıyla dümen dönüşü tekere iletilir. Belirli bir hızın altına düştüğünde kullanılabilir olmaktadır. İniş anında tekerin ilk yere değmesi anında ön teker sarhoş teker gibi davranmaktadır. WoW sinyali kontrolcüye temel girdilerden biridir.



Şekil 10: Burun iniş takımı dümen sistemi yapısı

2.2. WoW Sinyali Kullanan Diğer Sistemlerin Bazıları

2.2.1. Silah Sistemleri

Askeri uçaklarda silah mühimmat sistemleri de mevcuttur. Doğru zamanda aktif olmalıdır. WoW sinyali uçağın yerde olduğunu bildirdiği durumlarda inaktif durumdadır. Silah sistemlerinde WoW sinyali kontrolü baş girdidir.

2.2.2. Radar Sistemleri

Radar sistemleri uçaklarda çeşitli amaçlarla kullanılır. Sahip oldukları yüksek güçlü dalga yayma özellikleri nedeniyle etki alanındaki canlılara zarar verebilmektedir. Bu yüzden uçak yerde iken çalışması kısıtlanabilmektedir.

2.2.3. İtki tersleyiciler

İtkiyi kesmek ve kısmen terse çevirmek için motorların nozül kısmında olan sistemlerdir. Uçak havada iken bu sistemin çalışması ölümcül hatalara neden olur.

2.2.4. Kanopiler

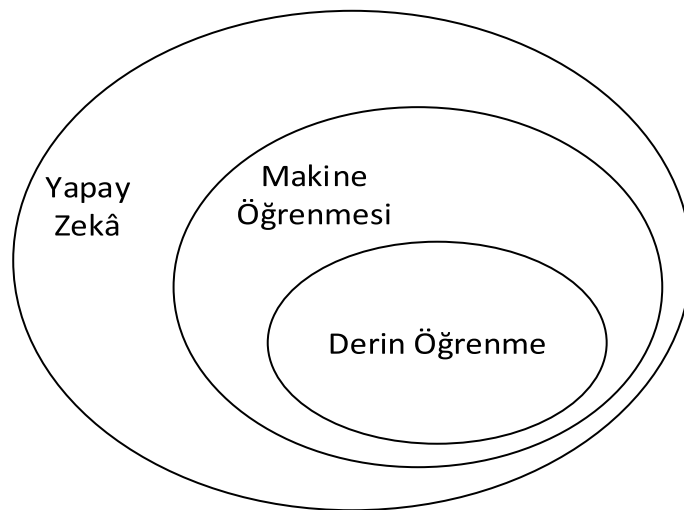
Kanopi, pilotun uçağı idare ettiğı kokpiti saran saydam çerçevedir. Bazı hafif uçaklarda ve askeri uçaklarda kullanılmaktadır. kokpite giriş kanopi açılarak sağlandığından hava iken kanopinin açılmasını engellemede WoW temel sinyal girdisidir.

2.3. Makine Öğrenmesi

Düşünebilen ve kendi kendine uygun kararlar alabilen makineler yapabilmek uzun zamandan beri bu işlerle uğraşan insanların hayallerinde yer almıştır. Son yüzyılı programlanabilen bilgisayarlar yüzyılı olarak adlandırılabilir, bu yüzyılın öncesinde ve başlarında insanlar bu makinelerin herhangi bir zekaya sahip olup olamayacaklarını merak ettiler (Lovelace, Ada – 1842). Bugün ise Yapay Zekâ (YZ) birçok uygulaması olan, aktif olarak araştırılan çokça konusu bulunan gelişen bir dalıp bilim dalına dönüşmüştür.

Yakın ve uzak gelecekte daha çok gelişeceği ön görülen YZ konusu günümüzde çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Kameralardan otomasyon sistemlerine, oyuncaklardan video oyunlara, ses görüntü tanımadan tıbbi cihazlara ve tanılara kadar geniş alanda YZ'dan yardım almaktadır[15].

Derin öğrenme, yapay zekâ ile makine öğrenmesi alanlarının arasındaki ilişki aşağıdaki Şekil 11'te [14] görölmektedir.



Şekil 11: Derin öğrenme, yapay zekâ ve makine öğrenmesi aralarındaki ilişkisi [14]

Makine öğrenimi senaryoları, öğrenici olan sistemin kullanabileceği eğitim verilerinin tipine, işlenme sırasına, algoritmaya ve öğrenme algoritmasını değerlendirmek için kullanılan test verilerine göre değişir [31]. Kendi kendine ya da gözetmen ile öğrenebilen ve yeni veriler üzerinde uygun ve doğru tahminler yapabilen makine öğrenmesi sistemleri, şu iki temelin ortak çalışmasından gelişmiştir: örüntü tanıma ve hesaplamalı öğrenme teorisi.

Sadece statik kod temelli bilgiye dayanan sistemlerin karşılaştığı zorluklar, basit girdilere basit çıktı vermekten öteye gidememesi gibi, yapay zekâ sistemlerinin ham veriden örüntüler çıkararak kendi bilgilerini elde etmede yeteneğine ihtiyaç duyduklarını ortaya koymaktadır. Bu yetenek **makine öğrenmesi** şeklinde isimlendirildi. Makine öğrenmesi, gerçek dünyadaki bilgileri içeren sorunlarla baş etmeye ve öznel görünen kararlar vermeye olanak sağladı. Makine öğrenmesi, sistemleri düz bir mantıkla kod yazarak gerçekleştirmesi yerine eğitilirler. Göreve yönelik verilen örneklerle bakarak istatistiksel örüntüleri ortaya çıkarıp görevi otomatikleştirecek kuralları ortaya koyar [14]. Örneğin basit bir makine algoritması olan lojistik bağlantı (logistic regression) hastanın kanser mi değil mi ve ameliyat yapıp yapılmaması konusunda karar verebilir. Başka basit bir makine öğrenmesi algoritması olan naive bayes ise gerçek e-mail ile spamları ayırt edebilir [15]. Bu çalışmada lojistik bağlantı algoritması ile çalışılacaktır.

Farklı problemler ve alanlar için kullanılan farklı öğrenme teknikleri bulunmaktadır. *Kümeleme* yöntemi, genel ifadeyle örnekleri ya da nesneleri birkaç sınıfa ayırtmak için kullanılmaktadır. *Sınıflandırma* ise sınıflandırıcıyı eğitmek için etiketlenmiş veri setinin gerekmesi dışında kümelemeye oldukça benzer [31]. Bu yüzden, test için kullanılan veriler, etiketli veri kategorisinin benzerliği kullanılarak eşleştirilir. Pratikte amaç, ölçülen özelliklerine dayalı olarak iki veya daha fazla sınıf arasında bir sınır bulmak ve tanımlamaktır.

Makine öğrenimi teknikleri özelliklerinin kullanıldığı ve bu özelliklerin kümeleme ve sınıflandırmada nasıl çıkarılıp geliştirildiği konusunda her zaman bir belirsizlik vardır. Son yıllarda birçok sınıflandırma algoritması önerilmiştir [31]. Doğrusal diskriminant analizi (LDA), saf Bayes (NB), k-en yakın komşular (k-NN), yapay sinir ağları (YSA), destek vektör makineleri (SVM'ler) ve karar ağacı algoritmaları en popüler makine öğrenme algoritmalarıdır. Ayrıca k-ortalamlar, bulanık c-ortalamlar, dbscan ve optik gibi birçok kümeleme algoritması da vardır.

Çeşitli bağlantı (regresyon) yöntemleri vardır [16]:

- Basit Lineer bağlantı

- Polinom bağlanım
- Lojistik bağlanım
- Ridge bağlanım
- Lasso bağlanım
- Elastic Net bağlanım

Bu çalışmada lojistik bağlanım kullanılmış ve anlatılmıştır.

2.3.1. Lojistik Bağlanım

Denetimli öğrenme: Öğrenen algoritma, bir dizi etiketli eğitim verilerini örnek olarak kullanır. Böylece tüm bilinmeyen örnekleri tahmin eder. Denetimli öğrenme senaryosu, sınıflandırma regresyonu ve sıralama sorunlarıyla ilişkili en yaygın kullanılandır. Veri girişleri, daha önce öğrenilen ilişkiler bilgisine ve girdiler ile bunların hedef çıktıları arasındaki haritalamaya dayalıdır. Denetimli eğitim yaklaşımları, çözülecek makine öğrenimi problemlerinin türüne göre sınıflandırma ve regresyon olmak üzere iki ana sınıftan oluşur.

Genel olarak denetimli öğrenmede, her bir veri örneği ile model eğitim süreci sırasında eğitim verilerini ve ilgili etiketleri kullanan öğrenme algoritmalarını içerir. Esas hedef, girdi veri örneklerinin karşılık gelen çıktısında oluşan eşlemeden veya girdi-çıkı ilişkisinden öğrenmektir. Bu eğitilmiş model daha sonra, görülmemiş herhangi bir yeni girdi veri örneği seti için çıktıyı tahmin etmekte kullanılabilir. Bu tür yaklaşımlar, model veri örneklerinden öğrendiği için denetimli olarak tanımlanırken, eğitim aşamasında gerekli performans etiketleri/yanıtları önceden bilinmektedir [31]. Denetimli öğrenme, temel olarak girdiler ve bunlara karşılık gelen çıktılar arasındaki ilişkiyi eğitim verilerinden modellemeye çalışır, böylece yeni çıktı tepkileri tahmin edilebilir.

Lojistik bağlanım, başlangıçta David Cox tarafından 1958 yılında formüle edilen ve lojistik bir model (logit modeli olarak da bilinir) oluşturan temel yöntemlerden biridir. En önemli avantajı hem sınıflandırma hem de sınıf olasılığı tahmini için kullanılabilmesidir, çünkü lojistik veri dağılımına bağlıdır. Özelliklerin doğrusal bir kombinasyonunu alır ve onlara doğrusal olmayan bir sigmoidal fonksiyon uygular. Lojistik bağlanımın temel versiyonunda, çıktı değişkeni ikilidir, ancak birden fazla sınıfa genişletilebilir (daha sonra buna multinomial lojistik bağlanım denir). İkili lojistik modeli, numuneyi iki sınıfa ayırırken, çok nomlu lojistik modeli bunu sipariş etmeden keyfi sayıda sınıfa genişletir [32,33].

Lojistik bağlanım ikili bağımlı değişkeni modellemek için lojistik fonksiyonu kullanır. Lojistik

istatistiksel bir modeldir. (1) nolu denklem doğrusal, (2) nolu denklem sigmoid (3) nolu denklem ise lojistik bağlanımın denklemidir [31].

Doğrusal y denklemi:

$$y = b_0 + b_1x \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir. y denkleminin sonuçlarının kümesi $\pm$ 'de sonsuza gitmektedir. Burada b_0 ve b_1 katsayılarıdır. 2 nolu denklemde gösterilen Sigmoid denklemi lojistik bağlanımda sonuç kümesi 0-1 aralığında tutmak için uygulanır.

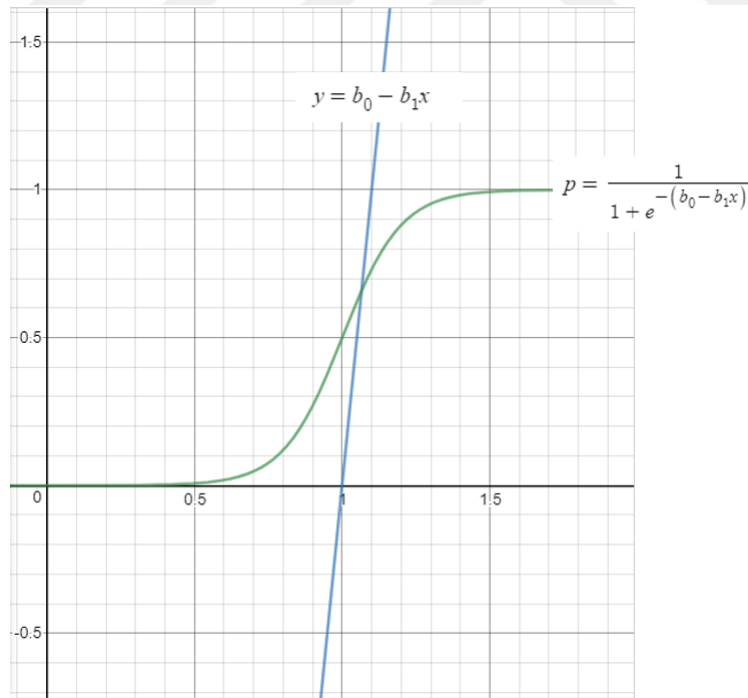
Sigmoid denklemi [15]:

$$\delta(y) = \frac{1}{1+e^{-y}} \quad (2)$$

şekildedir. e burada Euler sayısıdır ve y doğrusal denklemine uygulanmıştır. Denklem 3'te gösterildiği gibi bağımlı değişkenin $p: R \rightarrow (0,1)$ olasılığı şöyle yazılabilir [15].

$$p(x) = \frac{1}{1+e^{-(b_0+b_1x)}} \quad (3)$$

Doğrusal bağlanım ve lojistik bağlanım Şekil 12'te beraber gösterilmiştir.



Şekil 12: Lojistik Bağlanım ve Doğrusal Bağlanım modelleri [8].

Lojistik bağlanım modeli bir regresyon çeşididir. Ancak farklı olarak sınıflandırma yapmak amacıyla da icra edilir. Bu model ile sayısal veya kategorik veriler sınıflandırılabilir. Lojistik bağlanımda, bağımlı sonuç değişkeni 1-0, Evet-Hayır, Var-Yok gibi iki farklı değer alır [28].

Bilinen bir örnek olarak, bir elektronik postanın reklam amaçlı ya da aldatıcı posta olup olmadığını tahmin edip bu postayı gelen kutusuna ya da istenmeyen (spam) kutusuna yönlendirmek için kullanılabilir. Temel örnek olarak mavi grafik doğrusal bağlanım, yeşil ise Lojistik bağlanımı gösterir ve ikisi de verileri sınıflandırmaya çalışır. Şekil 12’de yeşil grafiğe lojistik bağlanım 0-1 değerleri arasındadır ve doğrusal değildir. Logaritmik bir eğridir. Kendi formülü nedeniyle verileri böyle gruplar. İnişli çıkışlı dalgalı verilerde logaritmik eğri 1 ya da 0 tahminlerinde daha yüksek tahmin başarısına ulaşmaktadır.

2.3.2. Yapay Sinir Ağları

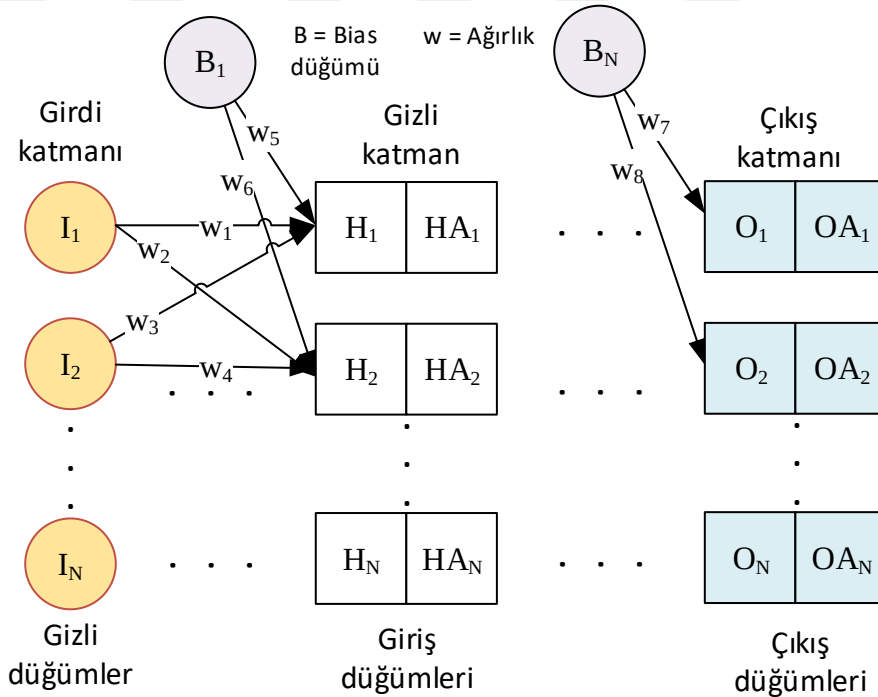
Bir insanın sinir ağı, birbirine bağlı çok sayıda nöron (sinir hücreleri) içeren sinir sisteminin bir parçasıdır. “Sinir”, nöron için bir sıfattır ve “Ağ”, grafik benzeri bir yapıyı ifade eder. Yapay Sinir Ağı (İngilizcesi: Artificial Neural Network-ANN), ana teması biyolojik sinir ağlarının analojisinden ödünç alınan bilgi işlem sistemlerini ifade eder. Yapay Sinir Ağları, *sinir ağları*, *yapay sinir sistemleri*, *paralel dağıtık işleme sistemleri* olarak da anılır [34].

Yapay Sinir Ağları (YSA), büyük çapta paralel hesaplama yapan modellerdir ve temel olarak insan beyninin işlevini taklit eder. Bu nedenle sinirbilimden çok sayıda terminoloji ödünç alınmıştır. Örneğin işlem düğümleri “nöron” olarak adlandırılmaktadır. Her düğüm çıkışı, yalnızca düğümde yerel olarak mevcut olan ya dahili olarak depolanan ya da ağırlıklı bağlantılar yoluyla gelen bilgilere bağlıdır. Her birim diğer birçok düğümden girdi alır, çıktısını başka bir düğüme iletir [34]. Tek başına, girdilerinin doğrusal olmayan basit bir fonksiyonu olan tek sayısal değere sahip skaler bir çıktı üretir ve çok güçlü değildir.

YSA uygulamasının iyi bir avantajı, büyük girdilere sahip karmaşık doğal sistemlerden modelleri daha kolay ve daha doğru hale getirebilmesidir [35]. YSA'nın problem çözme ve makine öğrenimine uygulanan çok yeni ve kullanışlı bir model olduğu bulunmuştur. YSA, insan beyninin biyolojik sinir sistemi işlevine benzeyen bir bilgi yöneticisi modelidir. Son zamanlarda, beyin işlevselliğine yönelik araştırma ilgisi küresel olarak hızla arttı. Haykin'e [36] göre, bir YSA, insan beyninin belirli bir ilgilenilen görevi yerine getirmesiyle aynı şekilde çalışmak üzere üretilmiş karşılaştırılabilir bir makine olabilir. Örneğin, "insan beyni büyük ve son derece verimlidir. İnsan beyni, çeşitli karmaşık sinyal hesaplama işlemlerine sahip bir bilgi işleme makinesi gibidir", bir görevi gerçekleştirmek için kolayca koordine edilebilir. Bu beynin ana unsuru bilgi işleme yeteneklerinin benzersiz tasarımıdır. Günlük olarak belirli sorunları çözmek için birlikte çalışan öğeler biçiminde birbirine bağlı birçok "nöron" kompleksi

oluşturur. Sinir ağı işlevinin tipik bir örneği, göndermek ve göndermek için bağlı olan insan beynidir [37].

Tipik bir sinir ağı mimarisi Şekil 13'de gösterilmektedir. Sinir ağı katmanları birbirinden bağımsızdır; diğer bir deyişle, belirli bir katman isteğe bağlı sayıda düğüme sahip olabilir. Bu rastgele sayıda düğüme önyargı düğümü denir. Önyargı düğümleri her zaman bire eşit olarak ayarlanır. Analogide, önyargı düğümleri, aşağıdaki gibi verilen doğrusal bağlanımdaki ofset gibidir; $y = ax + b$, burada “a” bağımsız “x” in katsayısıdır ve ardından “b” eğim olarak adlandırılır. Bir önyargı ana işlevi, ağ düğümü tarafından alınan normal girdilere ek olarak, düğüme eğitilebilir sabit bir değer sağlamaktır. Daha da önemlisi, bir önyargı değeri, YSA eğitiminin başarısı için analitik olabilen, aktivasyon fonksiyonunun sağa veya sola hareket ettirilmesini sağlar. NN bir sınıflandırıcı olarak kullanıldığında, giriş ve çıkış düğümleri, giriş özellikleri ve çıkış sınıflarıyla eşleşecektir [15].



Şekil 13: Genel yapay sinir ağı modeli [17=37].

2.4. Fiziksel Titreşim

Bir düzgün çizgi boyunca, sabit bir nokta etrafında belirli aralıklarla tekrarlanan hareketler yapan cismin durumuna titreşim hareketi denmektedir. Titreşim, her fiziki cisimde mevcut olan ve makine ya da bina gibi mühendislik tasarımlarının yapısını etkileyen ve yönlendiren bir olgudur. Titreşimin doğası gereği mühendislik tasarımları için belirleyici faktör olabilir. Bazen

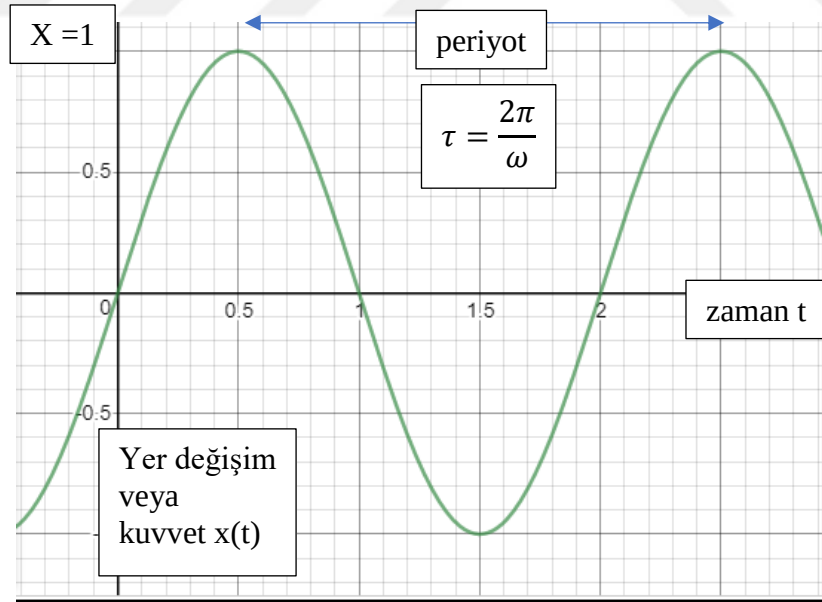
bu titreşim zararlı olabilir ve kaçınılmalıdır, bazen de oldukça yararlıdır ve istenilir [38]. Titreşimin analiz yönteminin seçilmesi, ölçülmesi ve kontrol edilmesi her iki durumda da mühendisler için zor bir konu olmuştur.

Titreşim bilimi, fiziksel cisimlerin ve etkiyen kuvvetlerin dalgalı hareketleri ile ilgilenir. Şekil 14’de görülen dalga Harmonik Hareket olarak isimlendirilir. Aşağıdaki iki temel formül ile ifade edilir. Burada; X hareketin genliğini ifade eder, ω ise hareketin frekansını gösterirken ve t zamandır [39].

$$\tau = \frac{2\pi}{\omega} \quad (4)$$

$$x(t) = X \cos \omega t \quad (5)$$

Titreşim için bir paragraf. Titreşim fiziksel parçaların bir doğasıdır. Bir makinede veya sistemde bulunan her bir bileşenin fiziksel durumlarından oluşan bir doğal frekansı vardır. Dış kaynaklardan gelen etkilerle sensörlerle toplanabilen titreşimler ortaya çıkabilmektedir. Titreşim için özel duyarga, sensor veya çeviricilerle bu titreşimler veri olarak toplanabilmektedir. Benzer şekilde hareket eden cisimlerin hız, ivme ve pozisyon açı değerlerini ölçmek ve veri elde etmek için çeşitli çeviriciler üretilmiştir.



Şekil 14: Harmonik dalga.

2.5. Sensor Füzyonu

Son yıllarda sensör füzyonu üzerine pek çok araştırma yapılmıştır. Tek tek veya beraber kullanılan çeşitli veri birleştirme algoritmaları (data fusion algorithms) geliştirilmiş ve uygulanmıştır [40].

Füzyon sistemleri terminolojisinde bazı karışıklıklar vardır. "Sensör füzyonu", "veri füzyonu", "bilgi füzyonu", "çoklu sensör veri füzyonu" ve "çoklu sensör entegrasyonu" terimleri, teknik literatürde, birden fazla bilgi kaynağından elde edilen verileri kullanan çeşitli tekniklere, teknolojilere, sistemlere ve uygulamalara atıfta bulunmak için yaygın olarak kullanılmaktadır [43].

Fiziksel bir ortamdan çeşitli elemanlarla ölçümler yaparken, bir sensor elemanın arızalanması, kısıtlı ölçüm alanları ve ölçüm elemanının hassasiyeti çözünürlüğünün düşüklüğü gibi sorunlardan kaçınmak için sensörlerin beraber kullanılması avantaj sağlayan bir yöntemdir. Sensor füzyonu, gürbüzlüğü dolayısıyla güvenilirliği artırırken belirsizlik ve parazit kaynaklı hataları da düşürür.

Füzyon süreçleri genellikle düşük, orta ve yüksek seviyeli füzyonu ayırt eden üç seviyeli bir modelde kategorize edilir [40-42].

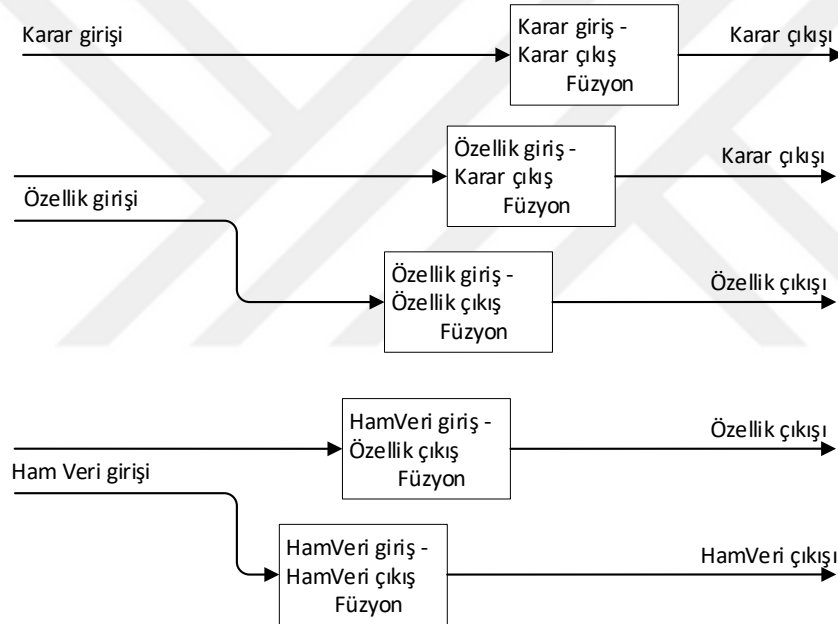
Düşük seviyeli füzyon veya ham veri füzyonu, girdilerden daha bilgilendirici olması beklenen yeni veriler üretmek için çeşitli ham veri kaynaklarını birleştirir. Veri soyutlamanın bu seviyesindeki çözülmesi gereken temel problemleri, veri ilişkilendirme ve konumsal tahmin olarak adlandırılabilir [44]. Veri ilişkilendirme, bir sensör veri setini diğeriyle ilişkilendirerek çok sensörlü verileri birleştirmenin genel bir yöntemidir.

Orta düzey füzyon veya özellik düzeyinde füzyon, kenarlar, köşeler, çizgiler, dokular veya konumlar gibi çeşitli özellikleri, daha sonra segmentasyon ve algılama için kullanılabilecek bir özellik haritasında birleştirir. Bu yaklaşımlar tipik olarak Bayes teorisi ve Dempster-Shafer teorisi üzerine kurulmaktadır. Bayes teorisi, birkaç sensör tarafından sağlanan ve örtüşen verileri birleştirip yorumlayarak bilinmeyen sistem durumlarında olasılıksal veri modeli oluşturmak için kullanılır [45]. Ancak sensör verilerindeki bozukluklarda çalışma yeteneği sınırlıdır. Dempster-Shafer teorisi, farklı sensör kaynaklarından gelen bozuk verileri birleştirmenin bir yolunu sunan Bayes mantığının kullanılmasıdır. Özellik füzyonuna, destek vektör makineleri gibi istatistiksel öğrenme teorisindeki son yöntemler başarıyla uygulandı.

Karar füzyonu olarak da adlandırılan üst düzey füzyon, birkaç uzmanın kararlarını birleştirir. Karar füzyon yöntemleri oylama, bulanık-mantık ve istatistiksel yöntemleri içerir.

Karar düzeyindeki füzyon, Boolean operatörleri tarafından veya sezgisel bir skorla (örneğin, M-of-N, maksimum oy veya ağırlıklı toplam) bağımsız sensör algılama/sınıflandırma yollarının kararlarını birleştirir. Sınıflandırma kararının iki temel kategorisi, sert (tek, optimum seçim) ve yumuşak (her sensör zincirindeki karar belirsizliğinin muhafaza edildiği ve birleşik bir belirsizlik ölçüsüyle birleştirildiği) şeklindedir. Literatürde, üçüncü seviye veri füzyonu üzerine yapılan birkaç araştırma görünmektedir [43].

Giriş/Çıkışa Göre Kategorizasyon Şekil 15'te üç seviyeli model temelli bir sınıflandırma olarak Dasarathy tarafından önerildi [44]. Süreçlerin giriş ve çıkış verilerinin soyutlama seviyesinden türetilen füzyon süreçlerini kategorilere ayırır.



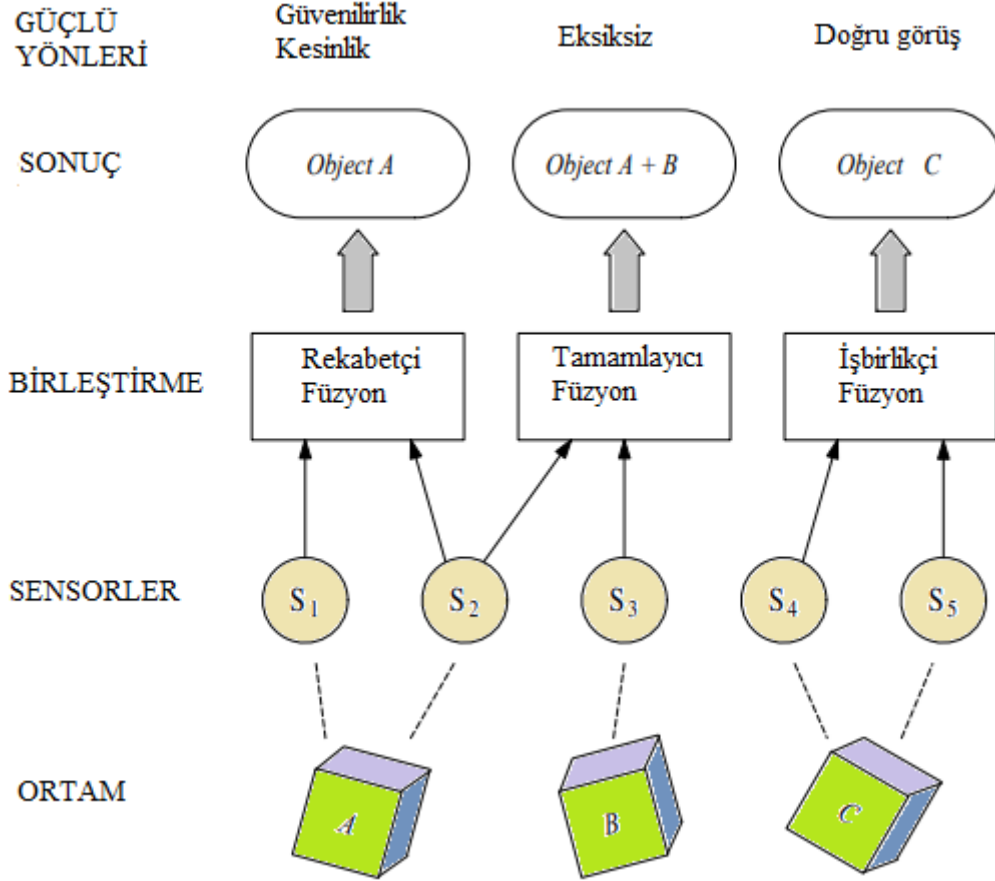
Şekil 15: Giriş/Çıkışa göre sınıflandırma.

Sensör Yapılandırmasına Göre Kategorizasyon, Durrant-Whyte üç tip sensör konfigürasyonunu birbirinden ayırır [44]:

Tamamlayıcı: Sensörler doğrudan birbirine bağlı değilse, ancak gözlem altındaki fenomenin daha eksiksiz bir görüntüsünü vermek için birleştirilebiliyorsa, bir sensör konfigürasyonuna tamamlayıcı denir.

Rekabetçi: Her sensör aynı özelliğin bağımsız ölçümlerini sağlıyorsa sensörler rekabetçi olarak yapılandırılır.

İşbirlikçi: İşbirlikçi bir sensör ağı, tek sensörlerden elde edilemeyecek bilgileri üretmek için iki bağımsız sensör tarafından sağlanan bilgileri kullanır



Şekil 16: Sensor yapılandırmasına göre sınıflandırma.

JDL Füzyon Mimarisi, sık başvurulan bir füzyon mimarisidir. ABD Laboratuvarlar Ortak Direktörleri'nden (JDL) yayınlanmıştır. Bir veri yolu ile birbirine bağlanan beş veri işleme düzeyi ve bir veri tabanından oluşur. Modelin öğeleri: Kaynak, Kaynak ön işleme (Seviye 0), Nesne iyileştirme (Düzye 1), Durum iyileştirme (Düzye 2), Durum iyileştirme (Düzye 3), Süreç iyileştirme (Seviye 4), veri tabanı ve insan arayüzü olarak tanımlanır[44].

Bunlar dışında Şelale Füzyon Süreci Modeli, Boyd Modeli, LAAS Mimarisi gibi çalışmalar ve sınıflandırmalar da bulunmaktadır.

2.6. Kalman Filtresi

Kalman filtresi, gürültülü veriler üzerinde uygulanan ve geçmiş değerlere göre bir tahmin yapan algoritmadır. Filtrenin matematik alt yapısı Rudolf Kalman tarafından ortaya atılmıştır. Yirminci yüz yılın önemli buluşlarından biridir öyle ki Amerikan Apollo Uzay programında da kullanılmıştır.

Kalman filtreleri genellikle belirsiz ve dolaylı ölçümlerin varlığında bir sistemin dahili durumlarını en iyi şekilde tahmin etmek için kullanılır. Bir sistemin durumu yalnızca dolaylı olarak ölçülebildiğinde, bu sistemin durumunu iyi bir şekilde kestirmek için bir Kalman filtresi kullanılabilir. Farklı sensörlerden gelen ölçümler mevcut olduğunda ancak gürültüye tabi olduğunda, ilgilenilen parametrenin en iyi tahminini bulmak için çeşitli kaynaklardan gelen duyuşal verileri (sensör füzyonu olarak bilinir) birleştirmek için bir Kalman filtresi kullanabilirsiniz. Yüksek düzeyde, Kalman filtreleri bir tür optimal durum tahmincisidir [46].

Filtrelemenin amacı, diğer her şeyi göz ardı ederek gerekli bilgiyi bir sinyalden çıkarmaktır. Bir filtrenin bu görevi ne kadar iyi yerine getirdiği, bir maliyet veya kayıp fonksiyonu kullanılarak ölçülebilir. Aslında filtrenin amacını bu kayıp fonksiyonunun minimizasyonu olarak tanımlayabiliriz [47].

Aşağıdaki denklemler bir Kalman filtresinin ayırık zamanlı sinyaller üzerine genel manada uygulanan eşitliklerdir. Tahmin için formüller:

$$\hat{x}_{k+1}^- = A\hat{x}_k + Bu_k \quad (6)$$

$$P_{k+1}^- = AP_k^- A^T + rQr^T \quad (7)$$

şeklindedir. Burada $\hat{x}$, durum tahmin vektörüdür, $k+1$ gelecek adım alt indisidir. A ve B matrisleri sırasıyla sistem matrisi ve giriş matrisleridir. u girdi vektörünü, y çıktı vektörünü, P hata kovaryans matrisini, r işlem gürültü yoğunluk vektörünü, Q süreç gürültü kovaryans matrisini ifade eder. Aşağıdaki denklemler ise güncelleme için kullanılır.

$$K_{k+1} = P_{k+1}^- C^T (CP_{k+1}^- C^T + R)^{-1} \quad (8)$$

$$\hat{x}_{k+1}^+ = \hat{x}_{k+1}^- + K_{k+1}(y_{k+1} - C\hat{x}_{k+1}^- - Du_{k+1}) \quad (9)$$

$$P_{k+1}^+ = (I - K_{k+1}C)P_{k+1}^- \quad (10)$$

Burada C çıktı matrisini, D besleme matrisini, K kazanç matrisini ifade eder.

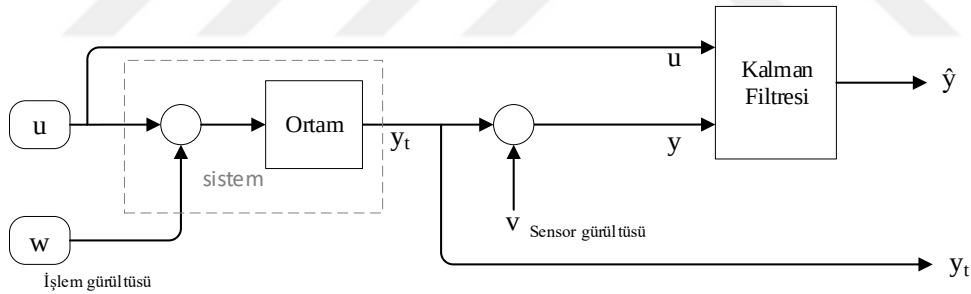
Gauss fonksiyonu için varyans, fonksiyonun standart sapmasının karesi olarak tanımlanır. R ölçüm gürültü varyans matrisidir. Q ve R durumların ve ölçümlerin her birinin varyansını

tanımlayan köşegen matrisleridir. P hata kovaryans matrisini, $\hat{x}$ durum tahmininin kovaryansını ifade eder. P, tahmini yapılan durum hakkındaki kesinliği tanımlar. Eğer P büyükse gerçek durum hakkındaki belirsizlik büyüktür. Yani tahmin çok sapmıştır. Ters durumda daha küçük elemanlara sahip olduğunda gerçek durum hakkında daha az belirsizlik anlamına gelir [48].

Tahmin adımında, durum tahmini $\dot{x} = Ax + Bu$ doğrusal sistem dinamiklerine göre güncellenir. Ayrıca, hata kovaryansı P, işlem gürültü kovaryans matrisi Q ile artar. Daha büyük Q değerleri, P'nin daha hızlı büyümesine neden olacaktır. P işlem gürültü kovaryansı, modeli ve ölçümleri ağırlıklandırmak için düzeltme adımında kullanılır.

Düzeltilme adımında, durum tahmini yeni ölçüm bilgilerini içerecek şekilde güncellenir. Bu yeni bilgi, Kalman kazancı K tarafından $\hat{x}$ durum tahminine göre ağırlıklandırılır. K'nın büyük değerleri gelen ölçümleri daha fazla ağırlıklandırırken daha küçük değerleri durum tahminine daha fazla ağırlık verir. Çünkü K, P ile ilgilidir, P'nin daha büyük değerleri K'yı arttıracaktır. Bu da ölçüm sonucuna daha yakın değere götürecektir. Son olarak, hata kovaryansı P, durum tahminine olan güveni artırmak için azalır [48].

Tüm sistem aşağıdaki Şekil 17'deki diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 17: Ham Veriler için Füzyon Akış Şeması [53=49]

Burada, u hem ortam girişi hem de Kalman filtresi girişidir. w işlem gürültüsünü temsil eder. v sensör (ölçüm) gürültüsü, y_t ortam sistem çıkışıdır ve y gürültülü ortam çıkışıdır. y filtre girişine beslenir. Sonuç, w, v ve u girişleri; y_t (gerçek yanıt) ve $\hat{y}$ (tahmini yanıt) çıkışları temsil eden bir modeldir.

2.7. Hilbert Dönüşümü

Hilbert dönüşümü, David Hilbert tarafından ilk kullanılan doğrusal matematiksel operatördür. Hilbert'in Riemann-Hilbert problemi olarak bilinen analitik fonksiyonlarla ilgili olarak ortaya attığı bir problem üzerine yaptığı 1905 çalışmasında ortaya çıkmıştır. Dönüşüm uygulandığı

sinyal üzerinde faz kaydırıcı gibi çalışır. Bir $g(t)$ fonksiyonunun Hilbert dönüşümü, bu fonksiyonun $1/\pi.t$ ile konvolüsyonudur [49-51].

Telsiz haberleşme mühendisliğinde genlik modülasyonu ve demodülasyonu için Hilbert dönüşümü yaygın olarak kullanılmaktadır. Mekanik dinamiklerde, Hilbert dönüşümünün titreşim sinyallerine de uygulanabilir olduğu bulunmuştur [52]. Hilbert-dönüşüm tabanlı yaklaşımın zaman alanında uygulanabilirliği görülmüştür. Tek tonlu bir sinyal için, Hilbert dönüşüm sonucu, girişle birlikte fazdan 90 derece uzakta olan bir sinyaldir. Orijinal sinyal ve Hilbert dönüşümü karmaşık bir analitik sinyal formüle eder. Analitik sinyalin fazı ve büyüklüğü, sırasıyla her ikisinin de zamanın fonksiyonları olduğu anlık faz ve zarf olarak tanımlanır. Fazın zaman türevi anlık frekansla sonuçlanır. Doğrusal kütle-damper-yay sistemi impuls tepkisinden gelen bir tepki sinyali için, frekans ve sönümlene oranı bu Hilbert dönüşüm yaklaşımından kolayca tanımlanabilir. Bu tekniğin, özellikle frekans-alan çözünürlüğü sınırlı olduğunda bazı avantajlara sahip olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, Huang ve arkadaşları tarafından önerilen ampirik mod ayrışma (EMD) yöntemi, Hilbert-dönüşüm tabanlı yaklaşımın kullanımını birçok pratik uygulamaya genişletmiştir.

Analitik veya sayısal simülasyon verileri için bu tür sayısal türevlendirmeler yapmak mümkün olsa da, pratik mühendislik problemlerinde deneysel olarak elde edilen verilerle uğraşırken ciddi bozulma/hata yaşayabilir. Deneysel olarak elde edilen veriler kaçınılmaz olarak gürültü içerir ve gürültü sayısal türevlerle kolayca yükseltilebilir. Birçok mühendislik durumunda, gürültü ikinci türevden sonra baskın sinyal bileşeni olabilir. Teoride, zaman türevleri hızlı Fourier dönüşümü (FFT), frekans alanındaki çarpma ve ters FFT kullanılarak değiştirilebilse bile verilerdeki son etkiden kaynaklanan hatalar ortadan kaldırılamaz. Bu son etki, özellikle çok sönümlenmiş durumlarda, tanımlama sonuçlarının doğruluğunu etkileyecektir. Ayrıca, yaygın olarak kullanılan ayrık Hilbert dönüşümü (DHT) algoritması FFT ve ters FFT yaklaşımına da dayandığından, ayrık zamanlı Fourier dönüşümünde (DTFT) kullanılan varsayımlar da zarf algılamada hatalara neden olabilir.

Gerçek bir kaynaktan elde edilen verilerin doğrusal ve ayrık olması çok beklenen bir durum değildir. Hilbert dönüşümü, doğrusal olmayan verileri bölgesel olarak tanımlamak için kullanılır. Bu amaçla sinyalin anlık frekanslarına ve genliklerine ayırır. Hilbert dönüşümü, $g(t)$ 'nin $\frac{1}{t}$ ile evrişimi olduğu için $g(t)$ fonksiyonunun yerel özelliklerini vurgular. Aşağıdaki denklem (11), $g(t)$ 'nin karmaşık eşleniği olan $h(t)$ 'yi yani Hilbert dönüşümünü açıklamaktadır [53].

$$H[g(t)] = g(t) \cdot \frac{1}{\pi t} = \frac{1}{\pi} PV \int_{-\infty}^{\infty} \frac{g(\tau)}{t-\tau} d\tau = \frac{1}{\pi} PV \int_{-\infty}^{\infty} \frac{g(t-\tau)}{\tau} d\tau = h(t) \quad (11)$$

Burada H Hilbert dönüşümü temsil etmektedir. PV Cauchy'nin temel integral değerini ifade etmektedir. Hilbert dönüşümü kullanılarak sinyal (12)'te tanımlanır [53].

$$z(t) = g(t) + ih(t) = a(t)e^{i\theta(t)} \quad (12)$$

$$a(t) = \sqrt{g^2 + h^2} \quad (13)$$

$$\theta(t) = \arctan\left(\frac{h}{g}\right) \quad (14)$$

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (15)$$

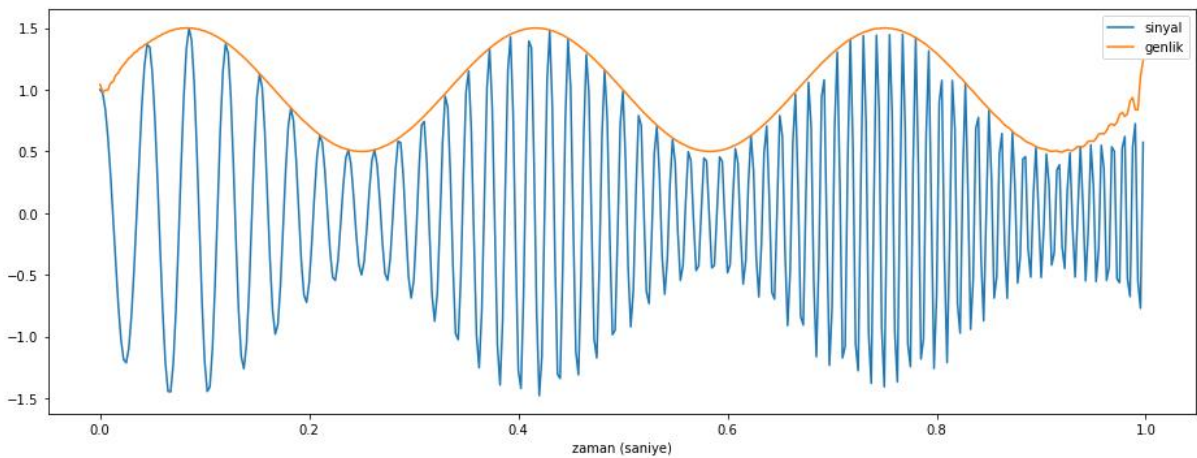
$a(t)$ anlık genliktir, θ faz fonksiyonudur. ω ise anlık frekans olarak tanımlanır.

Hilbert Spektrumu, belirli bir zamanda belirli bir frekans için bağıl genliği veya enerji katkılarını gösterir ve (ω, t) şeklinde yapılandırılabilir. Aşağıdaki (16) denklemi ile marjinal spektrumun hesaplandığı eşitliktir.

$$E(w) = \int_0^T H(\omega, t) dt = h(t) \quad (16)$$

Bu spektrum, tüm veri aralığı boyunca tüm genliklerin toplamıdır. Fonksiyon "tek bileşenli" değilse veya sıfır olmayan bir ortalamaya sahipse, sonuç muhtemelen negatif frekanslar içerecektir.

Bu tez çalışmasında Hilbert dönüşümü ve mutlak değeri kullanılarak genlik elde edilmiştir. Genlik zarfı, analitik sinyalin büyüklüğü ile elde edilir. Şekil 18'de frekansı ve şiddeti değişen örnek bir mavi renkli sinüs dalgasının genliği turuncu çizgi ile gösterilmiştir [51].



Şekil 18: Sinyal ve Hilbert genlik zarfı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Titreşim ve Açı Verilerin elde edilmesi

Bu tez çalışmasında ihtiyaç duyulan veriler model uçak üzerinden elde edilmiştir. İniş takımı titreşimleri üzerine sabitlenen bir titreşim sensörü ile, açı ve ivme değerleri ise gövde altına yerleştirilen 3-eksen ivme ölçer modülü ile elde edilmiştir. Uçak motoru çalıştırılarak farklı operasyonlar ve şartlar simule edildi. Böylece uçağın açı ve ivme değerlerinde değişiklikler ortaya çıkarken dikmelerde de değişik titreşim profilleri çıkmıştır. Toplanan bütün veriler beraber veya tek olarak ML yöntemlerine girdi olarak kullanılmıştır. Elde edilen çeşitli sonuçları kıyaslanmıştır.

Şekil 19’da gösterilen Free wing markasının radyo kontrollü uçağı T38 Talon bu çalışmada kullanıldı. İniş takımlarına Titreşim sensörleri bağlandı. İvme/Açı değerleri toplamak için uçağın alt yüzeyine sensör modülü montajlandı. Raspberry Pi Zero 2 verilerin toplanması (ve ileriki çalışmalarda yorumlanması) için uçağın alt yüzeyine montajlandı. Titreşim verilerinin toplanması için The TE Connectivity firmasının. MEAS MiniSense 100 serisinden ürünü kullanıldı. Cantilever-type olan bu titreşim sensörü ucunda kütle taşıdığından hem anlık darbeleri hem de sürekli titreşimleri takip edebilmektedir. 3-Eksen açı ve ivme verilerinin toplanması için GY-45 MMA8452 3-Eksen İvme Ölçer Modülü kullanıldı. Model uçağın altına bağlanan tüm elemanların toplu durması için kutu tasarlandı ve 3 boyutlu yazıcıda basıldı. Bu kutu aerodinamik etkiyi en az bozacak şekilde tasarlandı. Şekil 20’te detayı görüldüğü şekilde, uçağın ağırlık merkezini çok değiştirmeyecek şekilde uçağın gövdesinin alt kısmında iniş takımlarının arasına konumlandırdı. TTEC markasının 5000 mah’lık bir harici bataryası kutu içerisine konuldu. Bataryanın USB çıkışında 5v ile Raspberry Pi ve sensörler çalıştırıldı.

MiniSense 100 titreşim sensörü, ADS1115 devresine bağlandı. ADS1115 hem amplifikatör hem de analogdan dijitale çevirici (ADC) içinde barındırır. ADC I²C ile Raspberry Pi Zero’ya bağlandı ve titreşim verileri yükseltilerek sağlandı. 3-eksen açı/ivme modülü I²C ile Raspberry Pi’ye direk bağlandı.

ADS1115, I²C üzerinden 860 örnek/saniye hızında veriyi 16 bit çözünürlüğünde verebilmektedir. Entegre, dört tek uçlu giriş kanalı veya iki bağıl fark (diferansiyel) kanal olarak yapılandırılabilir. Küçük sinyallerin yükseltilmesini sağlamak için 16 kata kadar programlanabilir bir kazanç yükselteci ihtiva etmektedir. ADC, 2V-5V arasında çalışabilmektedir. Geniş sinyal aralığını ölçebilmektedir. Dahili osilatör içeren genel amaçlı 16 bit dönüştürücü olan ADS1115’in genel özellikleri:

GÜÇ GİRİŞİ: 2.0V - 5.5V

AKIM İHTİYACI: Sürekli Çalışma: 150 μ A ; Aşırı Akım Çekme: Otomatik Kapanma

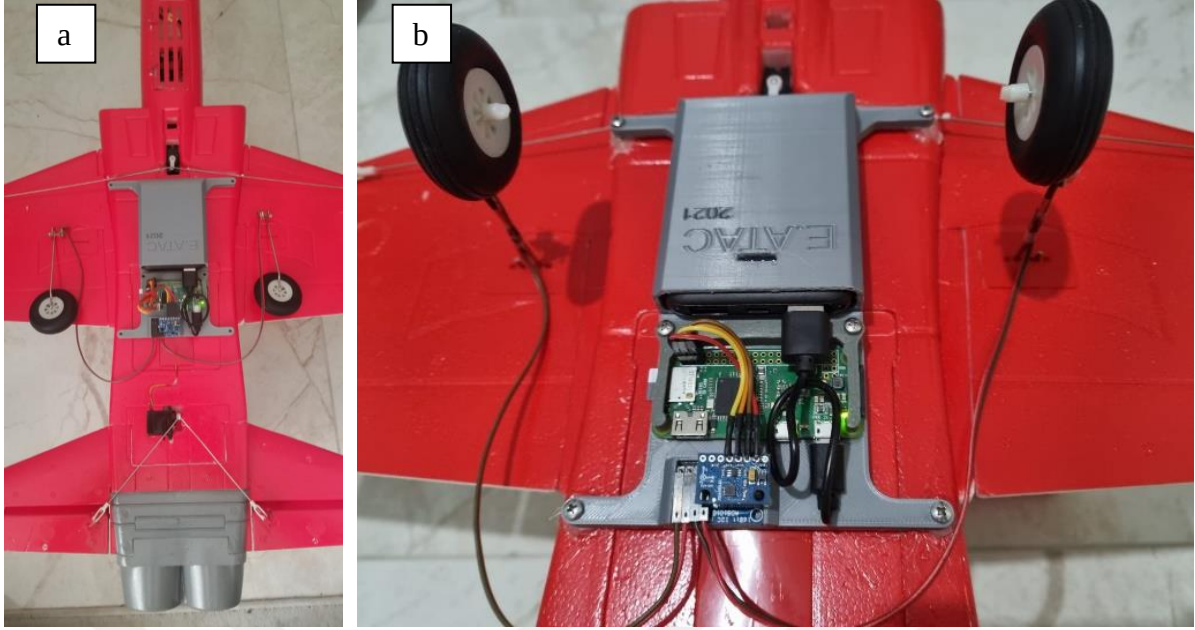
VERİ HIZI: 8sps – 860sps

I²C ARAYÜZÜ: Bu kart/yonga, seçilebilen 0x48-0x4B arasında I²C 7-bit adresleri kullanır.



Şekil 19: RC Talon T38 model uçağı

CAD programında çizilen kutu gri renkli bir filament ile 3 boyutlu yazıcıda basıldı. Aşağıdaki Şekil 20’de uçaktaki üzerindeki yerleşimleri görülmektedir.

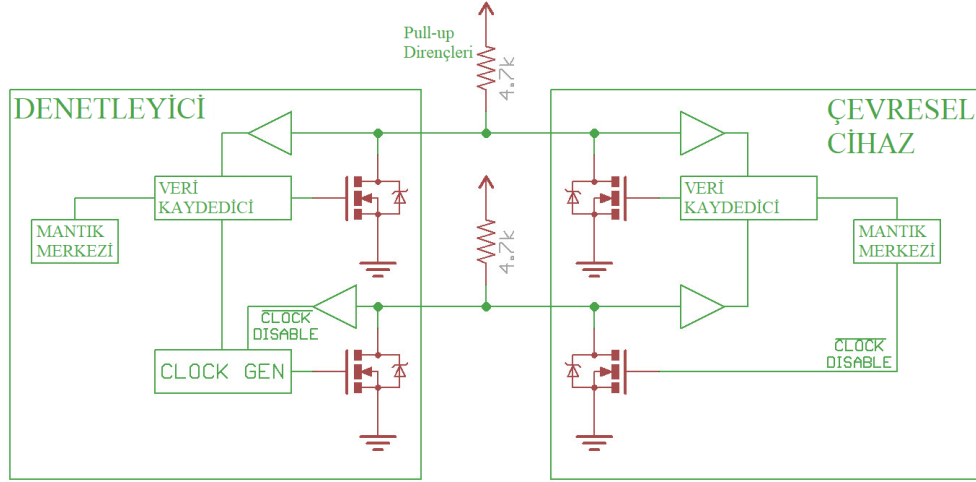


Şekil 20: a-Kutunun uçak üzerindeki yerleşimi ve b-Yakın görünümü

Inter-Integrated Circuit (I²C) Protocol, birden fazla çevresel devrenin (entegre, yonga) bir veya daha fazla denetleyici devre ile iletişim kurmasına izin vermeyi amaçlayan bir protokoldür. Seri Çevresel Arayüz (SPI) gibi, yalnızca tek bir cihaz içinde kısa mesafeli iletişim için tasarlanmıştır. Eşzamansız (asenكرون) seri arabirimler (RS-232 veya UART gibi) gibi bilgi alışverişi için yalnızca iki sinyal kablosu gerektirir, ancak bu iki kablo 1008 adede kadar çevresel aygıtı destekleyebilir. Ayrıca, SPI'den farklı olarak I²C, çoklu denetleyici sistemini destekleyerek birden fazla denetleyicinin veri yolu üzerindeki tüm çevre cihazlarıyla iletişim kurmasına izin verebilir. Veri hızları, eşzamansız seri ve SPI arasındadır; çoğu I²C cihazı 100kHz veya 400kHz'de iletişim kurabilir. I²C ile ilgili bazı ek yükler vardır; gönderilecek her 8 bitlik veri için fazladan bir bit iletilmelidir. I²C'yi uygulamak için gereken donanım, SPI'den daha karmaşıktır, ancak eşzamansız seriden daha azdır. Yazılımda oldukça önemsiz bir şekilde uygulanabilir [66].

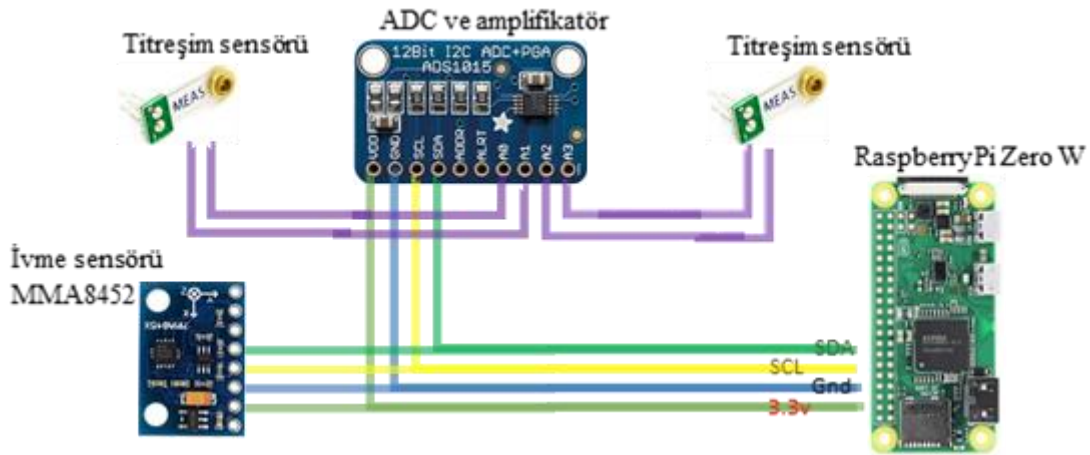
I²C veri yolu iki sinyalden oluşur: SDA ve SCL. SDA (Seri Veri) veri sinyalidir ve SCL (Seri Saat) saat sinyalidir. Saat sinyali her zaman geçerli veri yolu denetleyicisi tarafından üretilir. UART veya SPI bağlantılarından farklı olarak, I²C veri yolu sürücülerini open-drain'dir, yani karşılık gelen sinyal hattını aşağı çekebilirler, ancak yukarı çekemezler. Bu nedenle, bir aygıtın hattı yükseğe çıkarmaya çalışırken diğerinin aşağıya çekmeye çalıştığı bir veri yolu çekişmesi olamaz, bu da sürücülere zarar verme veya sistemde aşırı güç dağıtma olasılığını ortadan kaldırır. Her bir sinyal hattında, hiçbir cihaz düşük olduğunu iddia etmediğinde sinyali yüksek

seviyeye geri yüklemek için bir pull-up direnci bulunur. I²C oldukça sağlam bir protokoldür ve kısa süreli kablolarla (2-3 m) kullanılabilir. Uzun çalışmalarda veya çok sayıda cihaz içeren sistemler için daha küçük dirençler daha iyidir. Aşağıdaki Şekil 21’de örnek bir haberleşme görülmektedir.



Şekil 21: Örnek I²C [66]

Aşağıdaki Şekil 22’de devre birimlerinin bağlantısı şematik gösterimi yapılmıştır. Titreşim sensörleri ve ADC arasında direk bağlantı vardır. ADC üzerindeki A0-A3 pinleri voltaj farklarını ölçecek şekilde ayarlanmıştır. ADC ve İvme modülü I²C hattı üzerinden Raspberry Pi’ye bağlanmıştır.



Şekil 22: Sistemin Devre Şeması

Raspberry pi, İngiltere’de bir vakfın kredi kartı büyüklüğünde ve öğrencilerin rahatça ulaşabileceği fiyatta ürettiği bir bilgisayardır [63].

İvme MMA8452 sensörü, 12 bit çözünürlükte üç eksenle ivme verisi sağlamaktadır. MMA8452Q, 12 bit çözünürlüğe sahip akıllı, düşük güçlü, üç eksenli, kapasitif, mikro makinede işlenmiş bir ivmeölçerdir. Bu ivmeölçer, iki kesme pinine yapılandırılabilen, esnek, kullanıcı tarafından programlanabilen seçeneklere sahip yerleşik işlevlerle doludur. Gömülü kesme işlevleri, ana bilgisayar işlemcisini sürekli olarak veri yoklamaktan kurtararak genel güç tasarrufu sağlar.

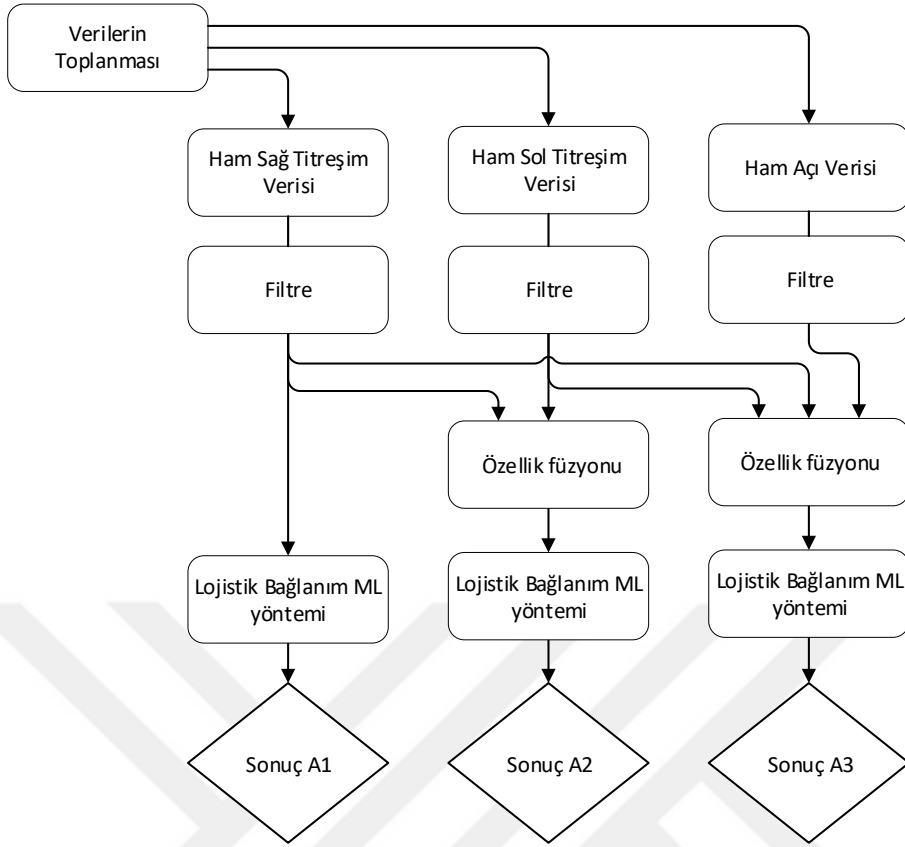
MMA8452Q, yüksek geçişli filtre filtrelenmiş verilerle ve gerçek zamanlı olarak filtrelenmemiş verilerle kullanıcı tarafından seçilebilir $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g$ tam ölçeklere sahiptir. Cihaz, MMA8452Q'nun olayları izlemesine ve hareketsizlik dönemlerinde düşük güç modunda kalmasına izin veren, yapılandırılabilir gömülü işlevlerin herhangi bir kombinasyonundan atalet uyandırma kesinti sinyalleri üretecek şekilde yapılandırılabilir. MMA8452Q, 3 mm x 3 mm x 1 mm QFN paketinde mevcuttur [datasheet].

Titreşim sensörü, düşük ve yüksek frekanslarda piezo malzeme özellikleri sayesinde düşük voltajlar üreterek titreşim durumunu vermektedir. Sürekli titreşimlerde ve ani darbe ölçümlerinde kullanılabilir.

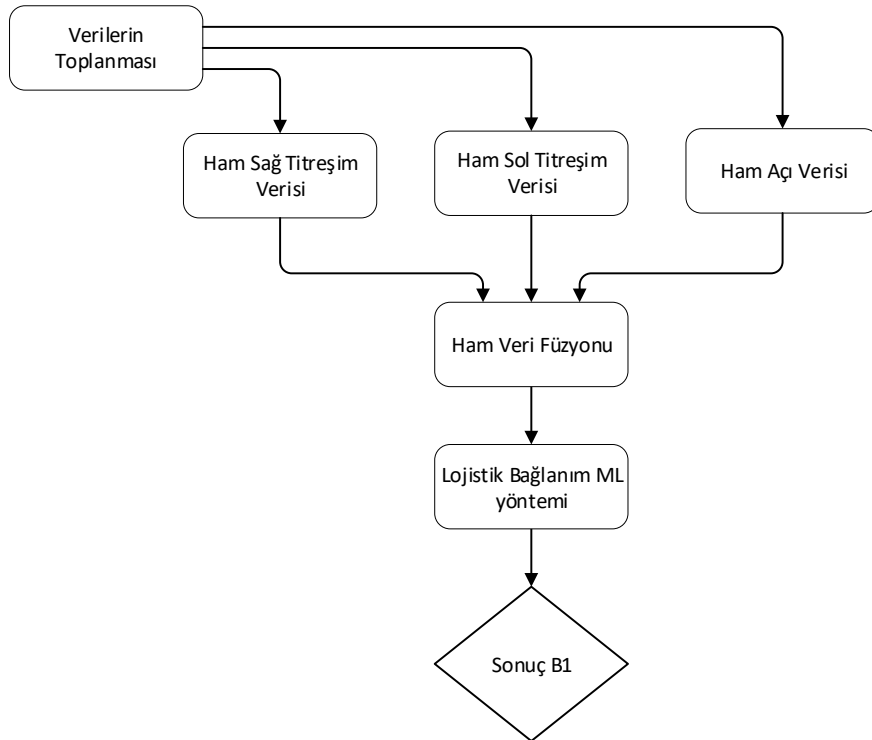
Aşağıdaki Şekil 23'de akış diyagramı verilmiştir. Önce veriler elde edilmiş ve kıyaslanabilirlik açısından farklı şekillerde sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Sensor füzyonu ham veri birleştirmesi yani düşük seviye birleştirme olarak yapılmıştır. Tüm sensörlerin girdileri tek bir karar için kullanılmıştır.

A1 sonucu için sadece bir tekerden gelen titreşim verisi kalman ve Hilbert filtrelerinden geçirilerek ML yöntemi Lojistik Bağlanım kullanılarak elde edildi. A2 sonucu içinse iki tekerden gelen veriler veri füzyonu ile kullanıldı. A3'te tüm veriler kullanıldı.

Şekil 24'de Filtre kullanılmaksızın tüm verilerin füzyonu ile B1 sonucu elde edilmiştir.



Şekil 23: Ham Veriler için Füzyonsuz ve Füzyonlu Akış Şeması



Şekil 24: Ham Veriler için Füzyon Akış Şeması

Uçak üzerine yerleştirilen Raspberry Pi'ye VNC aracılığıyla uzaktan bağlanıldı. Pi içerisinde kurulu olan MU Python 3 programı ile sensörlerin okunması ve kaydedilmesi için program yazıldı. Bu kod ile I²C üzerinden titreşim ve açı verileri alınıp kaydedilmiştir. Verilerin tekrarlanabilirliği için uçak uçurulmadan, %20 motor itkisi durumu için 1500 kadar satır “yerde (WoW=1)” ve yine 1500 satır civarında “havada (WoW=0)” olmak üzere toplamda 3000 satır üzerinde veri toplanmıştır. Makine öğrenmesi çalışmalarında kullanmak için veriler csv formatında github reposuna yüklenmiştir:

'https://raw.githubusercontent.com/atacemrah/WoW-signals/main/vib_accel_TestSet'

GitHub, dağıtılmış sürüm kontrol yazılımıdır ve bulut sistemi üzerinde çalışır. GitHub depolarına bağlanılabilir, indirilebilir böylece yerel bilgisayarda çalışılabilir ve paylaşılan bir repoya bağlanılabilir. Bu şekilde, değişiklikler bir havuza aktarabilir ve çekebilir ve başkalarıyla iş birliği yapılabilir. Repository (repo): Sürüm geçmişleri ile tüm dosyaların depolandığı alandır.

Toplanan veriler ile tablo oluşturuldu. Tablonun her bir satırı üç ana veri öbeğinden ve WoW değerinden meydana gelmektedir: sağ titreşim verileri, sol titreşim verileri ve uçağın açı değerleri. Bu veriler WoW fonksiyonunu gerçekleştirmek için tezin amacına uygun ve yeterlidir. Gelecek çalışmalarda ivme verileri gibi daha çeşitli verilerle genişletilmesine imkân vardır.

Şekil 25’de Raspberry Pi üzerinde çalıştırılan Python kodu ile elde edilen ve csv formatında kaydedilen veriler gösterilmiştir.

3027 lines (3027 sloc) | 149 KB

```
1 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14
2 314.0,17.4,2047.0,2,-6,2,11,1,-17,5,23,5,5,1
3 -195.0,-50.8,2047.0,-2,-10,-5,-5,7,-3,8,0,-3,8,1
4 235.2,395.0,2047.0,-9,-2,9,-10,-1,-9,7,6,-1,10,1
5 208.6,-22.6,2047.0,16,-1,-5,9,-1,2,1,-1,9,-3,1
6 85.6,76.4,2047.0,-7,-1,4,4,1,2,2,-15,-3,19,1
7 -733.4,-416.2,2047.0,9,-10,-1,-7,-4,-7,10,10,6,6,1
8 292.6,-0.6,2047.0,-10,1,19,-2,5,5,3,-2,3,-1,1
9 1025.0,327.6,2047.0,4,13,-6,-6,20,-3,1,2,6,-2,1
10 351.2,1022.2,2047.0,12,1,20,-2,4,4,0,3,13,-3,1
11 349.4,768.8,2047.0,-22,-22,10,-2,2,2,-6,2,-2,-5,1
12 -43.0,565.0,2047.0,6,0,-5,10,-21,1,25,-20,6,8,1
13 222.2,-26.4,2047.0,-8,-5,-5,-1,4,4,-1,0,-4,8,1
14 -32.0,22.0,2047.0,1,35,4,0,1,3,-7,-16,-6,-2,1
15 -428.4,-112.6,2047.0,5,1,-4,5,17,-11,2,18,2,5,1
16 -41.8,167.4,2047.0,-1,2,-3,4,-1,-2,0,13,-16,-16,1
17 194.2,212.6,2047.0,-29,0,18,-21,-1,6,-2,-2,6,0,1
18 -300.2,-467.8,2047.0,5,-2,7,-7,-4,5,-4,-1,-2,-9,1
19 490.4,1147.8,2047.0,12,5,-7,4,1,-3,6,6,8,8,1
20 -218.0,373.2,2047.0,6,-3,-1,17,6,6,-5,-5,-8,-3,1
21 126.2,-3.0,2047.0,-2,-7,4,4,-3,-3,15,-4,0,-3,1
22 489.6,-22.2,2047.0,5,8,0,0,1,1,-3,-2,5,-3,1
23 377.6,-790.6,2047.0,-5,-3,-10,2,24,1,4,2,0,3,1
24 73.4,131.8,2047.0,4,4,19,0,5,-1,-4,5,18,-3,1
25 -32.6,469.4,2047.0,15,-2,4,-4,-1,3,9,0,0,1,1
26 -75.2,239.2,2047.0,10,10,-3,-4,-8,1,18,-24,13,0,1
27 -163.0,-658.0,2047.0,-6,-6,-1,-1,0,-9,3,13,-6,-2,1
28 -99.6,-733.0,2047.0,2,1,6,-1,-1,7,-1,-5,19,0,1
29 -23.0,-462.8,2047.0,2,1,14,-7,19,-3,2,4,-6,-1,1
.....
```

Şekil 25: Elde edilen CSV formatında veriler

Aşağıdaki Tablo 1’de özet veri seti görülmektedir. Her satırda anlık ölçüm değerleri bulunmaktadır. X, Y ve Z eksenlerine göre açı değerleri, beşer adet sağ ve sol dikeylerden alınan titreşim verileri ve buna karşılık gelen WoW değerini içermektedir. WoW 1’e eşitken teker yerde; 0’a eşitken havada manasındadır. Motor çalışmazken açı değerleri oldukça düzgün gelirken motor titreşimleri başladığında ölçümü çok etkilemektedir.

Tablo 1: Özet veriler tablosu

	AccX_Axis	AccY_Axis	AccZ_Axis	LeftVib1	RightVib1	LeftVib2	RightVib2	LeftVib3	RightVib3	LeftVib4	RightVib4	LeftVib5	RightVib5	WoW
0	314.0	17.4	2047.0	2	-6	2	11	1	-17	5	23	5	5	1
1	-195.0	-50.8	2047.0	-2	-10	-5	-5	7	-3	8	0	-3	8	1
2	235.2	395.0	2047.0	-9	-2	9	-10	-1	-9	7	6	-1	10	1
3	208.6	-22.6	2047.0	16	-1	-5	9	-1	2	1	-1	9	-3	1
4	85.6	76.4	2047.0	-7	-1	4	4	1	2	2	-15	-3	19	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3021	-16.8	-394.6	2047.0	-166	149	4	-1	3	48	-31	-28	-31	14	0
3022	-51.8	253.4	2047.0	-51	12	30	30	30	-6	5	-20	-8	5	0
3023	104.6	427.8	2047.0	47	-38	-5	10	46	46	4	4	47	47	0
3024	153.0	219.0	2047.0	1	106	-102	24	-6	24	-4	-22	3	-28	0
3025	-367.0	74.4	2047.0	53	9	-15	-11	-129	69	-1	2	0	28	0

WoW dağılımı aşağıdaki Tablo 2’de verilmiştir:

Tablo 2: WoW dağılım tablosu

WoW Dağılımı:	
0	1523
1	1503

Şekil 26’de CSV formatındaki ham verilerin GitHub’tan alınıp df adında veri tablosu (data frame) olarak içeri çekildi. Sütunlara uygun isimler verildi. Verilerin değer dağılımları ve veri setinin sağlığı Tablo 3’de görülmektedir. Veri seti sensörler ile elde ettiğimiz için herhangi boşluk ya da geçersiz değer oluşmadı. Ancak çevrim için sensör çalışmalarında parazitlerden veya başka sebeplerden dolayı hatalar oluşabilir. Bunların kontrol edilmesi gerekecektir.

```

1 df = pd.read_csv('https://raw.githubusercontent.com/atacemrah/WoW-signals/main/vib_accel_TestSet')
2
3 df.columns = ['AccX_Axis', 'AccY_Axis', 'AccZ_Axis', 'LeftVib1', 'RightVib1', 'LeftVib2', 'RightVib2',
4               'LeftVib3', 'RightVib3', 'LeftVib4', 'RightVib4', 'LeftVib5', 'RightVib5', 'WoW']

```

Şekil 26: CSV formatında verilerin alınması ve isimlendirilmesi

Tablo 3: Verilerin durumu

RangeIndex: 3026 entries, 0 to 3025				
Data columns (total 14 columns):				
#	Column	Non-Null Count	Dtype	
---	-----	-----	-----	
0	AccX_Axis	3026 non-null	float64	
1	AccY_Axis	3026 non-null	float64	
2	AccZ_Axis	3026 non-null	float64	
3	LeftVib1	3026 non-null	int64	
4	RightVib1	3026 non-null	int64	
5	LeftVib2	3026 non-null	int64	
6	RightVib2	3026 non-null	int64	
7	LeftVib3	3026 non-null	int64	
8	RightVib3	3026 non-null	int64	
9	LeftVib4	3026 non-null	int64	
10	RightVib4	3026 non-null	int64	
11	LeftVib5	3026 non-null	int64	
12	RightVib5	3026 non-null	int64	
13	WoW	3026 non-null	int64	

3.2. Verilerin İşlenmesi

Google Collaboratory (Bilinen adıyla: Colab), Google'ın ücretsiz olarak web üzerinden sunduğu, makine öğrenmesi (yapay zeka ve derin öğrenme) projeleri üzerinde çalışanlara yönelik bir programlama alanıdır. Etkileşimli, bulut tabanlı, hızlı kullanıma yöneliktir. Herhangi bir cihazdan erişilebilmektedir ve önceden tanımlı kütüphaneleri içerir. Ayrıca ortak çalışmaya dayalı olduğundan ortak projeler çalışılabilir. Kurulum gerektirmez. Ücretli versiyonları da olan bu hizmet, Google Colab, 2017 yılında piyasaya sürüldü. Bu tez çalışmasında ücretsiz sürüm Colab kullanılmıştır.

Gerekli yüklemeler ve içeri dahil etmeler öncelikle yapıldı. Şekil 27'de gösterilmektedir.

Pandas kütüphanesi, verilerin işlenmesi hazırlanması için matrisler veriler data çerçeveleri üzerine hazırlanmış bir kütüphanedir. NumPy ve SciPy kütüphaneleri sayısal işlemler için kullanılırken matplotlib ise veri görselleştirmede kullanılan kütüphanedir []. Ayrıca SciPy kütüphanesi Hilbert dönüşümü içinde kullanıldı. Pykalman kütüphanesi ise kalman filtresi için

kullanıldı. Sklearn kütüphanesi, lojistik bağlanım için etkili bir kütüphanedir. 2007 yılında doğmuş ve günümüzde French Institute for Research in Computer Science and Automation’da çalışan araştırma grubu tarafından yönetilmektedir[.].

```
1 !pip install filterpy
2 !pip install pykalman

1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import seaborn as sns
5 import warnings
6
7 from sklearn.model_selection import train_test_split
8 from sklearn.linear_model import LogisticRegression
9 from sklearn.metrics import accuracy_score
10 from sklearn.metrics import confusion_matrix as cm
11
12 # Import a Kalman filter and other useful libraries
13 from pykalman import KalmanFilter
14 from scipy import poly1d
15 from scipy.signal import hilbert, chirp
16
17 warnings.filterwarnings("ignore")
18 %matplotlib inline
```

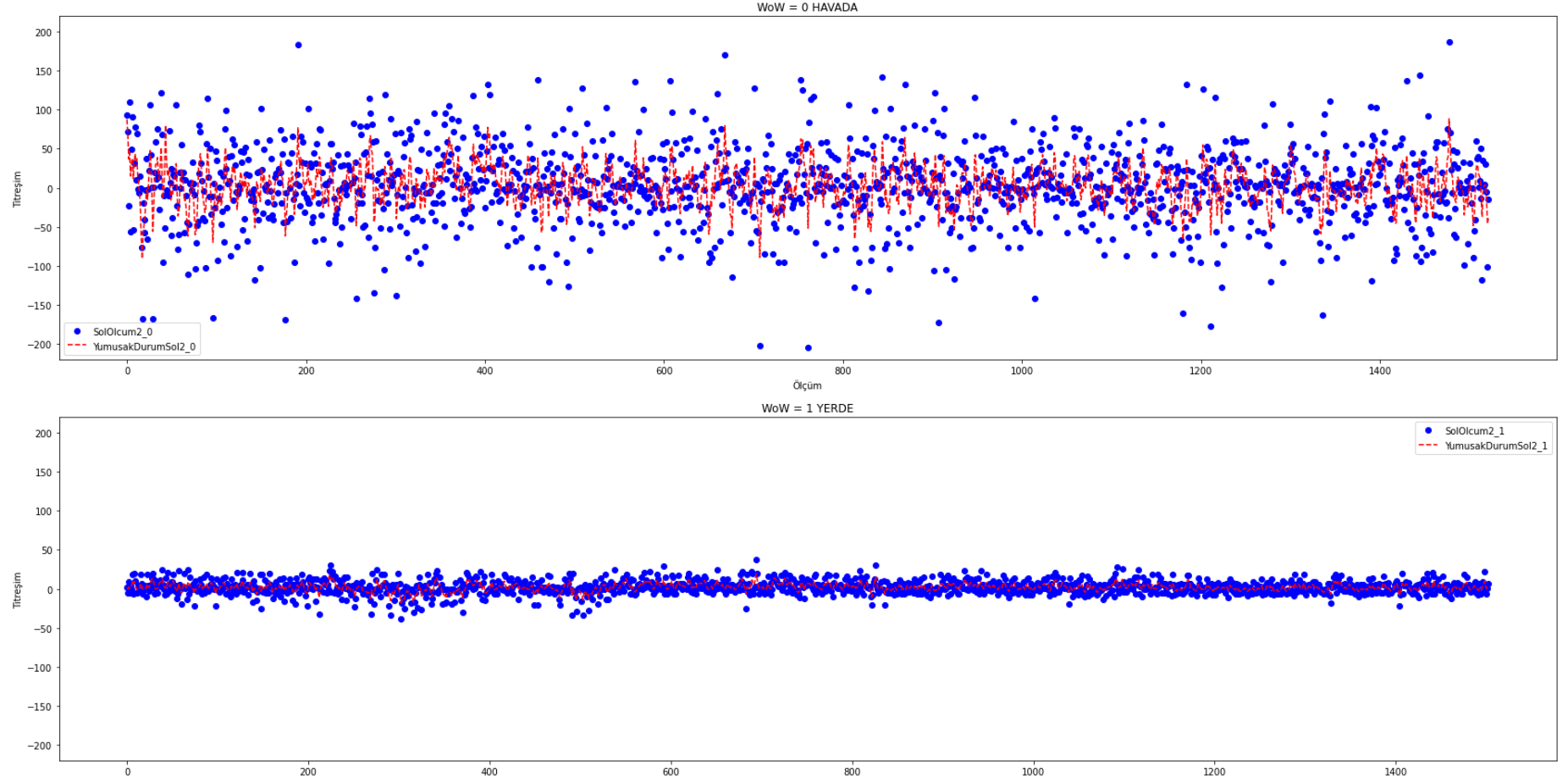
Şekil 27: Colab Gerekli yüklemeler ve kütüphaneleri dahil etme

Veri seti üzerine kalman filtresi uygulamak için veriler hazırlandı, her sütun dizi olacak şekilde ve WoW değerlerine göre ayrıştırıldı. Burada WoW değerine göre veriyi ayrıştırmamızın nedeni kalman filtresinin geçmişten etkilenmesinden ötürüdür. $WoW=0$ ’dan $WoW=1$ ’e geçişte $WoW=0$ ’ın titreşim değerleri $WoW=1$ ’in değerlerine etki edecektir. Şekil 28’de Kalman’ın uygulanışı gösterilmiştir. X eksenindeki aç verisi üzerine uygulanan filtrede geçiş ve gözlem matrisleri tüm veriler için ortaktır, başlangıç değeri olarak her veri dizisinin ilk değerleri kullanılmıştır.

```
80 GecisMatrisi = [[1, 1, 0, 0],
81                [0, 1, 0, 0],
82                [0, 0, 1, 1],
83                [0, 0, 0, 1]]
84
85 GozlemMatrisi = [[1, 0, 0, 0]]
86
87 #WoW sonucuna göre ayrılan diziler tek iterasyonlu Kalman geçirildi ve verinin uç noktaları yumuşatıldı
88 kfx_0 = KalmanFilter(transition_matrices = GecisMatrisi,
89                     observation_matrices = GozlemMatrisi,
90                     initial_state_mean = BaslangicDurumX_0)
91
92 kfx_0 = kfx_0.em(XivmeOlcum_0, n_iter=1)
93 (YumusakDurumX_0, YumusakKovaryansX_0) = kfx_0.smooth(XivmeOlcum_0)
94
95 kfx_1 = KalmanFilter(transition_matrices = GecisMatrisi,
96                     observation_matrices = GozlemMatrisi,
97                     initial_state_mean = BaslangicDurumX_1)
```

Şekil 28: Kalman filtresi uygulanışı

Şekil 29’de örnek olarak sol dikme titreşim verisinin ikinci sütun (‘LeftVib2’) dizisinin ham hali mavi, kalman filtresi uygulanmış hali kırmızı olarak gösterilmiştir. Tüm veri seti Kalman filtresinden geçirildi ve df2 olarak isimlendirildi.



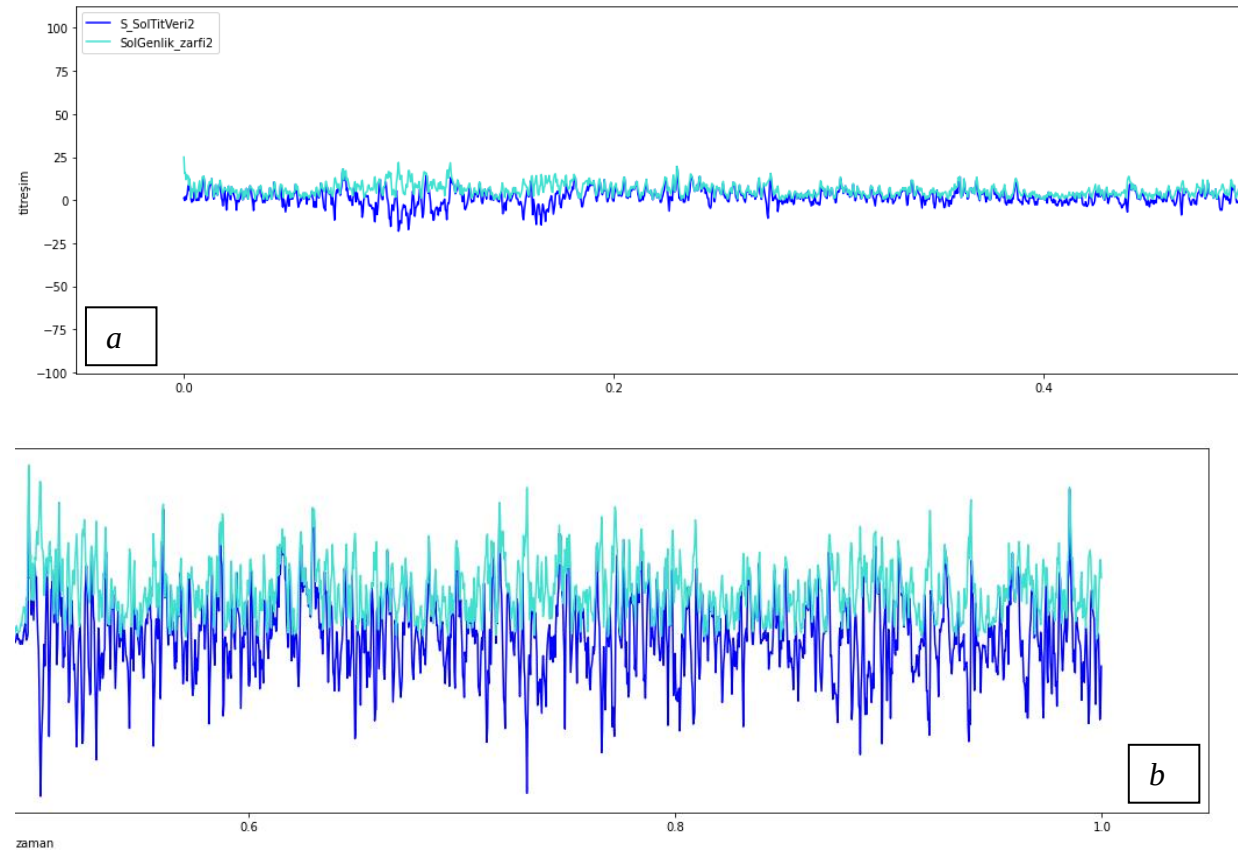
Şekil 29: Örnek ham veri ve Kalman filtresi cevabı

Şekil 30’da df2 veri setinin Hilbert dönüşümü için hazırlanması ve dönüşümün gerçekleştirilmesi gösterilmektedir. Önce analitik sinyal elde edilir (Şekil 30’daki örnekte: “SolAnalitik_sinyal1”) sonra sinyalin genliği elde edilir (Şekil 30’daki örnekte: “SolGenlik_zarfı1”).

```
1 S_SolTitVeri1 = df2.LeftVib1
2 S_SolTitVeri2 = df2.LeftVib2
3 S_SolTitVeri3 = df2.LeftVib3
4 S_SolTitVeri4 = df2.LeftVib4
5 S_SolTitVeri5 = df2.LeftVib5
6 S_SagTitVeri1 = df2.RightVib1
7 S_SagTitVeri2 = df2.RightVib2
8 S_SagTitVeri3 = df2.RightVib3
9 S_SagTitVeri4 = df2.RightVib4
10 S_SagTitVeri5 = df2.RightVib5
11
12 SolAnalitik_sinyal1 = hilbert(S_SolTitVeri1)
13 SolGenlik_zarfı1 = np.abs(SolAnalitik_sinyal1)
.....
```

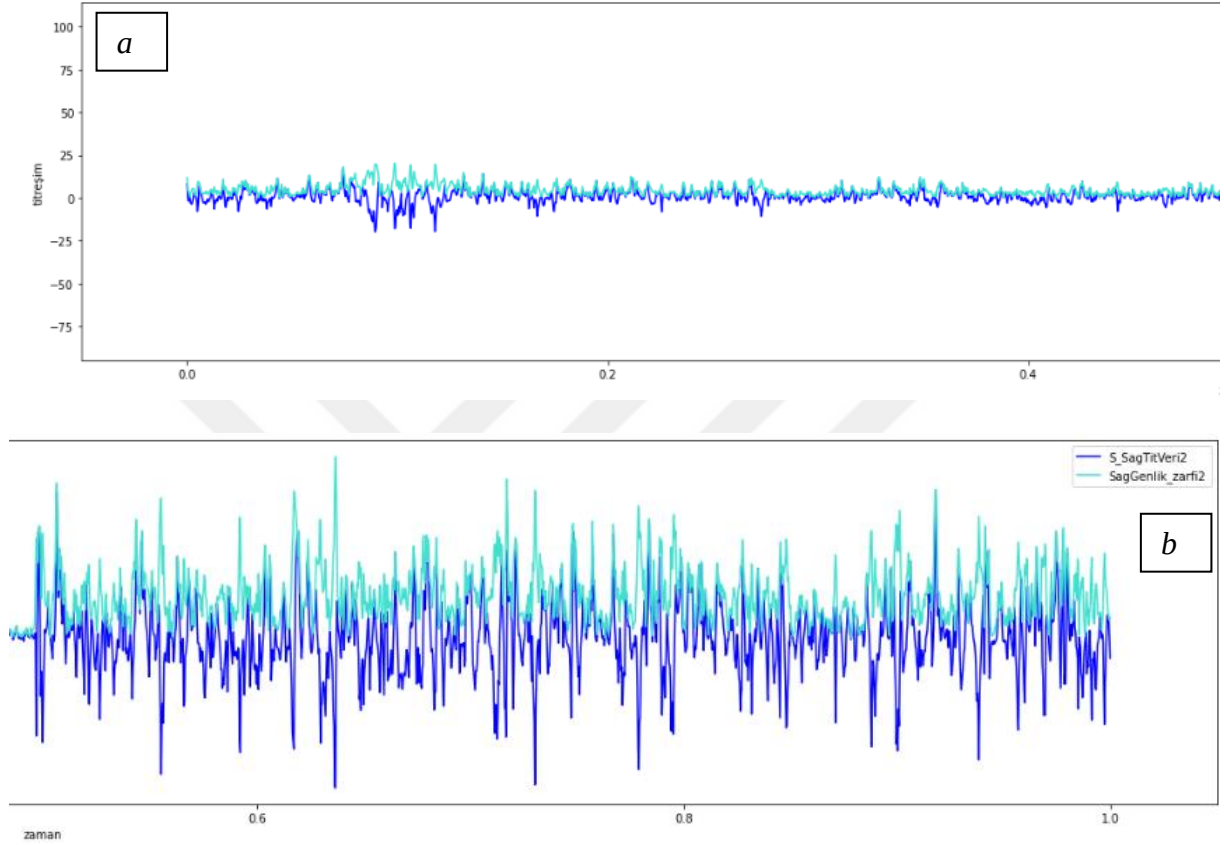
Şekil 30: df2 verilerinde Hilbert dönüşümünün uygulanması

df2 veri tablosundan örnek bir “S_SolTitVeri2” ile bunun Hilbert dönüşümü genliği Şekil 31’de gösterilmiştir. Grafik uzun olduğu için ikiye bölünerek verilmiştir. Resmin *a* bölümünde WoW=1 yani teker yerdeyken çıkan grafikler, *b* de ise havada iken çıkan grafikler. Mavi olan sadece Kalman filtresinden geçmiş olan sonuçtur. Turkuaz renkli grafik ise Hilbert dönüşümünün pozitif büyüklüğü, genlik zarfını göstermektedir.



Şekil 31: Sol teker için Hilbert dönüşümünün grafik sonucu

df2 veri tablosundan “*S_SagTitVeri2*” ile bunun Hilbert dönüşümü genliği Şekil 32’de gösterilmiştir. Grafik uzun olduğu için ikiye bölünerek verilmiştir. Resmin *a* bölümünde *WoW=1* yani teker yerdeyken çıkan grafiktir, *b* de ise havada iken çıkan grafiktir. Mavi olan sadece Kalman filtresinden geçmiş olan sonuçtur. Turkuaz renkli grafik ise Hilbert dönüşümünün pozitif büyüklüğü, genlik zarfını göstermektedir.



Şekil 32: Hilbert dönüşümünün grafik sonucu

Bu çalışmada 3-eksen açı değerleri de kullanılmıştır. Ancak uçak gerçek bir uçuş yapmadığı için değerler neredeyse tekdüzedir o nedenle bu verilerde Hilbert dönüşümü yapılmamıştır.

Veri tablosu df2’nin titreşim verileri Hilbert dönüşümüne tabi tutulduktan sonra df3 tablosuna kaydedildi. Böylece A1-2-3 sonuçları için Lojistik bağlanım yöntemi uygulanarak sonuçlar elde edildi. Eğitim ve test verilerini ayırtırmak için scikit kütüphanesinde hazır olan train_test_split() fonksiyonu kullanıldı. 3026 satır veriden %25’i olan 757 adet rasgele satır test verisi olarak ayrıldı. random_state değişkeni rasgele seçimi değiştirmektedir. O yüzden farklı random_state değerleri denendi. Sonuç olarak verilen doğruluk skoru aşağıdaki formülle bulunur [55,56].

$$kesinlik(y, \hat{y}) = \frac{1}{n_{\text{örnek}}} \sum_{i=0}^{(n_{\text{örnek}}-1)} 1(\hat{y}_i = y_i) \quad (12)$$

Burada y ve $\hat{y}$ sırasıyla girdi ve tahmindir. n girdideki örnek sayısı, i alt indisi kaçınıcı örnek olduğunu göstermektedir. ($\hat{y}_i = y_i$) doğru olduğunda 1 sonucunu verir aksi durumda 0 değerini verir.

Sadece sağ titreşim verilerinin A1 sonucu Şekil 33’de gösterilmiştir. `random_state` değişkenine 5 farklı değer vererek ortalaması alınmıştır. Bunun sonucunda doğruluk değeri 0.989, 0.993, 0.991, 0.995, 0.992 ortalaması olan 0.992 kabul edilebilir.



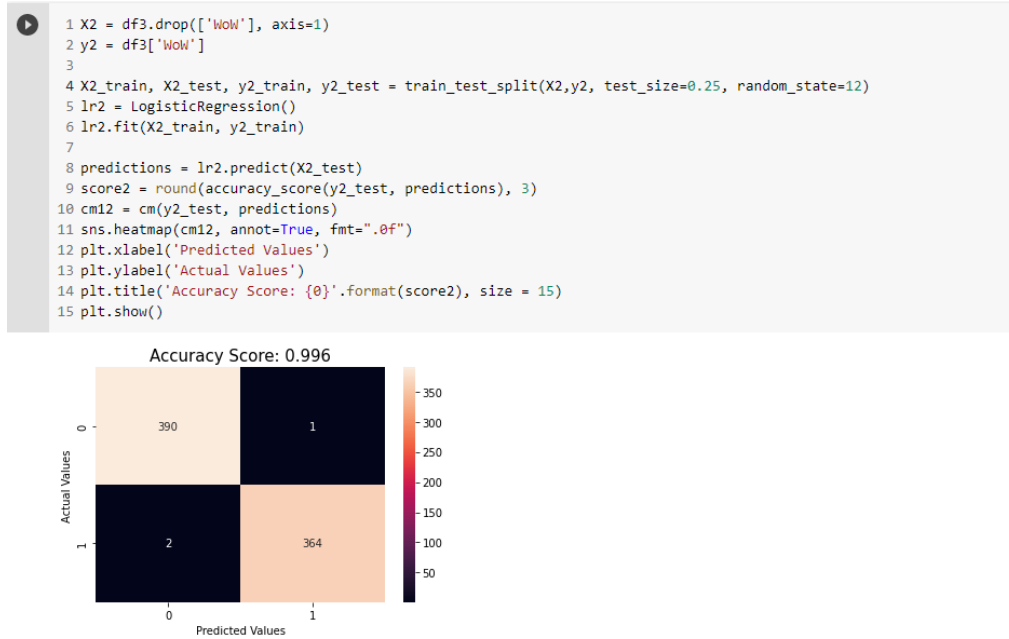
Şekil 33: A1 ML sonucu

Sağ ve sol titreşim verilerinin A2 sonucu Şekil 34’da gösterilmiştir. `random_state` değişkenine 5 farklı değer vererek ortalaması alınmıştır. Bunun sonucunda doğruluk değeri 0.996, 0.997, 1.0, 0.995, 0.992 ortalaması olan 0.996 kabul edilebilir.



Şekil 34: A2 ML sonucu

Sağ ve sol titreşimlerine açı değerleri de eklendi, böylece A3 elde edilmeye çalışıldı. Sonucu Şekil 35’da gösterilmiştir. random_state değişkenine 5 farklı değer vererek ortalaması alınmıştır. Bunun sonucunda doğruluk değeri 0.997, 0.995, 1.0, 0.994, 0.993 ortalaması olan 0.996 kabul edilebilir.



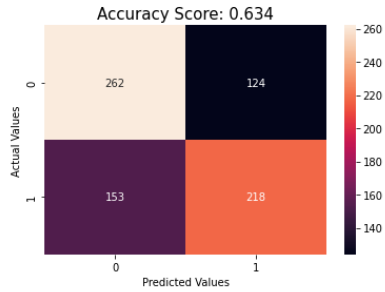
Şekil 35: A3 ML sonucu

Tüm verilerin olduğu ancak filtre edilmediği veri seti df’de B1 sonucu Şekil 36’de

gösterilmiştir. Random_state değişkenine 5 farklı değer vererek ortalaması alınmıştır. Bu doğruluk değeri ise 0.634 kabul edilebilir.

```
[90] 1 X = df.drop(['WoW'], axis=1)
      2 y = df['WoW']
      3 print('WoW Distribution:')
      4 print(y.value_counts()) #hedef değişkenin dağılımı yazdırılır

[97] 1 X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X,y, test_size=0.25, random_state=8)
      2 lr = LogisticRegression()
      3 lr.fit(X_train, y_train)
      4
      5 predictions = lr.predict(X_test)
      6 score = round(accuracy_score(y_test, predictions), 3)
      7 cm1 = cm(y_test, predictions)
      8 sns.heatmap(cm1, annot=True, fmt=".0f")
      9 plt.xlabel('Predicted Values')
     10 plt.ylabel('Actual Values')
     11 plt.title('Accuracy Score: {}'.format(score), size = 15)
     12 plt.show()
```



Şekil 36: B1 ML sonucu

Aşağıdaki Tablo 4 ve Tablo 5'te veriler ve sonuçları topluca verilmiştir. B1 sonuç düşük olduğu için tek eğitimle yetinilmiştir.

Tablo 4: Toplu sonuç durumu

	Eğitim_1	Eğitim_2	Eğitim_3	Eğitim_4	Eğitim_5	SONUÇ
A1	0.989	0.993	0.991	0.995	0.992	0.992
A2	0.996	0.997	1.0	0.995	0.992	0.996
A3	0.997	0.995	0.994	1.0	0.993	0.996
B1	-	-	-	-	-	0.634

Tablo 5: Veri özellikleri durumu

	Veriler	Füzyon	Filtre ve Dönüşüm
A1	Sağ Titreşim	-	Kalman ve Hilbert
A2	Sağ ve Sol Titreşim	Özellik Füzyonu	Kalman ve Hilbert
A3	Sağ ve Sol Titreşim + Açık Değerleri	Özellik Füzyonu	Kalman ve Hilbert
B1	Sağ ve Sol Titreşim + Açık Değerleri	Ham Veri Füzyonu	-

4. SONUÇ

Bu çalışmada, titreşim ve açı/ivme verileriyle uçağın havada mı yerde mi olduğunu belirlemek için makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanımının keşifsel doğrulamasının analizi yapılmıştır. Önerilen WoW sistemi: iniş takımı dikmelerindeki titreşim değişimlerini ölçebilen, 3-eksen açı değerleriyle birleştirilen verilerle çevrim dışı ya da gerçek zamanlı çalışan bir algılama ve pilot bilgilendirme sistemidir. Ön değerlendirmeyi gerçekleştirmek için, RC model uçak ve iniş takımları kullanılmıştır. Amaca uygun olarak, model uçağın üzerine eklenen çeşitli ekipmanlar ve donanımlar sayesinde bir veri kaynağı oluşturulmuştur.

Gelişmekte olan teknoloji sayesinde bilgisayarların işlem gücü artmasıyla beraber toplanabilen veri çeşidinin ve çözünürlüğünün de artması, makine öğrenmesi gibi tekniklerin kullanımı geniş alanlara yaymıştır. Yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi hayatımızda çeşitli alanlarda görmeye başladığımız çalışmaları havacılıkta ve askeri/savunma uygulamalarında da sık yararlanıldığı görülmektedir. Bu tez çalışması da havacılıkta kritik önemi olan WoW fonksiyonu bu açıdan irdelenerek literatüre katkı sağlanmıştır.

İniş takımına bağlanan titreşim sensörü ve açı sensorunden toplanan verilerle uçağın yerde olup olmadığını belirlemek için 3000 satırdan fazla veri seti oluşturuldu. Verilerin yarısı havada iken çeşitli hareketler yaparak, diğer yarısı yerde iken çeşitli hareketleri simule edilerek elde edildi. Her bir satır 5'er adet ardışıl sağ ve sol titreşim verileri ile üç eksen de açı verisinden oluşurken her satıra denk gelen WoW durumu en sağ sütunda verilmiştir. Bu veriler github deposu içinde cvs uzantılı tablo olarak saklanmıştır. Verileri kurulan sistem üzerinden toplandığı için hatalı/boş veri oluşmamıştır. Böylece daha ileriki çalışmalarda aynı veri seti kullanılabilir ve kıyaslamalar yapılabilir bir durumdadır. Veri seti çeşitli sensörlerden geldiği için sensörde veri füzyonu yapmak mümkün olmuştur. Kalman filtresi ve Hilbert dönüşümleri de kullanılarak veri ayarlanması yapılmıştır. Böylece keskin hatalar yumuşatılmış ve hatalı ölçümler azaltılmıştır. Ayrıca verinin pozitif genlik zarfı çıkarılmıştır.

Makine öğrenmesi yöntemlerinden olan lojistik bağlanım kullanıldı. Lojistik bağlanım, dağınık veri setlerinde başarılı sonuçlar verebilmektedir. Toplanan veri setinin %25'i test kalanı eğitim verisi olarak ayarlandı. X_train titreşim ve açı verilerini ihtiva eden eğitim verisi matrisi, y_train ise bunların WoW değerlerini içeren etiket matrisidir. X_test de benzer şekilde titreşim ve açı verilerini içeren eden test verisi matrisi, y_test ise bunların WoW değerlerini içeren etiket matrisidir. Tüm veri seti random_state'e göre rasgele olarak verilen oranda eğitim ve test veri setleri olacak şekilde ayrıldı.

Gelecek çalışmalarda yapay sinir ağları da denenmesi planlanmaktadır. Böylece farkı makine öğrenmesi yöntemleri de kıyaslanma imkânı doğacaktır.

B1 adlı sonuçta, herhangi filtre uygulanmazken ham veri füzyonu ile lojistik bağlanım denenmiştir. Doğruluk sonuçları, yani, 0.6 gibi çok düşük bir değerde. Kritik bir sistem olan WoW doğruya yakın kesinlikte elde edilmelidir. B1'in başarı matrisinde, 153 adet WoW=1 olması gerekirken 0 olarak tahmin edilmiş. Bu oldukça kötü bir sonuçtur.

Kalman filtresinden ve sonra Hilbert dönüşümünden geçip genliği ile elde edilen veri seti üzerinde elde edilen A sonuçları 0.99 üzerinde keskinlikle tatmin edici gözükmemektedir. A1 tek iniş takımı üzerinden gelen veriler ile elde edilmiştir. Füzyon kullanılmayan bu sonuç için, WoW değeri 1 iken 0 olarak tahmin sayısı 3 olarak kalmıştır. WoW değeri gerçekte 0 iken hatalı tahmin sayısı yine 3 adette sınırlı kalmıştır. Verilerin elde edilme hızı 0.01 saniye/satır olduğu düşünülürse bu hatalar kabul edilebilirdir.

A2 sonucunu veren akış şemasında iki iniş takımından da veri gelmektedir. Filtre ve dönümüm uygulandığı için özellik füzyonu uygulanmıştır. Bu başarı kriterini daha da artırmıştır. Doğruluk matrisinde WoW = 0 gerçek değerinde iken hatalı tahmin yoktur. WoW 1 olması gerekirken 3 adet hatalı 0 tahmini gerçekleşmiştir.

Titreşim verilerine açı verilerinin de eklendiği çalışma akış şeması A3'tür. A2 ile benzer keskinlikte olmasının nedeni uçağın gerçek bir uçuş yapmamış olmasıdır. Gerçek bir uçuşta inişlerde ve kalkışlarda yunuslama açısı ve/veya yuvarlanma açıları da gerçekleşeceğinden sonuçları iyi yönde etkileyeceği öngörülebilir. İvme değerleri ise bu yüzden bu çalışmada kullanılmamıştır

Bu sistemde, bir dezavantaj olarak farklı uçakların iniş takımının, gövde yapılarının ve geometrilerinin kendine özgü titreşim verileri oluşmasıdır. Bu durum, farklı tip ve modeldeki her uçak için zahmetli veri elde etme çalışmalarını gerekli kılmaktadır. Bütün yer ve hava operasyonları çalışılıp verilerin kaydedilmesi ve uygun olmayan veri elemanlarının ayıklanması gerekmektedir. Aynı tip uçaklar için bu gerekli görülmemektedir, eğitilmiş modellerin transferi ile doğrulama uçuşları yapılması yeterli görülmektedir.

Sonuç olarak birkaç katmanlı regresyon yöntemleri ve yapay sinir ağları denenerek tek satır veride 100% doğrulukta kesin sonuçlar elde edilebilecek çalışmalara bu tez çalışması katkı sağlamaktadır. Hali hazırda yapılan çalışmalar üç dört satır veri ile doğru WoW fonksiyonu elde edilebilmektedir. Titreşim ve açı verileriyle WoW tahmini daha da geliştirilmesiyle ve daha çeşitli etiketli verilerle bu sistem;

- İniş takımı kapalı.
- İniş takımı açık.
- İniş takımı geçiş durumunda
- Beklenmedik titreşimler ,bakım ihtiyacı
- Sensör uyuşmazlığı

gibi durumların tespitinde de kullanılabilmesine imkân vermektedir. Böylece bu çalışma sensör ve ekipman sağlık yönetimi için de titreşim takibi yapılabileceğini önermektedir. Bozulan sensörün ya da ana bağlantısında gevşeme olan bir dikmenin garip titreşimlerinin takip edilebilmesi sayesinde güvenilir ve gürbüz bir sistem oluşturulmasına temel olmaktadır. Böylece sensor sayısında, dolayısıyla kablo ağırlığı ve karmaşıklığının azalacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada çevrim dışı çalışılsa da verilerin elde edilme hızı yaklaşık 0.01 sn/satır şeklinde olduğundan gecikmeler düşük kabul edilebilir. Bu çevrim için de çalışılabilir demektir. Yani anlık pilot bilgilendirme amaçlandığında bu mümkün olabilecektir Ancak bu gerçek uçan bir model hazırlandığında bu çalışma olgunluğunda dahi görülebilir.

Önerilen WoW izleme sistemi, sensör füzyonu ve lojistik bağlanım ile iniş takımlarının tekerleklerinin yerle temas halinde olup olmadığını, iniş takımlarında yük olup olmadığını tespit etmek için gerçek zamanlı ve sürekli ölçümler yapabilir ve gerekli otomatik bilgileri sağlayabilir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Schmid, R.Kyle (2020), *The Design of Aircraft Landing Gear Volume1-2* SAE International ISBN of 978-0-7680-9942-3
- [2] : Tripero, A.M.G.; Arevalo, J.L.L.; Peña, E.L. *Weight on Wheel System Based on Strain Gauges* ICAS 2012 28th International Congress of the Aeronautical Sciences 2012
- [3] Pieniazek, J. *Vision Based Airplane Localization for Automatic Approach* IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace 2017;
- [4] Cherepinsky, I. Joshua, M. *Leland System for Determining Weight-on-Wheels Using LIDAR*. U.S. Patent Application 10,317,533, 2019
- [5] Bauer, B.M.; Cromwell, C.T. *Failsafe Electromechanical Weight on Wheels Detection* U.S. Patent Application No. 10,466,093, 2019.
- [6] Bradley, M.B.; William, A. Welsh *Vibratory Weight-on-Wheels Sensing* U.S. Patent Application No. 15/746,958, 2020.
- [7] Overview - Society of Automobile Engineers 20.11.2022
<https://www.sae.org/about/>
- [8] Overview - American Institute of Aeronautics and Astronautics 19.11.2022
<https://www.aiaa.org/about>
- [9] Currey, Norman S (1988) *Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practices* AIAA EDUCATION SERIES Wright-Patterson Air Force Base, Ohio
- [10] TRKMEN H., 2020 *Hafif saldırı uağı için burun iniş takımı yapısal tasarımı ve analizi* 2020- 632978 Uçak ve Uzay Mühendisliği Programı İstanbul Teknik Üniversitesi
- [11] KOÇAK S., 2021 *Burun iniş takımı sisteminde shimmy davranışının modellenmesi, analizi, testi ve kontrolü* 2021-660783 Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı İstanbul Teknik Üniversitesi
- [12] FATİH YILDIZ 2021 *An algorithm for designing nonlinear springs, or nonlinear dampers, using a mechanical force generator and its application to an aircraft landing gear* 2021-704503 Makine Mhendisliđi Programı Orta Dođu Teknik Üniversitesi
- [13]Cher Ming Tana, Kok Meng Anga, Liang Huat Tayb, Tan Yeow Mengc, *Investigation of weight-on-wheel switch failure in F-16 aircraft* doi:10.1016/j.engfailanal.2004.09.003

- [14] Chollet F., *Deep Learning with Python* Shelter Island, NY 11964, ©2018 by Manning Publications
- [15] Goodfellow I, Bengio Y, Courville A, *Deep Learning* The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England 2016
- [16] Géron, A. , *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow, 2nd Edition* Publisher(s): O'Reilly Media, Inc. ISBN: 9781492032649
- [17] Luong, Q.V.; Jang, D.-S.; Hwang, J.-H. *Intelligent Control Based on a Neural Network for Aircraft Landing Gear with a Magnetorheological Damper in Different Landing Scenarios*. Appl. Sci. 2020, 10, 5962. doi.org/10.3390/app10175962
- [18] Konar, A. *Computational Intelligence: Principles, Techniques and Applications*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2005; ISBN 3-540-20898-4.
- [19] Tian, Y.; Pei, K.; Jana, S.; Ray, B. *DeepTest: Automated testing of deep-neural-network-driven autonomous cars*. In Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering—ICSE’18, Gothenburg, Sweden, 27 May–3 June 2018
- [20] Mosavi A., Varkonyi A. *Learning in Robotics* 2017 International Journal of Computer Applications 157(1):975-8887 doi: 10.5120/ijca2017911661
- [21] Parker G., Zbeda R. *Learning Area Coverage for a Self-Sufficient Hexapod Robot Using a Cyclic Genetic Algorithm*. IEEE Syst. J. 2014, 8, 778–790
- [22] Holmes, G.; Sartor, P.; Reed, S.; Southern, P.; Worden, K.; Cross, E. *Prediction of landing gear loads using machine learning techniques*. Struct. Health Monit. 2016, 15, 568–582
- [23] Baojia C., Xuefeng C., Li B., He Z., Cao H., Cai G. *Reliability estimation for cutting tools based on logistic regression model using vibration signals* 0888-3270/\$ - see front matter & 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/j.ymssp.2011.03.001
- [24] Wangac Z. , Qibd P., Baiac N., Liubd X., Jiaoac Z. *A novel aircraft anti-skid brake control method based on multi-objective model predictive control for suppressing landing gear walk vibration* Aerospace Science and Technology Volume 132, January 2023, 108062 doi.org/10.1016/j.ast.2022.108062
- [25] MGM, *Hezârfen Ahmed Çelebi Kimdir ?* 14.12.2021 tarihinde <https://hezarfen.mgm.gov.tr/Genel/HezfAhmet.aspx> sitesinden alındı.

[26] National Memorial North Carolina *Virtual Celebration of First Flight 2020* 01.12.2021 tarihinde

<https://www.nps.gov/wrbr/learn/december-17-2020.htm>

sitesinden alındı.

[27] Seabridge A., Moir I. *Design and Development of aircraft Systems* Wiley ISBN: 978-1-119-61150-9 April 2020

[28] T.H.G. Megson. Published by Elsevier Ltd. *Aircraft Structures for engineering students Sixth Edition* Copyright © 2017, 2013, 2007, 1999 Oxford OX5 1GB, United Kingdom

[29] CESA, *Weight-On-Wheel system* 21.12.2021 tarihinde

https://www.cesa.aero/en/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=75

sitesinden alındı.

[30] Schmid R.K. *Advances in Aircraft Brakes and Tires* 2020 SAE International with a Product Code of PT-171, ISBN of 978-0-7680-8236-4

[31] Subasi A. *Practical Machine Learning for Data Analysis Using Python* 2020 Elsevier <https://doi.org/10.1016/C2019-0-03019-1>

[32] Bartosika A., Whittinghamb H. - *Evaluating safety and toxicity The Era of Artificial Intelligence, Machine Learning, and Data Science in the Pharmaceutical Industry.* doi.org/10.1016/B978-0-12-820045-2.00008-8 2021 Elsevier Inc. All rights reserved.

[33] Cramer JS. *The origins of logistic regression* 2002 Tinbergen Institute Working Paper No 2002-119/4 2002. <https://doi.org/10.2139/ssrn.360300>.

[34] A.D.Dongare, R.R.Kharde, Amit D.Kachare *Introduction to Artificial Neural Network* July 2012 International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)

[35] M. Jahnavi, *Introduction to Neural Networks, Advantages and Applications, towards Data Science*, 10 Ocak 2022

<https://towardsdatascience.com/introduction-to-neural-networks-advantagesand-applications-96851bd1a207>

[36] S. Haykin, *Neural Networks and Learning Machines*, third ed., McMaster University Hamilton, Ontario, Canada, 2009.

[37] Abiodun O. I., Jantan A., Omolara A. E., Dada K. V., Mohamed N. A., Arshad H. *State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey* Heliyon 4 (2018) e00938. doi:

10.1016/j.heliyon.2018.e00938

[38] POLAT M. YILDIRIM L. T *FİZ 217 TİTREŞİM ve DALGALAR*, 10.01.22 tarihinde

<https://yunus.hacettepe.edu.tr/~polat/FIZ217-DERS-NOTLARI.pdf> sitesinden alınmıştır

[39] Kırıl Z. MEKANİK TİTREŞİMLER DERS NOTLARI, 10.01.22 tarihinde

https://mustafaeroglu.sakarya.edu.tr/sites/mustafaeroglu.sakarya.edu.tr/file/Mekanik_Titresimler_Ders_Notlari_Zeki_Kiral.pdf sitesinden alınmıştır

[40] Rinner B., Quaritsch M. *Embedded Middleware for Smart Camera Networks and Sensor Fusion* 2009 Elsevier DOI: 10.1016/B978-0-12-374633-7.00022-7

[41] J. Llinas, D.L. Hall, *An introduction to multi-sensor data fusion*, IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 1998.

[42] D.L. Hall, J. Llinas, *Handbook of Multisensor Data Fusion*, CRC Press, 2001.

[43] Wilfried E. *An Introduction to Sensor Fusion Research Report 47/2001* Institut für Technische Informatik Vienna University of Technology, Austria wil@vmars.tuwien.ac.at November 19, 2002

[44] B. V. Dasarthy. *Sensor fusion potential exploitation-innovative architectures and illustrative applications*. IEEE, 85:24–38, January 1997.

[45] H. F. Durrant-Whyte. Sensor models and multisensor integration. *International Journal of Robotics Research*, 7(6):97–113, December 1988.

[46] MATLAB MathWorks 27.11.2022 *Kalman Filters*

<https://www.mathworks.com/videos/series/understanding-kalman-filters.html>

[47] Lacey T., *Chapter 11 Tutorial: The Kalman Filter* 28.11.2022 tarihinde

<https://web.mit.edu/kirtley/kirtley/binlustuff/literature/control/Kalman%20filter.pdf>

sitesinden alındı

[48] WPilib 10.12.2022 *Durum denetleyicisi ve Kalman Filtreleri*

<https://docs.wpilib.org/tr/stable/docs/software/advanced-controls/state-space/state-space-observers.html>

[49] MATLAB MathWorks 10.12.2022 tarihinde *Hilbert Transform*

<https://www.mathworks.com/help/signal/ug/hilbert-transform.html>

- [50] Frank R. Kschischang *The Hilbert Transform* University of Toronto October 22, 2006; updated March 10, 2015
- [51] SciPy 11.12.2022 *Hilbert Transform*
<https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.signal.hilbert.html>
- [52] Huageng Luo, Xingjie Fang, and Bugra Ertas *Hilbert Transform and Its Engineering Applications* AIAA JOURNAL Vol. 47, No. 4, April 2009
- [53] Karatoprak, H.E. *Improved Hilbert Huang Transform Supported By Machinelearning Algorithms For Signal Analysis* 2019 Department of Electrical EngineeringElectrical Engineering Programme
- [54] Scikit-Learn Library 10.12.2022 *Regression Metrics*
https://scikit-learn.org/stable/modules/model_evaluation.html#regression-metrics
- [55] StackOver Flow 15.12.2022 *The Accuracy score*
<https://stackoverflow.com/questions/37665680/how-does-sklearn-compute-the-accuracy-score-step-by-step>
- [56] Ataç E., Gökmen G. Uçaklarda *Teker-Yerde Sinyalinin Sensor Füzyonu – Makine Öğrenmesi İle Analizi* International Marmara Sciences Congress (Imascon Autumn) 2021 Proceedings Book, 10-11 ARALIK 2020, KOCAELİ
- [57] Ataç, E. , Yıldız, K. & Ülkü, E. E. (2021). *Use of PID control during Education in Reinforcement Learning on Two Wheel Balance Robot* . Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology , 9 (4) , 597-607 . DOI: 10.29109/gujsc.955562
- [58] Pazmany L. *Landing Gear Design for Light Aircarft* 1986 Pazmany Aircraft Corporation, San Diego Calif.
- [59] Pazmany L. *Main Gear Design & Trade-offs* June 20, 2010 Pazmany Aircraft Corporation, San Diego Calif.
- [60] Federal Aviation Administration *Aviation Handbooks & Manuals* 12.11.2022
https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/
- [61] Tüba - Türkiye Bilimler Akademisi Başkanlık *Mühendislik Sözlüğü* 05.01.2022
<http://www.tubaterim.gov.tr>

[62] TBD Terim Sözlüğü *Türkiye Bilişim Derneği Bilişim Terimleri Karşılıkları Sözlüğü* 05.01.2022

<http://eski.tbd.org.tr/index.php>

[63] The Raspberry Pi Foundation *About* 26.11.2022 tarihinde

<https://www.raspberrypi.org/about/>

[64] Anderson, John D. (2010), *AIRCRAFT PERFORMANCE AND DESIGN* , Tata McGraw-Hill Edition 2010 The McGraw-Hill Companies, Inc.

[65] BULUZ B, AYYUCE KIZRAK,M. ve GÜRPINAR C. Stanford CS 229 — *Makine Öğrenmesi*, CS 230 — *Derin Öğrenme ve CS 221 — Yapay Zekâ El Kitapları* 01.11.2021 tarihinde:

<https://medium.com/yavuzkomecoglu/stanford-cs-229-makine-%C3%B6%C4%9Frenmesi-ve-cs-230-derin-%C3%B6%C4%9Frenme-el-kitaplar%C4%B1-art%C4%B1k-t%C3%BCrk%C3%A7e-ed734ad76bed>

[66] Sparkfun *I2C* 07.10.2022

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c/all>

[67] Wheelan C. *Çıplak İstatistik*, 2018 Ankara, Buzdağı Yayın Evi

[68] Alfred, J.S.; Sibello, M.; Worsham, R.E. II System and Method for Rotorcraft-Weight-on-Wheels Flight State Transition Control. U.S. Patent Application 10,766,613, 8 September 2020.

[69] Chen, G. *Approximate Kalman Filtering* doi.org/10.1142/1990 | August 1993 World Scientific

[70] Chui, C. K. and Chen, G. *Kalman Filtering with Real-time Applications* 1991 Springer Verlag. ISBN: 978-3-662-02508-6

[71] Grewal, .S. and Andrews, A.P. (1993), *Kalman Filtering Theory and Practice* Prentice Hall.

[72] Brindisi, A. Vendittozzi, C. Travascio, L. Di Palma, L. Belardo, M. Ignarra, M. Fiorillo, V.; Concilio, A. *Preliminary Assessment of an FBG-Based Landing GearWeight on Wheel System*. Actuators 2022, 11, 191. <https://doi.org/10.3390/act11070191>

[73] EROL B., CANTEKİN R. F., KARADENİZ KARTAL S., HACIOĞLU R., GÖRMÜŞ K. S., KUTOĞLU Ş. H., LEBLEBİCİOĞLU M. K. 2021 *İnsansız Sualtı Aracı Hareketinin Kalman Filtre ile Kestirimi ve Makine Öğrenmesi ile İyileştirilmesi*

Int. J. Adv. Eng. Pure Sci. 2021, ASYU 2020 Special Issue: 67-77 Doi: 10.7240/jeps.897500

[74] Huang, N. E. *Introduction to the Hilbert-Huang Transform and Its Related Mathematical Problems*. In *Hilbert-Huang transform and its applications* Singapore: 2014 World Scientific

[75] de Mello, F.L.; Hecker, D.; Thielecke, F.; Kienitz, K.H. *Weight-on-Wheel Detection and Ground-Flight-Mode Switching for UAVs*. In Proceedings of the XII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, Natal-RN, Natal, Brazil, 25 October 2015;

[76] Keith B. HerbertSunil J. Jinadasa CN108820250B, *Airplane off ground advisory system* Publication of US9221556B2, Patent 2015

[77] Ding H., Wu J., Wu Y., Zhu Y., Tang M., Huang Z., Jiang L. CN108216584B, *Aircraft grounding state monitoring method*, Publication of EP2557542B1 Patent 2017

[78] Loren M., Mellor R. EP2489591B1, *Air-ground detection system for semi-levered landing gear* Publication of EP2489591B1 Patent 2017

Akademik Yayın:

- Ataç E., Gökmen G. *Uçaklarda Teker-Yerde Sinyalinin Sensor Füzyonu – Makine Öğrenmesi İle Analizi* International Marmara Sciences Congress (Imascon Autumn) 2021 Proceedings Book, 10-11 ARALIK 2020, KOCAELİ
- Ataç, E. , Yıldız, K. & Ülkü, E. E. (2021). Use of PID control during Education in Reinforcement Learning on Two Wheel Balance Robot . Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology , 9 (4) , 597-607 . DOI: 10.29109/gujsc.955562

