



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**DÖNERKANAT TİPİNDE İHA İÇİN AKILLI
KONTROLCÜ TASARIMI**

Osman ÇAKIR

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Yrd. Doç Dr. Tolga YÜKSEL

BİLECİK, 2018

Ref. No: 10185022



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**DÖNERKANAT TİPİNDE İHA İÇİN AKILLI
KONTROLCÜ TASARIMI**

Osman ÇAKIR

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Yrd. Doç Dr. Tolga YÜKSEL

BİLECİK, 2018



BİLECİK ŞEYH EDEBALI UNIVERSITY

Graduate School of Sciences

Electrical and Electronics Engineering Program

**AN INTELLIGENT CONTROLLER DESIGN FOR
QUADROTOR TYPE UAV**

Osman ÇAKIR

Master of Science Thesis

Thesis Advisor

Assist. Prof. Dr. Tolga YÜKSEL

BİLECİK, 2018



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 31/01/2018 tarih ve 8 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 28/02/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Osman ÇAKIR'ın "*Dönerkanat Tıptında İha İçin Akıllı Kontrolcü Tasarımı*" başlıklı tez çalışması Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Tolga YÜKSEL

ÜYE : Doç. Dr. Semih ERGİN

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Gürhan ERTAŞGIN

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
..... tarih ve sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bana her türlü sabrı gösteren tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Tolga YÜKSEL'e, yüksek lisans ve tüm eğitim hayatım boyunca üzerimde emeği geçen tüm hocalarıma, üniversitemizin değerli üyelerine ve sevgili Ozi'ye içtenlikle teşekkür ederim.

Hayat boyu dua ve destekleriyle yanımda olan Aileme, Eşime, Çocuklarıma ve arkadaşım Beşir'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Osman ÇAKIR

Şubat, 2018



ÖZET

Bu tez çalışmasında klasik PD kontrolcülere alternatif olarak akıllı bir yapı olan Yapay Sinir Ağı kullanılarak günümüz yaygın insansız hava araçlarında dönerkanatlı insansız hava aracının kontrolüne odaklanılmıştır.

Çalışmada klasik PD kontrolcüler ile dönerkanat insansız hava aracının kontrolü ile ilgili benzetim çalışmaları yapılmış ve gürültü içeren senaryo için insansız hava aracının davranışı gözlemlenmiştir. Devamında 256 farklı yörünge için PD kontrolcülü benzetimler yapılmış, burada alınan eğitim verileriyle iç döngüdeki yuvarlanma, yunuslama, yalpalama ve z'ye ait ileri beslemeli yapay sinir ağları eğitilerek PD kontrolcülerin yerini almıştır. Daha sonra tek eğitim yörüngesiyle eğitilmiş yapay sinir ağlarıyla benzetimler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan dönerkanat insansız hava aracı için yapay sinir ağı kontrolcülerin klasik PD kontrolcüler yerine geçebileceği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Dönerkanat; İHA; Kontrolcü

ABSTRACT

In this thesis study, it is focused on the control of quadrotor, which is a common unmanned aerial vehicle, using the Artificial Neural Network, which is an intelligent structure as an alternative to the classical PD controllers.

In the study, simulations are carried out with respect to the control of the unmanned aerial vehicle with conventional PD controllers, and the behavior of the unmanned aerial vehicle is observed for the scenario involving noise. In the following, PD controller simulations are made for 256 different trajectories, then PD controllers are replaced by feedforward neural networks which are trained by using these training data regarding roll, pitch, yaw, and z in the inner loop. Then, simulations are implemented using artificial neural networks trained by a single training trajectory. From the results obtained, it is shown that artificial neural network controllers can be substituted for classical PD controllers for quadrotors.

Key words: Quadrotor; UAV; Controller

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI	
TEŞEKKÜR	
ÖZET	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER.....	III
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Dönerkanat İHA'nın Tarihçesi	2
1.2. Literatür Özeti.....	4
2. DÖNERKANAT İHA MODELİ VE DİNAMİĞİ	6
2.1. Dönerkanat İHA Modeli	6
2.2. Dönerkanat İHA Dinamiği.....	8
3. PID VE YSA KONTROLCÜ YAPILARI	10
3.1. PID Kontrol.....	10
3.2. PD Kontrolcü ile Dönerkanat İHA Kontrolü	11
3.3. Yapay Sinir Ağları	15
3.3.1. Yapay sinir ağı yapısı	17
3.3.2. Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması	19
3.3.3. Yapay sinir ağlarının öğrenmesi	20
3.4. YSA İle Dönerkanat İHA Kontrolü	21
4. BENZETİM SONUÇLARI	24

4.1. Dönerkanat İHA Parametreleri	24
4.2. PD Kontrolcü İçin Benzetimler	25
4.3. 256 Yörünge ile Eğitilmiş YSA'lar ile Dönerkanat İHA Benzetim Sonuçları.	27
4.4. Tek Yörünge ile Eğitilmiş YSA'lar ile Dönerkanat İHA Benzetim Sonuçları.	31
5. SONUÇ	36
KAYNAKLAR.....	37



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$\{B\}$	: Koordinat Çerçevesi
i	: Rotor Numaraları (1, 2, 3, 4)
T_i	: Rotor Kaldırma Kuvveti
ω_i	: Rotor Hızı
b	: Kaldırma Sabiti
v	: Aracın Hızı
g	: Yerçekimi İvmesi
m	: Aracın Toplam Kütlesi
T	: Toplam Yukarı Doğru İtme Kuvveti
R_B, R_y	: İlgili Eksendeki Dönme Matrisi
$\tau_x \tau_y \tau_z$	: x, y, z Eksenleri Etrafında Yuvarlanma Torku
Q_i	: Aerodinamik Sürüklenme
k	: Hava Yoğunluğuna ve Araç Parametrelerine Bağlı Kaldırma Sabiti
J	: Gövdenin Dönme İvmesi
ω	: Açısal Hız Vektörü
Γ	: Gövdeye Uygulanan Tork
$\{V\}$	: Aracın x ve y Eksenlerinin Zemine Paralel Olduğu Koordinat Çerçevesi
v_x	: x Yönündeki Hız
θ_r	: Yuvarlanma Açısı
θ_p	: Yunuslama Açısı
f	: Kuvvet
K_f	: Hız Kazancı
p	: Aracın Dünya Çerçevesinin xy Düzlemindeki Konumu
K_p	: Oransal Kazanç
θ_y	: Yalpalama Açısı
K_d	: Türevsel Kazanç
K_i	: İntegral kazanç
e	: Hata

Kısaltmalar

PD : Oransal-Türev

PID : Oransal-İntegral-Türev

ANFİS : Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi

YSA : Yapay Sinir Ağı

İHA : İnsansız Hava Aracı



ÇİZELGELER DİZİNİ**Sayfa No**

Çizelge 3.1. Biyolojik sinir sistemi ile YSA'nın benzetmeleri.....	17
Çizelge 3.2. YSA'da kullanılan eğitim fonksiyonları.....	21
Çizelge 4.1. Dönerkanat İHA parametreleri.	25
Çizelge 4.2. PD Parametreleri.....	26



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Gyroplane No:1 (Bayrakçeken, 2013).....	2
Şekil 1.2. Octopus (Anderson,1981).....	3
Şekil 2.1. Dönerkanat İHA'nın rotor hareketleri ve eksenleri (Corke, 2011).....	6
Şekil 3.1. PID kontrolcünün yapısı.	10
Şekil 3.2. Dönerkanat İHA'nın kontrolcü yapıları a)Genel yapı (Can, vd, 2016) b)MATLAB yapısı.	12
Şekil 3.3. <i>Yuvarlanma</i> ve <i>Yunuslama</i> İşareti için PD kontrolcünün iç döngüsü.	13
Şekil 3.4. <i>Yunuslama</i> ve <i>Yuvarlanma</i> için PD kontrolcünün iç döngüsü.	14
Şekil 3.5. <i>Yalpalama</i> için PD kontrolcünün iç döngüsü.....	14
Şekil 3.6. PD kontrolcülerden z kontrolcüsünün iç yapısı.	15
Şekil 3.7. Biyolojik sinir hücresi.....	16
Şekil 3.8. Yapay sinir ağı modeli (Beale, vd., 2014).	17
Şekil 3.9. YSA aktivasyon fonksiyonları (Beale,vd., 2014).	18
Şekil 3.10. İleri beslemeli ağ yapısı.	19
Şekil 3.11. Üç katmanlı YSA yapısı.	19
Şekil 3.12. Geri beslemeli ağ yapısı.....	20
Şekil 3.13. Dönerkanat İHA'nın YSA kontrolcü ile çalıştırılması.	22
Şekil 3.14. <i>Yunuslama</i> ve <i>Yuvarlanma</i> için YSA kontrolcüsünün iç döngüsü.....	22
Şekil 3.15. <i>Yalpalama</i> için YSA kontrolcüsünün iç döngüsü.	23
Şekil 3.16. z için YSA kontrolcüsünün iç döngüsü.	23
Şekil 4.1. PD Kontrol yörünge takip eğrisi.....	26
Şekil 4.2. Gürültülü PD Kontrol yörünge takip eğrisi.	27
Şekil 4.3. 256 yörünge ile eğitilen YSA Kontrolcüler için Eğitim Sonuçları a) <i>Yuvarlanma</i> b) <i>Yunuslama</i> c) <i>Yalpalama</i> d) z	28
Şekil 4.4. PD ve 256 yörünge ile eğitilen YSA Kontrolcülerin Torkları a)PD için $\tau_{yuvarlanma}$ b) YSA için $\tau_{yuvarlanma}$ c) PD için $\tau_{yunuslama}$ d) YSA için $\tau_{yunuslama}$ e) PD için $\tau_{yalpalama}$ f) YSA için $\tau_{yalpalama}$ g) PD için T h) YSA için T	29
Şekil 4.5. Referans, PD kontrol ve YSA kontrol gerçekleşen eğrisi.	30

Şekil 4.6. YSA Kontrolcüler için Eğitim Sonuçları a) <i>Yuvarlanma</i> b) <i>Yunuslama</i> c) <i>Yalpalama</i> d) <i>z</i>	32
Şekil 4.7. PD ve YSA kontrolcülerin torkları a)PD için $\tau_{yuvarlanma}$ b)YSA için $\tau_{yuvarlanma}$ c)PD için $\tau_{yunuslama}$ d)YSA için $\tau_{yunuslama}$ e)PD için $\tau_{yalpalama}$ f)YSA için $\tau_{yalpalama}$ g) PD için T h)YSA için T	33
Şekil 4.8. Eğitim verisinde olmayan referanslarla, YSA kontrol gerçekleşen eğrisi.....	34
Şekil 4.9. Eğitim verisinde olmayan referanslarla, x yönünde gürültülü YSA kontrol gerçekleşen eğrisi.	35



1. GİRİŞ

Dikine iniş kalkış yapabilen ve havada asılı kalabilen dönerkanat tipinde insansız hava aracı (İHA) (quadrotorlar) dün olduğu gibi bugün ve gelecekte de araştırmacıların ilgisi çekmeye devam edecektir. Dikine iniş kalkış yapma ve havada asılı kalma özellikleri dönerkanat İHA'ları diğer hava araçlarından ayıran en büyük farklarıdır. Dönerkanat İHA olarak adlandırılan dört elektrik motorlu (pervaneli) hava araçları basit mekanik yapıları, yaygın kullanım alanları ve diğer hava araçlarına göre uygun maliyetleri ile araştırmacılar için ilgi çekici bir çalışma platformu oluşturmaktadır.

İnsansız hava aracı, yönetimi üzerinde taşıdığı insan veya insanlar tarafından yapılmayan askeri ve sivil uygulamalarda kullanılabilen hava araçlarıdır. İnsansız hava araçlarının, insanlı araçlara göre yüksek manevra kabiliyeti, düşük maliyet, düşük radar izi ve kontrol ekibi için düşük yada sıfır risk gibi avantajları vardır. İnsansız hava araçlarının ve özellikle de dönerkanat İHA'larının gelişmesi insanların maruz kalacağı risk faktörlerini de en düşük seviyeye indirmiştir.

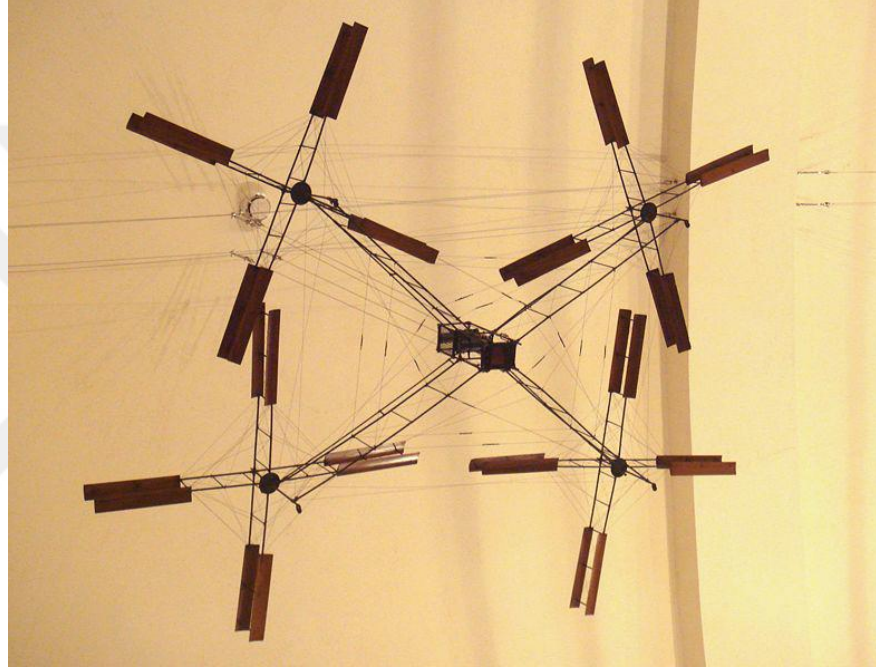
Günümüzde koşullarında özellikle askeri uygulamalarda, zorlu arazi şartlarında görev yapmak üzere gözetleme görevlerinde manevra yeteneği yüksek dönerkanat İHA'lara olan ihtiyaç gittikçe artmaktadır. Bunun yanında dönerkanat İHA'lar hava sahası ve kent trafiğinin kontrolünde, aktif volkanlar vb. doğal risklerin izlenmesinde, arama kurtarma faaliyetlerinde, hava kirliliği ölçümlerinde, orman yangınları gözetiminde, radyoaktif tesis takibinde, baraj gövde kaçak kontrollerinde, dijital haritalamada, elektrik ve boru hatlarının denetiminde, tarımsal faaliyetlerde, film çekimlerinde, gökyüzünden görüntü alınmasının istendiği hemen her yerde kullanılabilirler.

Dönerkanat İHA'lar, uzaktan kumanda ile kontrol edilerek uçabilen, belirli bir uçuş planı üzerinden otomatik olarak uçabilen veya görüntü işleme tekniklerinin kullanıldığı akıllı takip yöntemleriyle uçabilen hava araçlarıdır. Bu tezde MATLAB *Simulink Toolbox* kullanılarak belirli bir uçuş planı üzerinden otomatik olarak uçan dönerkanat İHA'nın PD kontrolcü ile benzetim çalışmaları yapılmıştır. Yenilik olarak bu kontrolcüler Yapay Sinir Ağı (YSA) Temelli kontrolcüler ile değiştirilerek

karşılaştırılması yapılmıştır. Her iki kontrolcüye de gürültüler eklenerek, kontrolcü karşılaştırması ve değerlendirmeleri yapılmıştır.

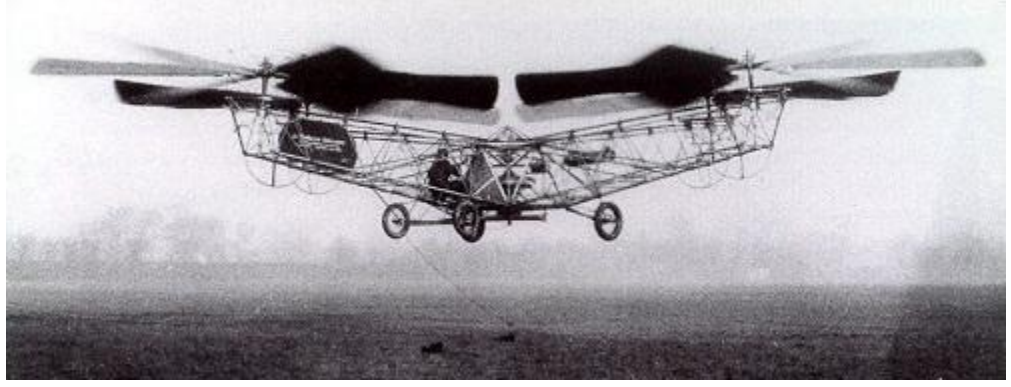
1.1. Dönerkanat İHA'nın Tarihçesi

Dört rotorlu İnsansız Hava Aracı (İHA) fikrinin ortaya çıkması ve araştırmalarının başlangıcı yirminci yüzyılın ilk yıllarında başlamıştır. Bu uğurda ilk yapılan hava aracı “Gyroplane No.1” ismiyle Fransız araştırmacılar Louis ve Jacques Breguet tarafından 1907 yılında üretilmiştir (Bayrakçeken, 2013).



Şekil 1.1. Gyroplane No:1 (Bayrakçeken, 2013).

İlk denebilecek başka bir dönerkanat İHA çalışması da Amerika Ohio’da George de Bothezat tarafından Birleşik Devletler Hava Kuvvetlerinin açtığı dikey kalkış iniş yapabilen helikopter projesi için 1923 yılında gerçekleştirilmiştir. Octopus karmaşıklık, kontrol güçlükleri ve yüksek pilotoj zorluğu, istenilen yüksekliğe çıkamaması ve yalnızca uygun bir rüzgarla ileri uçuş yeteneğine sahip olduğu için ilgili ordu tarafından geliştirme programı 1924’te iptal edildi ve İHA çöpe atıldı. Araştırmacıların Octopus adını verdiği hava aracı başarılı bir uçuş gerçekleştirilememiş olsa da günümüze ilham kaynağı olmuştur. Şekil 1.2’de Octopus’un yerden havalandığında çekilen fotoğrafı görülmektedir (Tesfaye ve Negash, 2012).



Şekil 1.2. Octopus (Anderson,1981).

Döner kanatlı hava araçları üzerinde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları özellikle 1950-1960 yılları arasında yoğunlaşmıştır. Dikine iniş kalkış yapabilme hayali dönemin havacılık endüstrisini farklı tasarımlara ve arayışlara itmiştir. Seri üretimine geçilemeyen birçok prototip bu dönemde yapılmıştır (Anderson, 1981).

Dönerkanat İHA eşit kuvvetler üreten dört rotor kullanarak havada asılma yönelme ve uçuş hareketi yapabilen en önemli aygıttır. Son on yılda dönerkanat İHA'ya olan ilgi güçlü bir şekilde artmaktadır. Bundan dolayı dönerkanat İHA için hassas ve sağlam kontrol yapabilen kontrolcü tasarımları ve özellikle kendi kendini kontrol edebilecek kontrolcüler tercih edilmektedir. Bu gereksinimlerden dolayı kontrolcüler dönerkanat İHA'ların en önemli parçalarıdır.

2000'li yıllardan itibaren özellikle yüksek hızlı, uzun ömürlü ve hafif fırçasız motorlar, MEMs (Micro Electromechanical Sensor) içeren ataletsel ölçüm üniteleri ve yüksek akım verebilen li-po pillerin maliyet ve teknoloji yönünden hızlı gelişmeler göstermesi mini ve mikro boyutlarda elektrikli döner kanatlı araçların her alanda kullanımını yaygınlaştırmıştır (Bayrakçeken, 2013).

Yaşanan teknolojik gelişmeler izlendiğinde, gelecek yıllarda dönerkanat İHA'ların sivil, hobi veya savunma sanayinde daha aktif görevler alacağı kanaatini doğurmaktadır. Belki de gelecekte çocukların en ilginç eğlencesi olacaklar veya birçok silah ve mühimmattan ucuz olduklarından dönerkanat İHA sürüleri mini silahlar taşıyacak ve hatta kamikaze dalışları yaptırılacaklardır. Bu özellikleri birçok araştırmacı ile birlikte bizim de ilgimizi çekmeye yetmiştir.

1.2. Literatür Özeti

Dönerkanat İHA'ların dinamik modeli araştırmacılar tarafından incelenmiş ve model ortaya koyulmuştur. Ancak dönerkanat İHA'nın yüksek hızlarda ve dış ortamda hareket edebilmesi için doğru dinamik modelin çıkarılması oldukça zordur (Pounds, 2007). Bu nedenle dönerkanat İHA'ların kontrol teknikleri, hassasiyet ve yörünge izleme kontrolü için kritik önem taşır. Mevcut ortaya koyulmuş model veya modeller üzerinden yola çıkılması, insansız hava aracı kontrolcü tasarımı için ideal deneysel ortam oluşturmaktadır.

Dönerkanat İHA'larının yönelme ve konum kontrolü için farklı kontrol yöntemleri araştırılmaktadır. Dönerkanat İHA'da otomatik uçuş kontrolünü sağlamak için farklı araştırmalarda PID kullanılmıştır (Hoffmann, vd., 2011; Mahony, vd., 2012).

Dönerkanat İHA; parametrik değişimler, doğrusal olmayan dinamikler, mekanik bağlanma ve harici bozucu etkiler gibi çeşitli belirsizlikleri içeren çok girdili ve çok çıkışlı bir sistemdir. Bu sebeplerden dolayı dönerkanat İHA'da sağlam yörünge takip performansı elde etmek güçtür. Dönme dinamiğindeki belirsizliklerin etkisini azaltmak için sağlam yönelim ve takip denetleyicisi tasarlamada geliştirilmiş çeşitli teknikler vardır.

Literatürde dönerkanat İHA kontrolü için kullanılan akıllı yöntemlerde bulanık mantık, Anfis gibi akıllı yapılara da baş vurulmuştur. Santoz ve arkadaşları simülasyon ortamında; yükseklik, referans yuvarlanma (roll), yunuslama (pitch), yalpalama (yaw) referans değerlerini verip, dört motor gücünü fuzzy kontrolcü ile hesap etmiştir (Santos, vd., 2010).

Bhatkhande ve Havens (2014), ANFIS (adaptive neuro fuzzy inference system) teknikleri kullanarak elde ettiği kontrolcü ile dönerkanat İHA'nı kontrol etmişlerdir.

Xu ve Özgüner (2006), başka bir yaygın kullanılan gelişmiş kontrolcü yöntemi olan Kayan Kipli (Sliding-mode) kontrolcü kullanarak dönerkanat İHA'nda x , y , z konumları ve yalpalama açısı ile (yuvarlanma açılarını sabitleyip) dönerkanat İHA kontrolü benzetimi yapılmıştır, dönerkanat İHA dinamiğindeki belirsizliklerle baş etmeye çalışmışlardır.

Herrera yaptıkları çalışmada PD tipinde bir kayma yüzeyi tasarlayarak Kayan Kipli Kontrolcü ile dönerkanat İHA kontrol tasarımı ve denetimi gerçekleştirmişlerdir (Herrera, vd, 2015).

Liu vd., çalışmalarında belirsizlikle baş etmek için Gürbüz (Robust) kontrolcü tasarımları ile dönerkanat İHA'nın havada asılı kalmasını ve istenilen yere ulaşmasını kararlı hale getirebilmek için çalışmalar yapmışlardır (Liu, vd., 2014).

Bunların yanında, bilinmeyen ve doğrusal olmayan davranışların üstesinden gelmek için genellikle, uyarlamalı (adaptive) kontrol teknikleri kullanarak çevrimiçi ayarlanmış sinir ağlarından yararlanılmıştır. Literatürde, dönerkanat İHA kontrolü için birçok Yapay Sinir Ağı (YSA) uyarlamalı yapısı önerilmektedir. Sinir ağları, çalışmanın istikrarlı kontrolü için belirsizliklerin giderilebileceği kontrol yöntemi olarak görülmektedir. Haykin'in (1994) de belirttiği gibi YSA'lar modelleme için yapay zeka araçlarıdır ve doğrusal olmayan araçlarını da analitik yöntemler olmadan modelleyebilirler ve kontrol edebilirler.

Sinir ağlarının kullanıldığı kontrol sistemlerinde çeşitli sinir ağlarının avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuştur (Antsaklis, 1990).

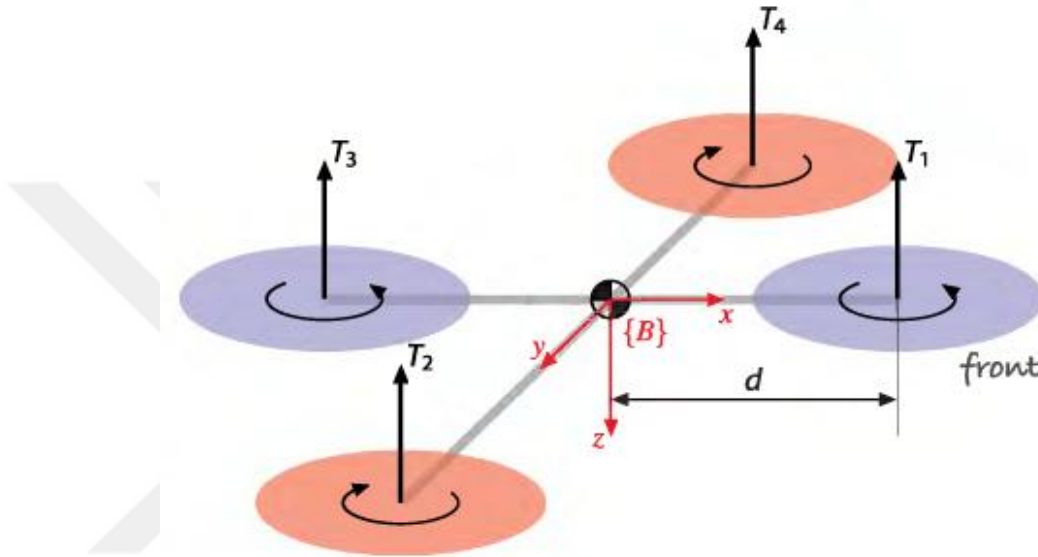
Geri beslemeli sinir ağı kontrolcülerinin, dinamik bir sistem için gözlenen ve istenen davranış arasındaki farka dayanan uygun kontrol girdilerinin hesaplanmasını ve böylece gözlemlenen davranışın kullanıcının öngördüğü istenen bir davranışla çakıştığı söylenmektedir (Lewis ve Ge 2005).

Bouhali ve Boudjedir (2011), dönerkanat İHA'nın her bir alt sistemi için iki paralel ileri beslemeli YSA kullanarak uygulanan yeni bir kontrolcüyü temel alan uyarlamalı YSA kontrol şeması önermişlerdir. İki kısımdan oluşan düzgünleştirme teriminin kullanıldığı gözlemleyicilerin yeni bir tipinin kullanıldığı model, ilgili makalede önerilmiştir. Birincisi kısım gözlemlenebilir hatalarının onarılmasıdır. İkinci kısım ise kalıcı durum uzayında bilinmeyen fonksiyonları kestirmek için kullanılan ileri beslemeli sinir ağlarının çıkışıdır. Ancak, bu yöntemde özellikle dönerkanat İHA dinamiğinin gözlemlenebilir kazancının çok büyük olması gerektiğinde, bazı sınırlar getirmektedir.

2. DÖNERKANAT İHA MODELİ VE DİNAMİĞİ

2.1. Dönerkanat İHA Modeli

Dönerkanat İHA'nın itme vektörlerini ve dönüş yönlerini gösteren diyagram Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Gövdeye sabitlenmiş çerçeve $\{B\}$ araç gövdesini meydana getirir ve araç kütlesi merkezdedir. Rotor 2 ve 4 saat yönünde dönerken, rotor 1 ve 3 saat yönünün tersine (yukarıdan bakıldığında) döner.



Şekil 2.1. Dönerkanat İHA'nın rotor hareketleri ve eksenleri (Corke, 2011).

Dönerkanat İHA modelinin gösterimi Şekil 2.1'de gösterilmiştir. İnsansız hava aracı gövdesi tarafından sabitlenmiş koordinat çerçevesi $\{B\}$, havacılık konvansiyonunu takiben z eksenini aşağı doğru uzanır. Dönerkanat İHA'nın, her çapraz kolun ucuna monte edilen, 1'den 4'e kadar etiketlenmiş dört rotoru vardır. Kanatlar, elektronik hız kontrol cihazları tarafından çalıştırılan elektrik motorlarıyla tahrik edilmektedir. Bazı düşük maliyetli dönerkanat İHA'larda, yeterli tork elde edebilmek için küçük motorlar ve redüksiyon dişlisi kullanılırlar. Rotor hızı ω_i ve aracın negatif z yönünde yukarı doğru itme vektörü

$$T_i = b\omega_i^2, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (2.1)$$

'dir. Buradaki $b > 0$, hava yoğunluğuna, rotor bıçağının yarıçapının küpüne, kanatların sayısına ve kanat uzunluğu bağlı olan kaldırma sabitidir.

Araç dinamikleri Newton'un ikinci yasası

$$m\dot{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{pmatrix} - {}^0R_B \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

ile verilmektedir. Burada; v aracın hızı, g yerçekimi ivmesi, m aracın toplam kütlesi ve $T = \sum T_i$ toplam yukarı doğru itme kuvvetidir. Birinci terim, dünya çerçevesinde aşağıya doğru hareket eden yerçekimi kuvvetidir ve ikinci terim ise dünya çapındaki koordinat çerçevesine döndürülen araç çerçevesindeki toplam itme kuvvetidir.

Rotor kanatlarındaki eşzamanlı farklılıklar aracın hareketine neden olur. Aracın x eksenini etrafında yuvarlanma torku τ_x 'dir, d motorun kütle merkezine olan mesafedir ve denklem 2.3'de verilmiştir. Benzer şekilde y eksenini etrafında yunuslama torku τ_y 'dir ve denklem 2.4'de verilmiştir.

$$\tau_x = dT_4 - dT_2 = db(\omega_4^2 - \omega_2^2) \quad (2.3)$$

$$\tau_y = dT_1 - dT_3 = db(\omega_1^2 - \omega_3^2) \quad (2.4)$$

Her pervaneye elektrik motorundan uygulanan tork, aerodinamik sürüklenme $Q_i = k\omega_i^2$ ile karşı karşıyadır; burada k , b ile aynı faktörlere bağlıdır. Bu tork, gövdeyi dönme yönünün aksine, pervane milinde döndürmek üzere hareket eden bir tepki torku uygular. z eksenini etrafındaki toplam yönelme torku, farklı işaretlerin rotorların farklı dönüş yönlerine bağlı olup

$$\tau_z = Q_1 - Q_2 + Q_3 - Q_4 = k(\omega_1^2 + \omega_3^2 - \omega_2^2 - \omega_4^2) \quad (2.5)$$

'dir. Bir yalpalama torku, dört rotor hızının uygun koordineli kontrolü ile oluşturulabilir. Gövdenin dönme ivmesi, Euler'in hareket denklemi

$$J\dot{\omega} = -\omega \times J\omega + \Gamma \quad (2.6)$$

ile verilmektedir. Burada, J aracın 3×3 atalet matrisi, ω açısal hız vektörü ve $\Gamma = (\tau_x, \tau_y, \tau_z)^T$ denkleminde göre gövdeye uygulanan torktur.

Dönerkanat İHA'nın hareketi, ileri dinamik denklemleri Denklem 2.2 ve Denklem 2.6'nın integrali ile elde edilir. Burada gövdedeki kuvvetler ve momentler

$$\begin{pmatrix} T \\ \Gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -b & -b & -b & -b \\ 0 & -db & 0 & db \\ db & 0 & -db & 0 \\ k & -k & k & -k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

rotor hızlarının fonksiyonlarına dönüşür. $b, k, d > 0$ ise A matrisi tam sıralıdır ve ters çevrilebilir;

$$\begin{pmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \end{pmatrix} = A^{-1} \begin{pmatrix} T \\ \tau_x \\ \tau_y \\ \tau_z \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

buradaki itme kuvveti T ve moment Γ 'yi gövdeye uygulamak için gereken rotor hızlarını verir (Corke, 2011).

2.2. Dönerkanat İHA Dinamiği

Araca bağlı ve $\{B\}$ ile aynı kökenli, ancak x ve y eksenlerinin zemine paralel olduğu bir $\{V\}$ koordinat çerçevesini düşünüldüğünde; aracı Vx yönünde hareket ettirmek için, bunun aşağı doğru bir kuvvet oluşturan yunuslama açısı verilir

$$f = R_y(\theta_p) \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T \sin \theta_p \\ 0 \\ T \cos \theta_p \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

Bu bileşen 2.10'daki gibi kabul edilir.

$$f_x = T \sin \theta_p \approx T \theta_p \quad (2.10)$$

Bu kuvvet aracı Vx yönünde hızlandırır. Hızın bu yöndeki bileşeni bir orantılı kontrol yasasıyla kontrol edilebilir.

$$f_x^* = m K_f ({}^V v_x^* - {}^V v_x) \quad (2.11)$$

Yunuslama açısını elde edilen bu iki denklem birleştirilerek

$$\theta_p^* = \frac{m}{T} K_f ({}^V v_x^* - {}^V v_x) \quad (2.12)$$

istenen hızı elde etmek için gerekli denklem olarak ortaya çıkar. Düşey denge içindeki bir araç için toplam itme ağırlığa eşit olduğundan $m/T \approx 1/g$ kabul edilir.

Aracın dünya çerçevesinin x y düzlemindeki konumu $p \in \mathbb{R}^2$ ise istenen hız oransal kontrol yasası ile verilir

$$v^* = K_p (p^* - p) \quad (2.13)$$

ve arzulanan ve gerçek konum arasındaki hataya dayalı olarak belirlenir. $\{V\}$ çerçevesinde istenen hız

$${}^V v = {}^V R_0 (\theta_y) v = {}^0 R_V^T (\theta_y) v \quad (2.14)$$

formülü ile bulunur. Yalpalama açısı θ_y 'nin bir fonksiyonu olan aşağıdaki 2.15 formülü ile gösterilir.

$$\begin{pmatrix} {}^V v_x \\ {}^V v_y \end{pmatrix} = {}^0 R_V^T (\theta_y) \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} \quad (2.15)$$

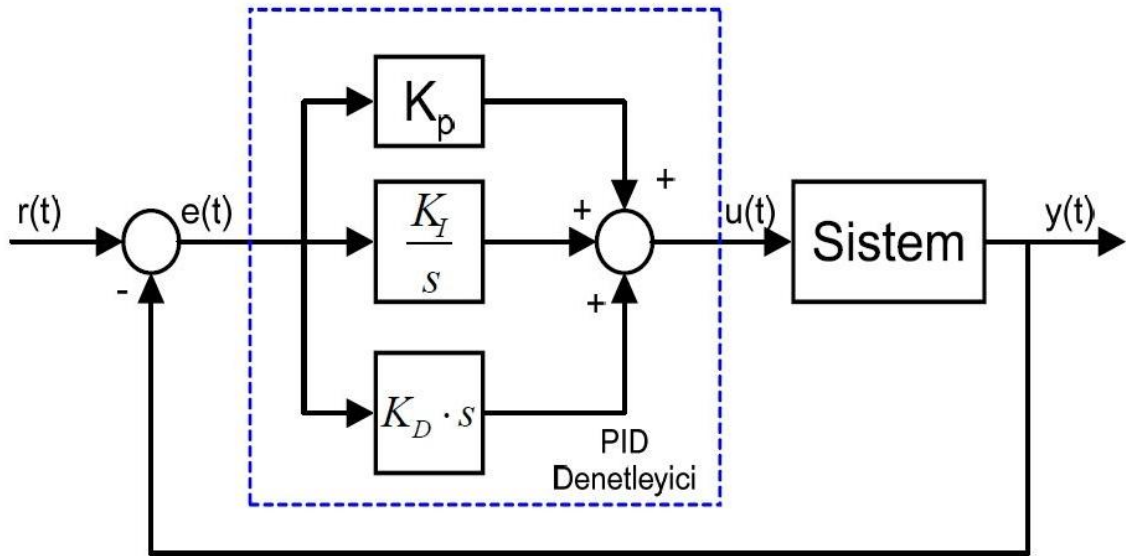
Dönerkanat İHA'nın rotorlarına bağlı ürettiği torklar PD kontrolcülerle beraber Bölüm 3.2'de verilmiştir (Corke, 2011).

3. PID VE YSA KONTROLÇÜ YAPILARI

Tez çalışmasında dönerkanat İHA'nın klasik PID ve bu kontrolcünden üretilen P, PD kontrolcülere ile oluşturulan kontrolcü yapıları ile YSA ile oluşturulan kontrolcü yapısı izleyen alt bölümlerde verilmiştir.

3.1. PID Kontrol

PID (Oransal-İntegral-Türev) kontrol yöntemi, kapalı çevrim kontrolcülere içinde en basit olanı ve uygulamada en yaygın kullanılanıdır. Bunun nedeni özellikle belirsizlik içermeyen sistemler için iyi performans göstermesi ve diğer kontrolcülere referans-karşılaştırıcı olarak kullanılmasıdır. Şekil 3.1'de klasik PID kontrol yapısı görülmektedir.



Şekil 3.1. PID kontrolcünün yapısı.

PID kontrol üç temel kontrol işaretinin birleştirilmesiyle oluşur. Her bir işaretin üretiminde kullanılan parametrenin kazanç katsayıları tasarımcı tarafından belirlenmekte olup her birbirinin değişimi diğerini etkiler.

Referans sinyali ile çıkış sinyalinin farkı hata sinyalini verir. Hata sinyali, K_p oransal kazanç katsayısı ile çarpılıp ilk kontrol sinyali elde edilir. Hata'nın integrali alınıp, K_i kazanç katsayısı ile çarpılarak ikinci kontrol sinyali elde edilir. Hatanın türevi alınıp, K_d kazanç katsayısı ile çarpılarak üçüncü kontrol sinyali elde edilir. Oransal

kazanç(P), integral kazanç(I) ve türev kazancındaki(D) sinyallerin toplamı PID kontrol cihazının çıkışıdır.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3.1)$$

K_p : Oransal kazanç ayar parametresi

K_i : İntegral kazanç ayar parametresi

K_d : Türev kazanç ayar parametresi

e : Hata

t : Zaman

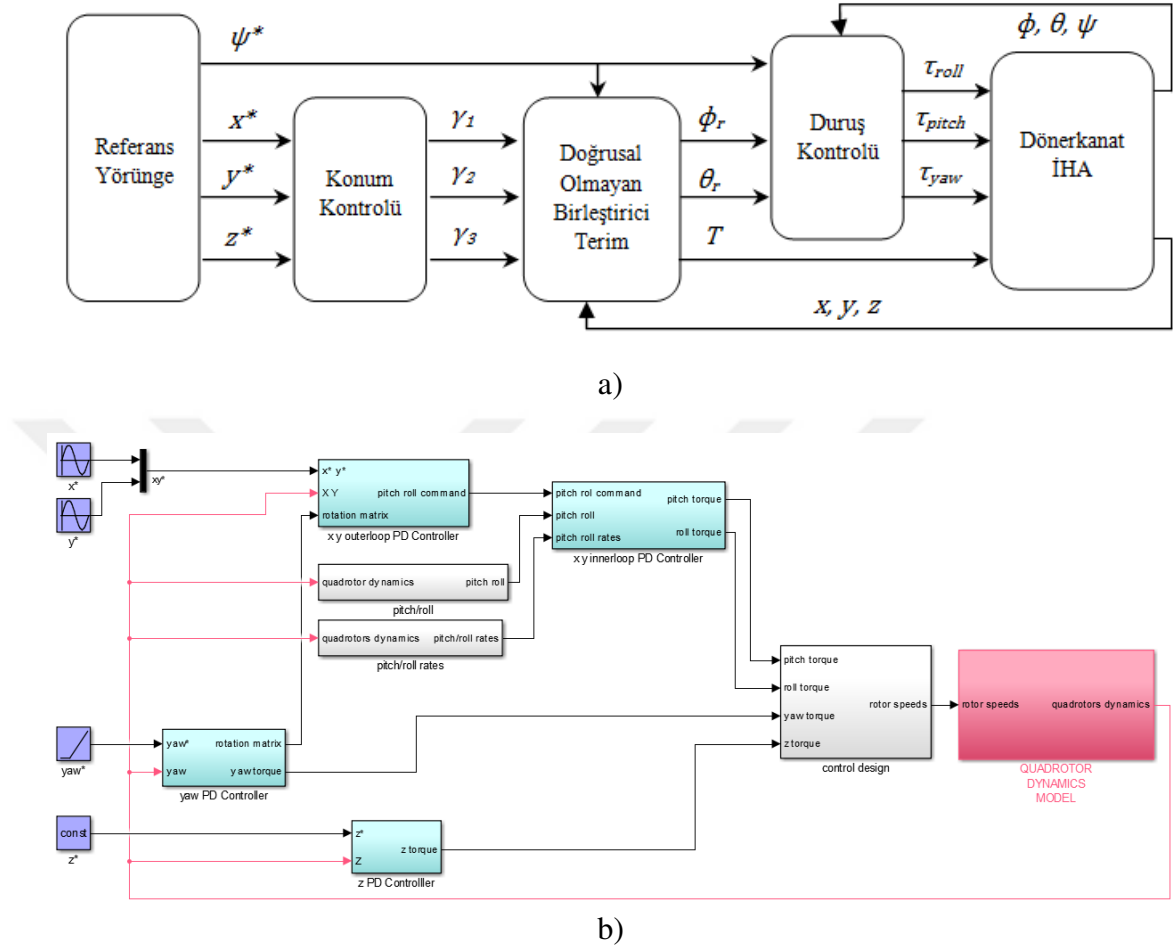
τ : İntegrasyon değişkeni

Bu sinyallerden sadece oransal denetleyici kullanıldığında sistem çıkışında mutlaka sürekli durum hatası görülür. Bu sebeple kontrolcü içinde PD, PI veya PID işaretleri üretilmelidir. Sadece PD kullanıldığında sistemin sürekli durum hatası yok olmakla birlikte çıkış sönümlenmesi artar, en büyük aşım azalır, yükselme ve yerleşme zamanları azalır. PI kontrolcü yalnız başına kullanıldığında ise yine sürekli durum hatası yok olmakla birlikte sönüm düzelir, en büyük aşım azalır, yükselme zamanı artar. PID kontrolcü PD ve PI kontrolcülerin olumlu yönlerini birleştirerek sönümlenmesi az ve yükselme zamanı düşük bir ideal kontrolcü olarak karşımıza çıkar. Çalışmada ise I teriminin kümülatif gelen hata ile doymaya sebep olmasından dolayı sadece PD kontrolcüye odaklanılmıştır.

3.2. PD Kontrolcü ile Dönerkanat İHA Kontrolü

Dönerkanat İHA'nın kontrolünde x , y , yalpalama ve z referans işaretleri için kontrolcüler ayrı ayrı tasarlanmak zorundadır. Bunun sebebi dönerkanat İHA'nın eksik tahrikli (underactuated) bir sistem olmasıdır. Her bir referans işaret için dönerkanat İHA da PID kontrolcü kullanılması hedeflenmekle beraber, PID'deki I teriminin getirdiği sarma (windup) probleminden dolayı tez çalışmasında sadece PD kontrolcüler kullanan dönerkanat İHA kontrolüne odaklanılmıştır. Burada dönerkanat İHA'nın yönü

ve konumunu rotor hızları ile kontrol edildiği belirtilmelidir. Dönerkanat İHA için oluşturulan kontrolcü yapıları Şekil 3.2 de verilmiştir.



Şekil 3.2. Dönerkanat İHA'nın kontrolcü yapıları a)Genel yapı (Can, vd, 2016)
b)MATLAB yapısı.

PD denetleyicili dönerkanat İHA'nı tanımlamak için Şekil 3.2 açıklanmalıdır. Yeşil renkte gösterilen içteki bloklarda, dört kanatın tutumu kontrol edilir. “x outerloop PD controller” bloğu ile referans x^* y^* girişleri ve mevcut x y karşılaştırılarak elde edilen hata işareti ile yuvarlanma ve yunuslama referans açıları elde edilmektedir. “x y innerloop PD controller” bloğunda ise yunuslama ve yuvarlanma referans açıları, mevcut değerleri ve mevcut açısal hızları giriş olarak alınarak yunuslama ve yuvarlanma torkları elde edilmektedir. Gri renkli bloklar ile istenen xy -düzlem hareketinin itme bileşenini temin edecek şekilde yuvarlanma ve yunuslama açısında değişiklikler yaptırmak suretiyle, dört kanatın dönerkanat İHA'yı xy -konumunu kontrol

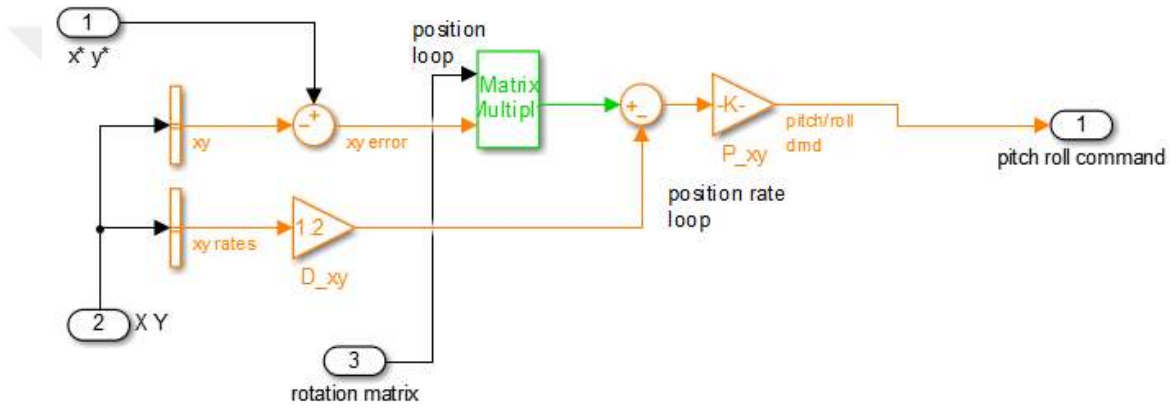
etmesi sağlanır. PD denetleyiciler aşağıdaki gibi tanımlanır ve her birinin MATLAB blok gösterilimi izleyen şekillerde verilmiştir:

$$\tau_{roll} = \tau_x = K_{p,roll} (\theta_{roll}^* - \theta_{roll}) + K_{d,roll} (\dot{\theta}_{roll}^* - \dot{\theta}_{roll}) \quad (3.2)$$

$$\tau_{pitch} = \tau_y = K_{p,pitch} (\theta_{pitch}^* - \theta_{pitch}) + K_{d,pitch} (\dot{\theta}_{pitch}^* - \dot{\theta}_{pitch}) \quad (3.3)$$

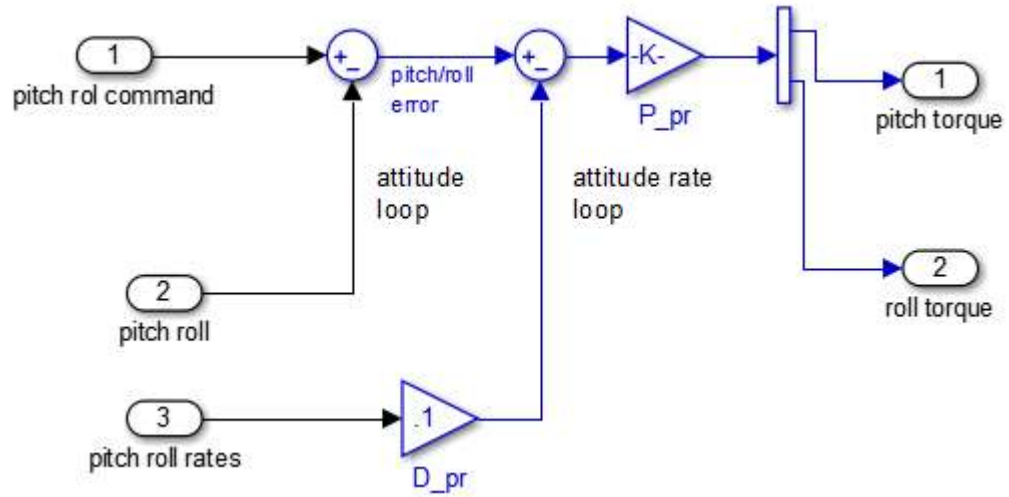
$$\tau_{yaw} = \tau_z = K_{p,yaw} (\theta_{yaw}^* - \theta_{yaw}) + K_{d,yaw} (\dot{\theta}_{yaw}^* - \dot{\theta}_{yaw}) \quad (3.4)$$

$$T = K_p (z^* - z) + K_d (\dot{z}^* - \dot{z}) + \omega_0 \quad (3.5)$$



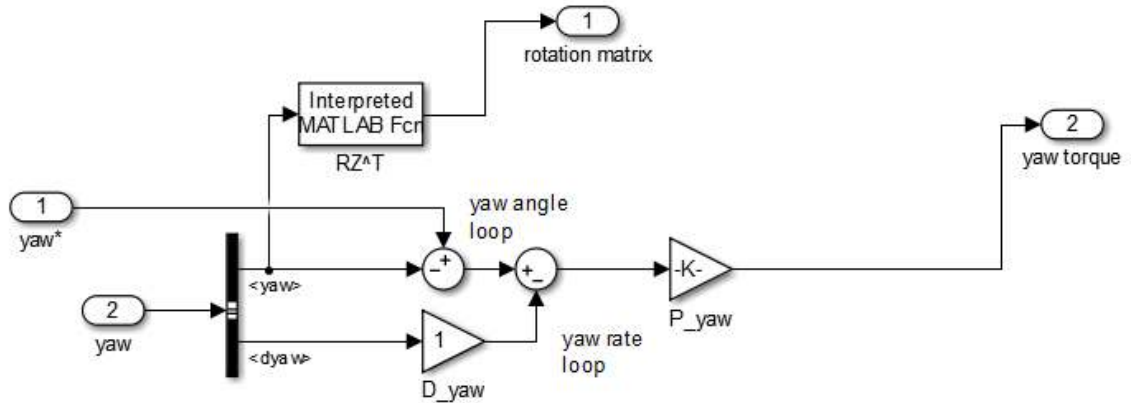
Şekil 3.3. Yuvarlanma ve Yunuslama İşareti için PD kontrolcünün iç döngüsü.

Şekil3.3’de referans x^* ve y^* değerleri ile gerçekleşen x ve y değerleri ayrı ayrı birbirinden çıkarılarak konum hataları bulunur. Konum hataları, rotasyon matrisi ile çarpılarak PD denetleyicinin oransal işareti elde edilir. x y gerçekleşen konumların x y oranlarının türevleri alınarak PD denetleyicinin türevsel işareti elde edilir. PD kontrolcünün çıkışı yuvarlanma ve yunuslama referans işaretidir.



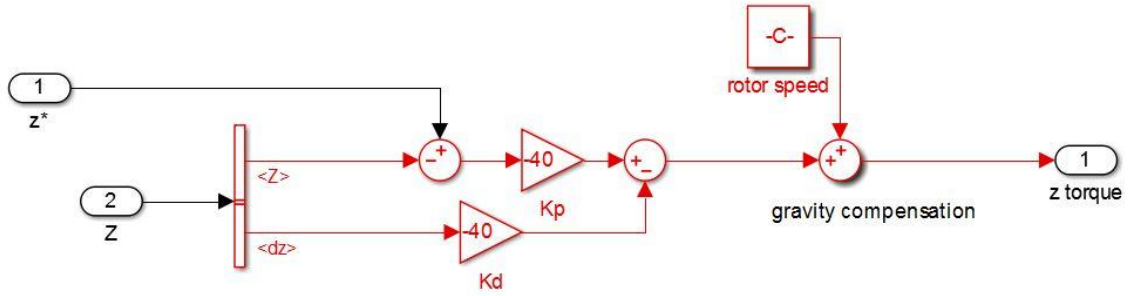
Şekil 3.4. Yunuslama ve Yuvarlanma için PD kontrolcünün iç döngüsü.

Şekil 3.4’de de yunuslama ve yuvarlanma açılarını kontrol eden PD kontrolcülere; yunuslama ve yuvarlanma referans işareti, gerçekleşen yunuslama ve yuvarlanma açıları ve yunuslama ve yuvarlanma açıları oranları girilmiştir. PD kontrolcüler gerekli kontrol bileşenini üretirken, dönerkanat İHA kontrol ünitesine yunuslama ve yuvarlanma tork değerlerini iletir.



Şekil 3.5. Yalpalama için PD kontrolcünün iç döngüsü.

Şekil 3.5’de Yalpalama hatası ve hatanın türevinin katsayısı ile çarpılarak giriş olarak verildiği yalpalama PD kontrolcüsü dönerkanat İHA kontrol ünitesine yalpalama tork bilgisi olarak iletildiği kontrol bloğunun iç döngüsü gösterilmektedir.



Şekil 3.6. PD kontrolcülerden z kontrolcüsünün iç yapısı.

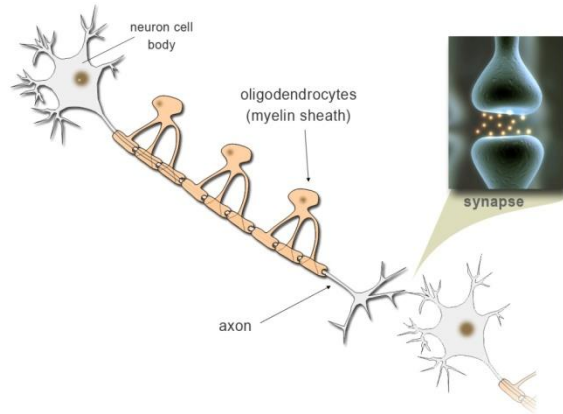
Dönerkanat İHA'nın kontrolünde kullanılan z için PD kontrolcü, Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu kontrolcüde; hata istenilen z^* ve gerçekleşen z 'nin farkından elde edilir. Hataya, kazanç çarpımı ile hatanın türevi de eklenerek kontrol sinyali elde edilir. Sadece z kontrolcüsünde (z negatif dikey koordinat olduğundan) yerçekimini telafi etmek için kontrol sinyali ve yerçekimi ivmesi toplanarak z tork değeri hesaplanmıştır.

Burada $\omega_0 = \sqrt{mg/4b}$, dönerkanat İHA ağırlığını telafi etmek, dönerkanat İHA'yı stabilize etmek için ihtiyaç duyulan kaldırma kuvveti ve gerekli rotor hızını verir. $b > 0$ ise bıçak yarıçapına, hava yoğunluğuna ve bıçakların sayısına bağlı olan kaldırma sabitidir. Şekil 3.3-3.6 şekillerindeki PD kontrolcülerinde iyi bir kontrol performansı elde etmek için K_p ve K_d kazanç sabitleri kullanıcı tarafından tanımlanmalıdır. Bu şekillerdeki değerler deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur (Corke, 2011).

3.3. Yapay Sinir Ağları

Donald Hebb (1949), günümüz sinir ağı teorisinin babası olarak bilinir. Nörolog olan Hebb, beyninin nasıl öğrendiği üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışmalarında beynin temel birimi olan sinir hücrelerinin birbirleriyle nasıl bir korelasyon sergilediğini inceleyerek başlar ve sinir ağı teorisini bu temele yerleştirir. Yapay sinir ağı; sinir hücrelerinin sayısal dünyada gerçekleştirilecek yapının tüm fonksiyonlarıyla paralellik gösterdiği ve insan beyninin modellemesidir.

YSA, insan beyninin çalışma tekniğinden esinlenerek üretilmiş bir kontrol tekniğidir. YSA, biyolojik bir sinir sistemin çalışma şeklinin, matematiksel olarak modellenmesidir. İnsan beynini meydana getiren parçalar, sinir hücreleri olan nöronlardır. Bu nöronlar farklı şekillerde birbirlerine bağlı olup bir araya geldiklerinde,



Şekil 3.7. Biyolojik sinir hücresi.

sinir ağını meydana getirirler. Bu sinir ağları öğrenmeyi, hafızaya almayı ve hafızadaki bilgiler ile mukayese yapmayı gerçekleştirirler. Beyindeki öğrenme nöronlar arasındaki ilişkinin kimyasal bağı ile olmaktadır (Başoğlu ve Bulut, 2017). Şekil 3.7’de insan beynindeki sinir hücresi nöronun modeli verilmiştir.

YSA, yapılan her çalışmada giriş çıkışları izleyerek, çalışmayla ilgili bilgiler toplar, çalışma hakkında genellemeler yapar. Daha sonra hiç görmediği bir durum ile karşılışınca öğrendiği bilgileri kullanarak durum hakkında karar verir. Bu çalışma özelliği, insan beyninin karar verebilme yeteneğini taklit etmektedir.

YSA’nın kullanıldığı bazı uygulama alanlarına örnekler şunlardır;

- Veri madenciliği
- Görüntü işlemede karakter tanıma uygulamaları
- Pazar performansı tahmini
- Bankacılık müşteri analizi, risk analizi ve kredi kartı güvenliği hile kontrolü
- Robotlarda ve akıllı kontrolcülü araçlarda optimum yörünge belirleme
- Otomatik pilot uygulamaları
- Konuşma, parmak izi ve iris tanıma
- İletişimde gürültü filtreleme
- Haberleşmede trafik yoğunluğunun kontrol etme ve anahtarlama
- Savunma uygulamalarında, hedef seçme ve silah yönlendirme
- Hastalık teşhisi ve erken tanı uygulamaları (Röntgen, MR, ultrason)

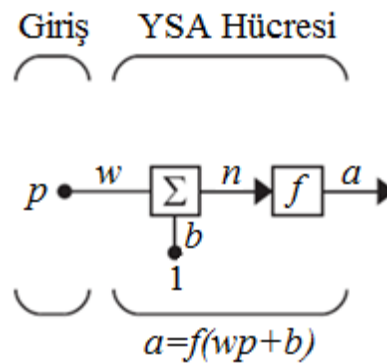
3.3.1. Yapay sinir ağı yapısı

Yapay sinir ağları, beyindeki sinir ağlarına benzetilerek üretilmişlerdir. Temel bir yapay sinir ağı hücresi, insan beyindeki sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. Genel olarak, bir yapay sinir ağı hücresi girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon (transfer) fonksiyonu ve çıkışlardan meydana gelir.

Biyolojik sinir sistemini yapay sinir ağına benzetirken kullanılan ifadeler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Biyolojik Sinir Sistemi	YSA
Nöron	İşlemci eleman
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre Gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Yapay nöron çıkışı
Sinaps’lar	Ağırlıklar

Yapay sinir ağı modeli Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Şekilde, p girişleri, ω ağırlıkları, b kutuplama değerini, n aktivasyon potansiyeli ve a ise çıkışları ifade etmektedir.



Şekil 3.8. Yapay sinir ağı modeli (Beale, vd., 2014).

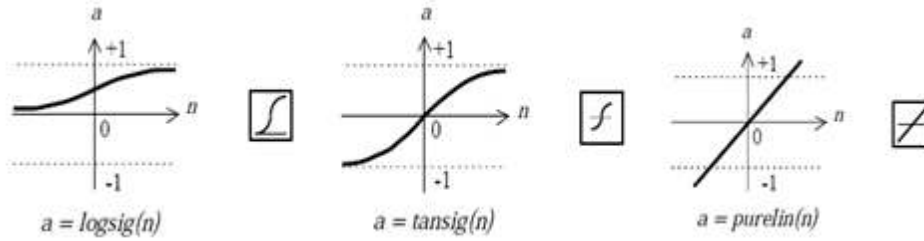
Şekil 3.8’de girişler, dış dünyadan veya kendinden önceki sinirlerden aldıkları veriyi sinir ağına iletirler.

Yapay sinir tarafından alınan girişlerin sinir ağı üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılar, ağırlıklar denir. Her bir girişin kendisine ait olan ağırlığı vardır. Bir

ağırlık değerinin büyük olması, önemli olması ya da o girişin yapay sinire güçlü bağlanması, önemli olmaması ya da küçük olması da zayıf bağlanması anlamını gelmektedir.

Şekil 3.8’de toplama fonksiyonu ile her bir ağırlığın ait olduğu girişlerle çarpımının toplamalarını (aktivasyon potansiyeli), öndeğer ile toplanarak aktivasyon fonksiyonuna gönderilir.

Aktivasyon fonksiyonu, aktivasyon potansiyelini çıkış işaretini istenilen aralıkta sınırlayacak şekilde normalleştiren fonksiyondur. Böylelikle, zaman önemli olduğunda aktivasyon potansiyeli çıkışının değişmesini sağlamaktadır. Yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları, logaritmik sigmoid, tanjant sigmoid ve doğrusal fonksiyonlardır. Bu fonksiyonların grafikleri Şekil 3.9’da, matematiksel denklemleri izleyen denklemlerde verilmiştir.



Şekil 3.9. YSA aktivasyon fonksiyonları (Beale,vd., 2014).

$$a = \text{logsig}(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (3.6)$$

$$a = \text{tansig}(n) = \frac{1 - e^{-2n}}{1 + e^{2n}} \quad (3.7)$$

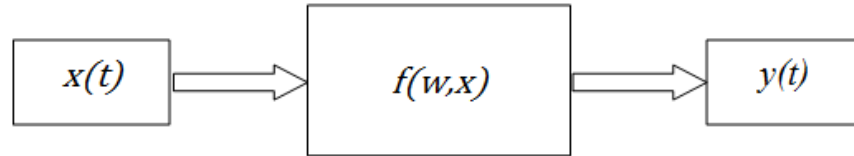
$$a = \text{purelin}(n) = n \quad (3.8)$$

Sinir hücresi, aktivasyon fonksiyonunun eşik seviyesinin altında çıkış üretmez. Ayrıca, sinir ağına bir öndeğer uygulanarak aktivasyon fonksiyonu artırılabilir (Sağiroğlu, vd., 2003).

Sinir Ağının çıkışları, aktivasyon fonksiyonunun sonucunun diğer sinirlere ve dış dünyaya gönderildiği bölümdür. Bir sinirin bir çıkışı vardır. Sinirin bu çıkışı, kendinden sonra gelen herhangi bir sayıdaki diğer sinirlere giriş de olabilir.

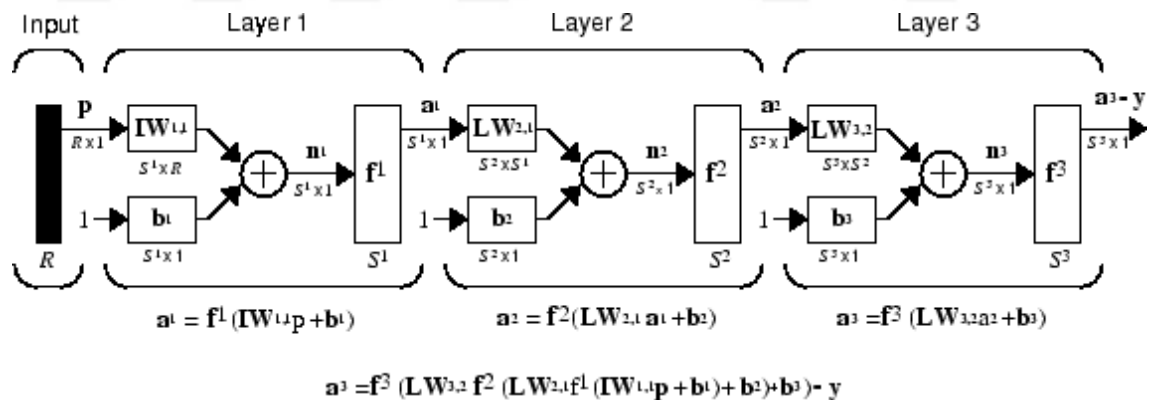
3.3.2. Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması

Yapay sinir ağları yapılarına göre ileri beslemeli veya geri beslemeli sinir ağları olarak gururlandırılır. İleri beslemeli sinir ağlarında sinyal iletimi, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılar kurarak gerçekleştirilmektedir. Bu ağ yapısında, nöronların aynı katman içerisinde bağlantıları olmadığından zaman gecikmesi yoktur. İleri beslemeli ağ yapısı Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



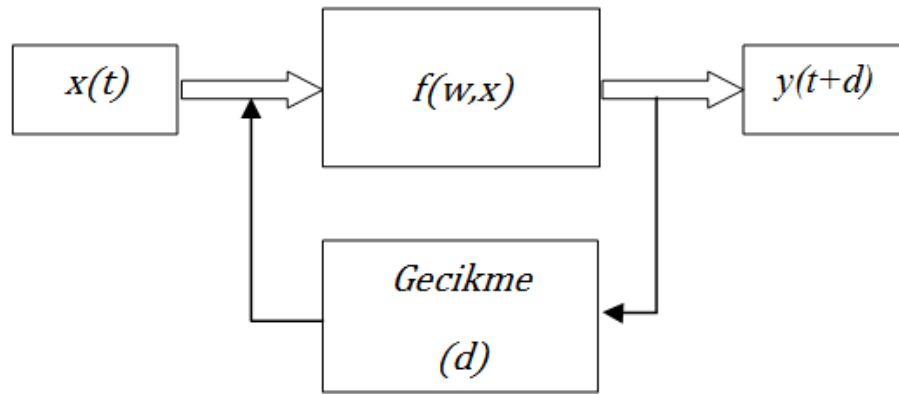
Şekil 3.10. İleri beslemeli ağ yapısı.

Çok katmanlı perseptronlar (Multi Layer Perceptrons-MLP), ileri beslemeli ağlara örnek olarak gösterilebilir. Bu yapılar bir giriş katmanı, bir veya daha fazla gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşmaktadır. Her bir katmanda bir veya daha fazla nöron bulunmakta ve bu nöronlar üst katmanlardaki nöronlara bağlanmaktadır. Üç katmanlı bir YSA yapısının MATLAB gösterimi Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Üç katmanlı YSA yapısı.

Geri beslemeli sinir ağları ise, çıkış ve gizli katman çıkışlarının giriş katmanı veya önceki gizli katmanlara geri beslendiği ağ yapılarıdır. Böylece, bu ağ yapılarında hem ileri yönlü hem de geri yönlü iletim gerçekleşmiş olmaktadır. Geri beslemeli ağlarda, nöronların aynı katman içerisinde bağlantıları olduğundan gecikmeler meydana gelmektedir. Hopfield, Elman ve Jordan ağları bu yapıya örnek verilebilir. Geri beslemeli ağ yapısı Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Geri beslemeli ağ yapısı.

3.3.3. Yapay sinir ağlarının öğrenmesi

Yapay sinir ağlarında nöron bağlantılarındaki ağırlık değerlerinin belirlenmesine “YSA’nın eğitilmesi” denir. Başlangıçta ağırlıklar rastgele atanır ve YSA eğitildikçe ağırlıklar değiştirilir. Eğitimin amacı, ağdaki örnekler için düzgün sonuçları verecek ağırlıkları buldurmaktır. Örnekler ağı (eğitim yöntemine bağlı olarak) en az 1000 defa gösterilerek en doğru ağırlık değerleri bulunmaya çalışılır. Ağın doğru ağırlık değerlerine ulaşması örneklerin temsil ettiği olay hakkında öğrenmeler yapabilme ulaşması anlamına gelir. Bu özelliğine kavuşması işlemine “ağın öğrenmesi” denmektedir. YSA öğrenme algoritmaları, göre danışmanlı, danışmansız ve takviyeli öğrenme olmak üzere üç tanedir (Sağıroğlu, vd., 2003).

Danışmanlı öğrenmede, YSA’ya verilen girişlere göre istenen çıkışlar verilmektedir. Ağ, bu çıkışları verebilmek için kendi ağırlıklarını düzenler. Ağırlıklar, ağ çıkışları ile istenen çıkışlar arasındaki hataya göre düzenlenmektedir. Genellenmiş delta kuralı ve geri yayılım algoritması danışmanlı öğrenme algoritmalarına örnek verilebilir.

Danışmansız öğrenmede ağa öğrenme sırasında sadece örnek girdiler verilmektedir. İstenen çıkış bilgisinin verilmesine gerek yoktur. Girişte verilen bilgilere göre YSA, her bir örneği kendi arasında gruplandırarak şekilde kendi kurallarını oluşturmaktadır. Ağ, bağlantı ağırlıklarını aynı özellikli dokuları ayırabilecek şekilde düzenleyerek öğrenme işlemini tamamlamaktadır (Esener, 2012).

Takviyeli öğrenmede, ağıın her eğitimi sonucunda elde ettiği sonucun girişe karşılık uygunluğunu değerlendiren bir ölçüt tanımlanmaktadır. Ağ, bu ölçütlere göre ağırlıklarını güncellemektedir. Bu yaklaşım, uygunluk ölçütünün tanımlanması nedeniyle danışmanlı öğrenme, çıkış bilgisinin verilmemesi nedeniyle de danışmansız öğrenme yaklaşımlarına benzerlik göstermektedir.

YSA’da kullanılan eğitim fonksiyonları Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

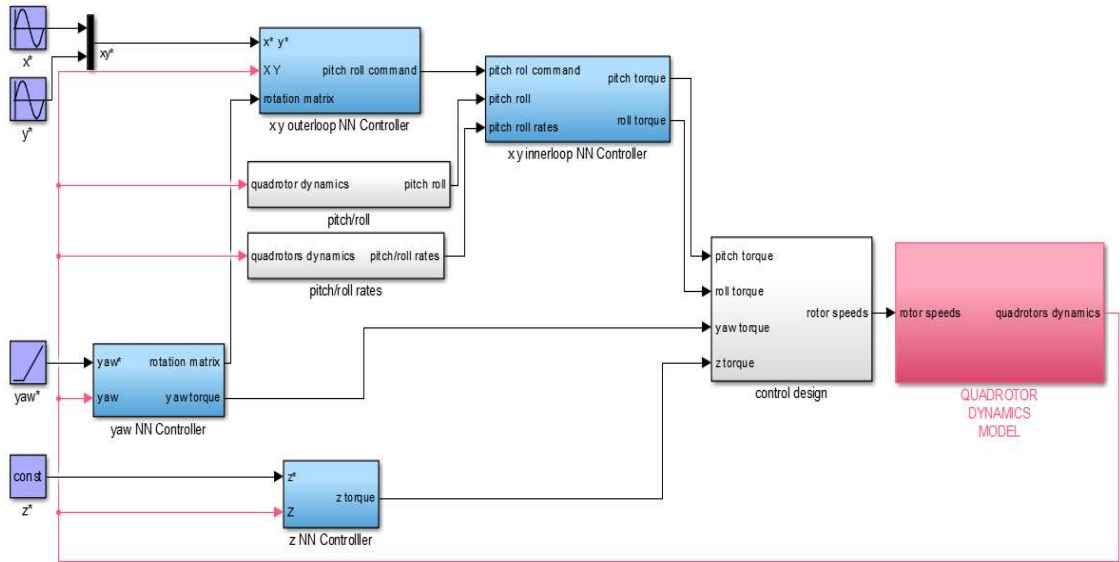
Çizelge 3.2. YSA’da kullanılan eğitim fonksiyonları.

Fonksiyon	Algoritma
trainlm	Levenberg-Marquardt
trainbr	Bayesian Regularization
trainbfg	BFGS Quasi-Newton
trainrp	Resilient Backpropagation
trainscg	Scaled Conjugate Gradient
traincgb	Conjugate Gradient with Powell / Beale Restarts
traincgf	Fletcher-Powell Conjugate Gradient
traincgp	Polak-Ribière Conjugate Gradient
trainoss	One Step Secant
traingdx	Variable Learning Rate Gradient Descent
traingdm	Gradient Descent with Momentum
traingd	Gradient Descent

Bu tez çalışmasında da kullanılan YSA eğitim fonksiyonu, Levenberg-Marquardt fonksiyonudur. Doğrusal olmayan eğri uydurma problemlerinde iyi bir performans gösterdiğinden tahmin çalışmalarında kullanımı avantajlıdır. Geniş ağlar için eğitim süresinin uzaması ve hafızada fazla yer kaplaması, bu fonksiyonun dezavantajıdır.

3.4. YSA İle Dönerkanat İHA Kontrolü

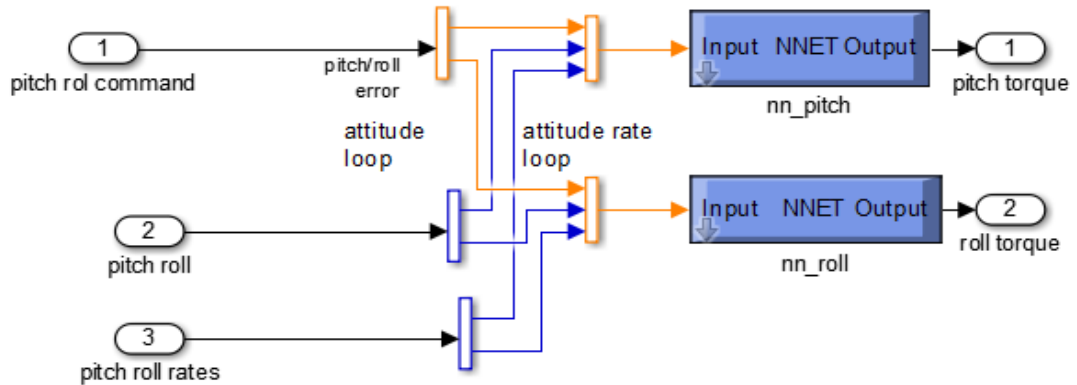
PD Kontrolcülü kontrolcülerden elde edilen veriler ile eğitilen, Yapay Sinir Ağı kontrolcüler ile çalışan dönerkanat İHA blok diyagramı Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.13. Dönerkanat İHA'nın YSA kontrolcü ile çalıştırılması.

Şekil 3.2'deki PD kontrolcülü blok diyagramına benzer şekilde YSA kontrollü çalıştırılan dönerkanat İHA'na lacivert bloklar da x , y , yalpalama ve z referans işaretleri verilmektedir. Mavi renkle gösterilen içteki bloklarda, dört kanatın tutumu kontrol edilir. Gri renkli bloklar ile yine istenen xy -düzlem hareketinin itme bileşenini temin edecek kontrol edecek şekilde yuvarlanma ve yunuslama açısında değişiklikler yaptırmak suretiyle, dört kanatın dönerkanat İHA'nın xy -konumunu kontrol etmesi sağlanır. Pembe blokta ise dönerkanat İHA dinamik modeli görülmektedir.

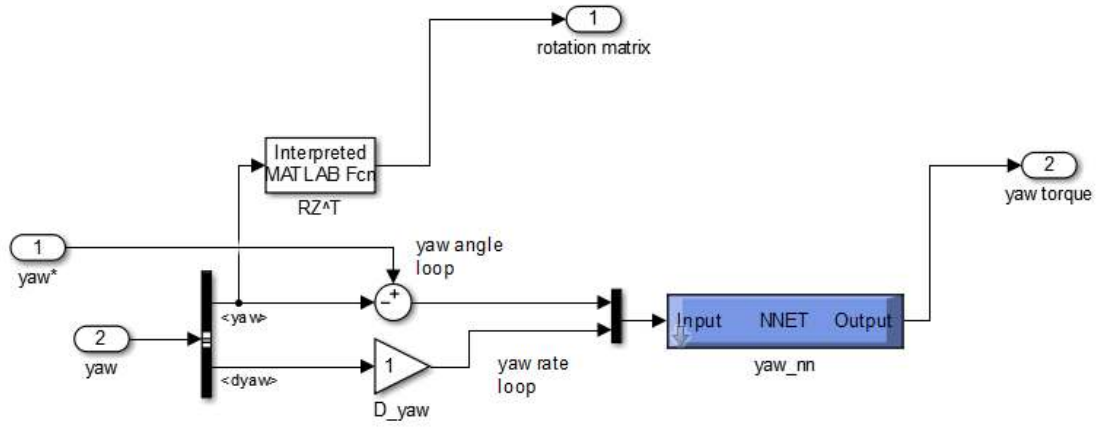
İzleyen şekillerde Şekil 3.13'deki YSA kontrolcü bloklarının iç yapıları verilmiştir.



Şekil 3.14. Yunuslama ve Yuvarlanma için YSA kontrolcüsünün iç döngüsü.

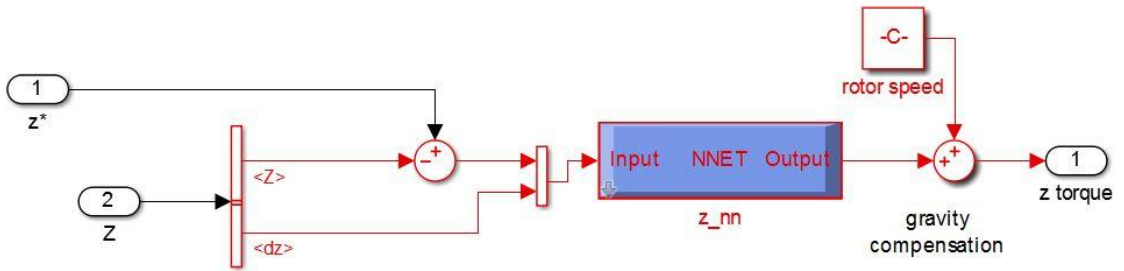
Şekil 3.14'de görüldüğü gibi yunuslama ve yuvarlanma açılarını kontrol eden YSA kontrolcülere; yunuslama ve yuvarlanma referans işaretleri, gerçekleşen

yunuslama ve yuvarlanma açıları ve yunuslama ve yuvarlanma oranları girişlere verilir. YSA kontrolcüler gerekli kontrol bileşenini üreterek, dönerkanat İHA kontrol ünitesine yunuslama ve yuvarlanma tork değerlerini iletir.



Şekil 3.15. Yalpalama için YSA kontrolcüsünün iç döngüsü.

Yalpalama hatası ve hatanın türevinin giriş olarak verildiği yalpalama YSA kontrolcüsü dönerkanat İHA kontrol ünitesine yalpalama tork bilgisi olarak iletilmektedir. Buna ait Şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.16. z için YSA kontrolcüsünün iç döngüsü.

Şekil 3.16’de z hatası ve hatanın türevinin giriş olarak verildiği z YSA kontrolcüsü dönerkanat İHA kontrol ünitesine z tork bilgisi olarak iletilmektedir. Şekil 3.6’ya benzer şekilde ω_0 dönerkanat İHA ağırlığını telafi etmek, dönerkanat İHA’nı stabilize etmek için ihtiyaç duyulan kaldırma kuvveti ve gerekli rotor hızını verir.

Şekil 3.13-3.16’daki YSA’ların eğitimi için PD kontrolcüler ile belirli yörüngeler için alınan giriş ve çıkış işaretleri kullanılmaktadır. Burada alınacak eğitim verisinin tipi ve boyutu başarıyı etkilemektedir.

4. BENZETİM SONUÇLARI

Bu tez çalışmasında; öncelikle, PD kontrolcü ile çalışan Şekil 3.2'deki dönerkanat İHA sistemine farklı referans yörüngeleri verilmiştir. Referans ve gerçekleşen değerler karşılaştırılarak PD kontrolcülerin yörünge takip performansı test edilmiştir. Elde edilen eğitim verilerine göre, PD kontrolcülerin yerine YSA kontrolcüler tasarlanmış, PD kontrolcülerin yerine YSA kontrolcüler geçirilerek dönerkanat İHA'nın yörünge takip performansı PD kontrolcü performansı ile karşılaştırılmıştır. Burada YSA kontrolcünün belirsizlikler, modellenmemiş dinamik ve sorunlara karşı sağlam bir kontrolcü olduğunu görmek için dönerkanat İHA sistemine gürültü eklenerek yörünge takip performansı test edilmiştir.

Tez çalışmasında benzetim ortamı olarak *MATLAB R2014a*, *Simulink*, *Robotics Toolbox*, *Neural Network Toolbox* kullanılmıştır. Benzetim çalışmaları için AMD Athlon Dual Core işlemcili ve 4 GB RAM'e sahip bir dizüstü bilgisayar kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan Dönerkanat İHA Modeli Pounds'un doktora tez çalışmasından, PD kontrolcü *Robotics Toolbox*'tan alınmıştır (Pounds, 2007; Corke, 2011).

4.1. Dönerkanat İHA Parametreleri

Benzetimde kullanılan dönerkanat İHA modeline ait parametreler ve büyüklükleri Çizelge 4.1'de verilmiştir (Pounds, 2007). Büyüklüklerdeki birimler SI birimleridir.

Çizelge 4.1. Dönerkanat İHA parametreleri.

Dönerkanat İHA'na ait parametreler	Büyükluğu
Dönerkanat İHA'daki rotor sayısı	4
Yerçekimi ivmesi (m/s^2)	9.81
Hava yoğunluğu (k/m^3)	1.184
Hava viskozitesi ($kg/m.s$)	1.5×10^{-5}
Dönerkanat İHA kütlesi (kg)	4
Gövde üzerindeki rotor yüksekliği (m)	-0.007
Kanat kol uzunluğu (m)	0.315
Rotor'daki kanat bıçak sayısı	2
Rotor yarıçapı (m)	0.165
Kanat genişliği (m)	0.018
Rotorlardaki kanatların kütlesi (kg)	0.005
Tahmini rotor kanat bağlantı gövde kütlesi (kg)	0.010

4.2. PD Kontrolcü İçin Benzetimler

İlk olarak PD kontrolcülü çalışmada Eşitlik 4.1'de verilen örnek referans işaretleri;

$$x^*(t) = \sin(2.\pi.0.125t - \pi/2) \text{ m.} \quad (4.1a)$$

$$y^*(t) = \sin(2.\pi.0.125t) \text{ m.} \quad (4.1b)$$

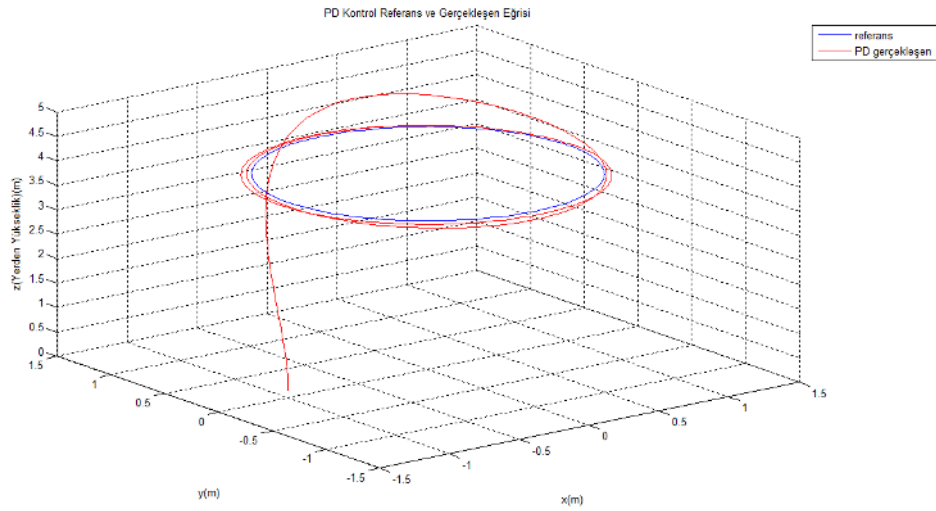
$$yalpalama^*(t) = 0.2(t - 2) \text{ rad. , } t \geq 2 \text{ s} \quad (4.1c)$$

$$z^*(t) = 4 \text{ m.} \quad (4.1d)$$

olarak tanımlanmıştır. Eşitlik 4.1.c'deki yalpalama işareti 2.sn'den itibaren geçerlidir. Çizelge 4.2'de PD kontrolcüyeye ait katsayılar verilmiştir (Cork, 2011) .

Çizelge 4.2. PD Parametreleri

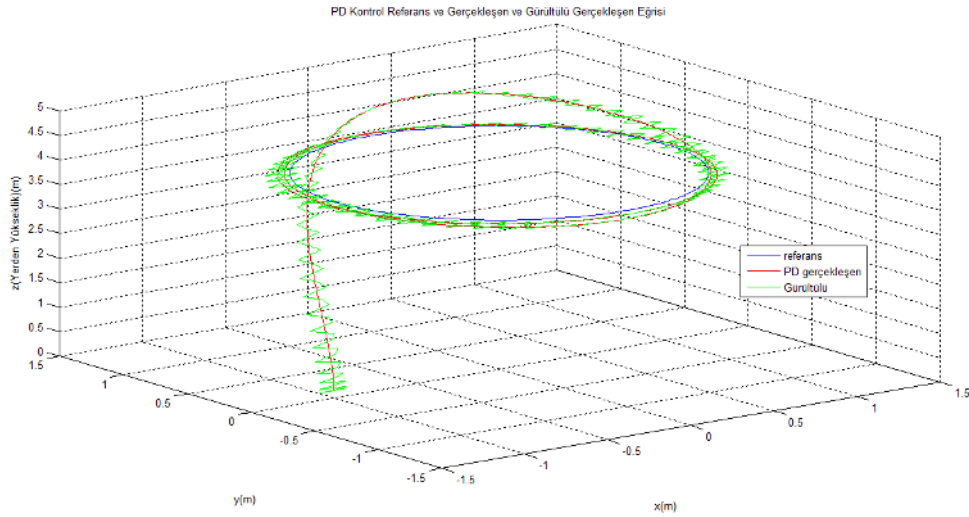
	K_P	K_D
<i>Yuvarlanma</i>	400	40
<i>Yunuslama</i>	400	40
<i>Yalpalama</i>	100	100
<i>z</i>	40	40



Şekil 4.1. PD Kontrol yörünge takip eğrisi.

Şekil4.1’de Dönerkanat İHA PD kontrolcüler ile çalıştırıldığında verilen referanslar işaretlerine göre dönerkanat İHA’nın izlediği yörüngeye ait grafik verilmiştir. Burada başlangıç koşulları $x(0) = -1$ m., $y(0) = 0$ m., $z(0) = 0,15$ m., $yalpalama(0) = 0$ rad. olarak seçilmiştir. Şekil 4.1’de mavi referans yörüngeyi tanımlarken, kırmızı izlenen yörüngeyi temsil etmektedir. PD kontrolcülü dönerkanat İHA kabul edilebilir şekilde (ortalama hatanın karesi-mse), ($x_{mse}=0.5786$, $y_{mse}=0.5377$, $z_{mse}=0.7852$, $Yalpalama_{mse}=0.0345$) yörünge takibi yapmış olduğu görülmektedir.

Referans, PD kontrolcülü ve PD kontrol gürültülü çalışmada dönerkanat İHA’nın yörünge takip performansına ait grafik Şekil4.2’de verilmiştir. Burada yeşil ile gösterilen yörünge sisteme gürültü eklendiğinde PD kontrolcü tarafından izlenen yörüngeyi göstermektedir. Burada dönerkanat İHA’na x ekseninin mevcut değerine yüksek frekanslı sinüsoidal gürültü eklendiğinde ($f_x=4000\text{Hz}$) yörünge takip performansının oldukça kötüleştiği görülmektedir. Eklenen gürültüden dolayı hata değerlerine yer verilmemiştir.



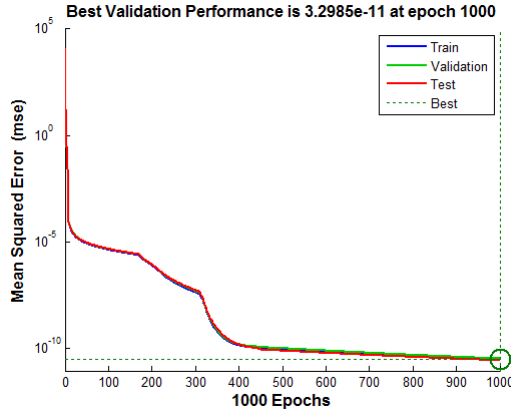
Şekil 4.2. Gürültülü PD Kontrol yörünge takip eğrisi.

4.3. 256 Yörünge ile Eğitilmiş YSA'lar ile Dönerkanat İHA Benzetim Sonuçları

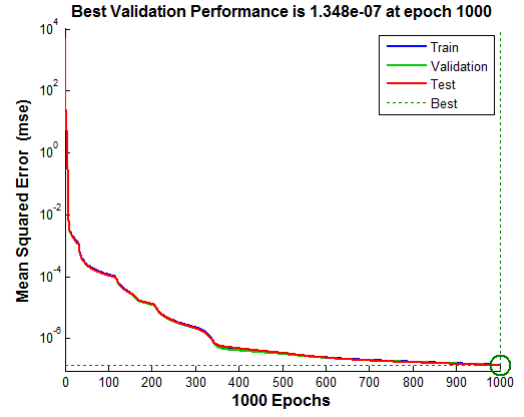
PD çalışmaya Ek-1'de gösterilen 256 farklı yörünge verilmiş elde edilen kontrolcü giriş ve çıkış bilgileri veri dosyasına kaydedilerek her bir PD kontrolcüsü yerine, eğitilerek elde edilen YSA kontrolcüler tasarlanmıştır. Daha sonra dönerkanat İHA'nın yörüngesi, PD kontrolcüler yerine YSA kontrolcüler yerleştirilerek izlenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

PD denetleyicilerden her yörünge için 400 nokta alınmak üzere 102400x2 (yalpalama) veya 102400x3 (yuvarlanma ve yunuslama) girişli ve 102400x1 (z) çıkışlı eğitim verileri YSA kontrolcü eğitimleri için kullanılmıştır. Seçilen 256 yörüngeye dair liste Ek.1'de verilmiştir. Kullanılan tüm YSA'ların yapısı tek gizli katmanlı bu katmanda 10 nöronlu ve tüm YSA'lar tek çıkışlı olarak oluşturulmuştur. YSA kontrolcüler Levenberg-Marquardt algoritması kullanılarak eğitilmiştir. YSA eğitimleri en fazla 1000 eğitimde (epoch) ve 0 hatada durdurulmuştur.

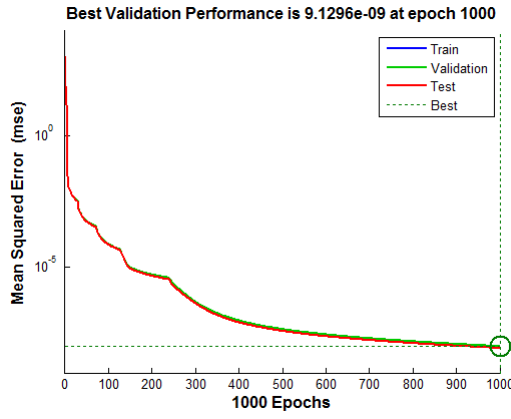
Şekil 4.3'de Yuvarlanma, Yunuslama, Yalpalama ve z kontrolcüler için YSA eğitim performansları gösterilmektedir. Yuvarlanma YSA kontrolcüsünün eğitimi en iyi eğitimle $3.29 \cdot 10^{-11}$ mse doğrulama performansı ile tamamlanmıştır. Yunuslama YSA kontrolcüsünün eğitimi $1.34 \cdot 10^{-7}$ mse ile tamamlanmıştır. Yalpalama YSA kontrolcüsünün eğitimi $9.12 \cdot 10^{-9}$ mse ile tamamlanmıştır. z YSA kontrolcüsünün eğitimi $2.09 \cdot 10^{-5}$ mse doğrulama performansı ile tamamlanmıştır.



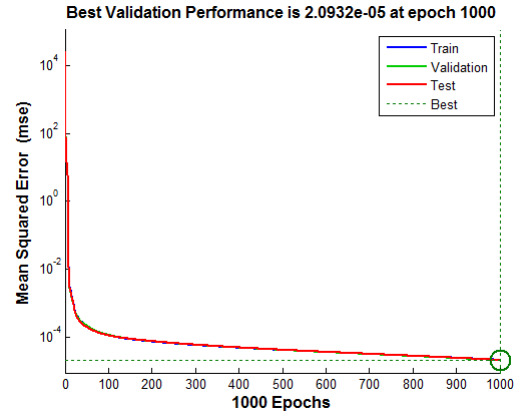
a)



b)

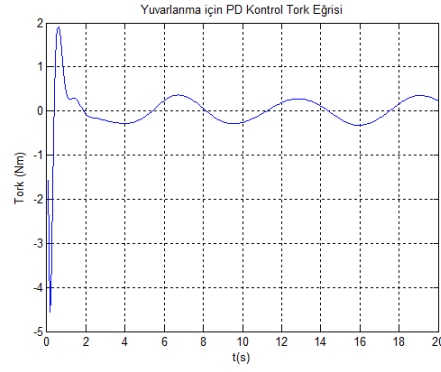


c)

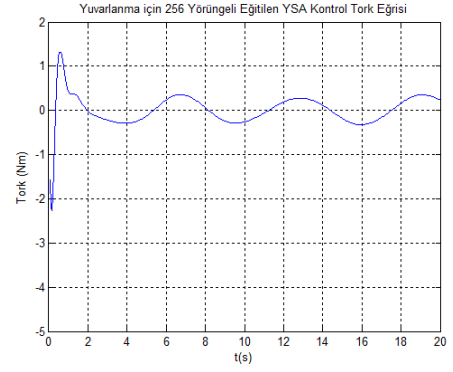


d)

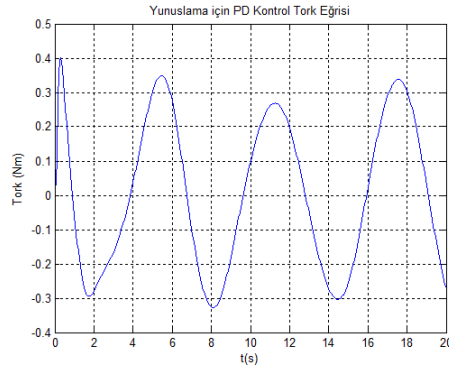
Şekil 4.3. 256 yörünge ile eğitilen YSA Kontrolcüler için Eğitim Sonuçları
a) Yuvarlanma b) Yunuslama c) Yalpalama d) z.



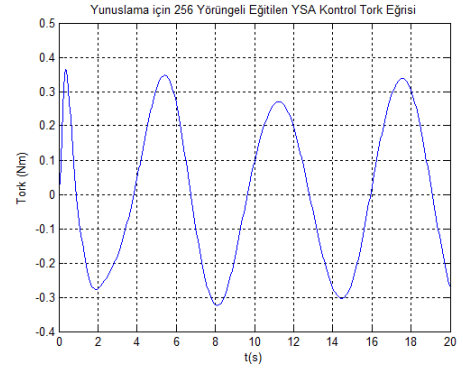
a)



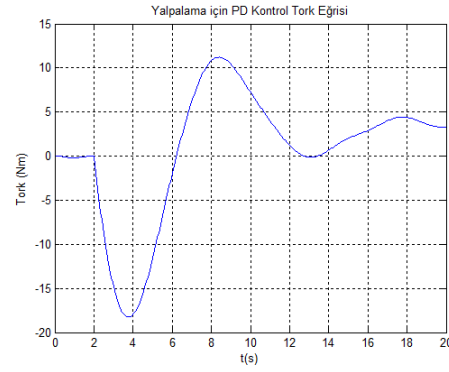
b)



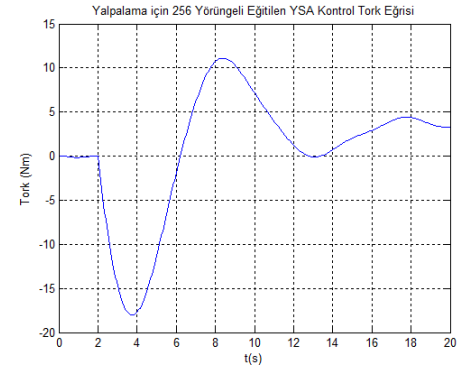
c)



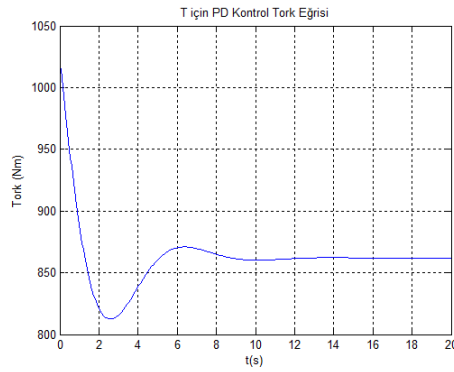
d)



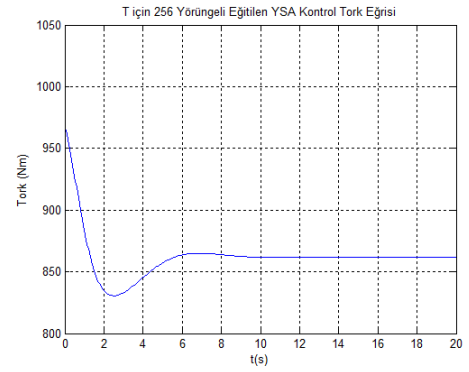
e)



f)



g)



h)

Şekil 4.4. PD ve 256 yörünge ile eğitilen YSA Kontrolcülerin Torkları a)PD için $\tau_{yuvarlanma}$ b)YSA için $\tau_{yuvarlanma}$ c)PD için $\tau_{yunuslama}$ d)YSA için $\tau_{yunuslama}$ e)PD için $\tau_{yalpalama}$ f)YSA için $\tau_{yalpalama}$ g) PD için T h)YSA için T .

PD ve YSA kontrolcülerin torkları Şekil 4.4'de gösterilmektedir. Burada İHA'nın referans yörüngeye yükselmesi için geçen sürede (yaklaşık 1.8s) geçici rejim göstermektedir. YSA'nın beklenen hatalarla, PD tork değerlerine T harici (Şekil4.4.h) yakınsadığı eğrilerde görülmektedir. T yapılan hata Şekil4.5'te görüldüğü üzere z 'deki hataya sebep olmaktadır.

Eğrilerden de görüldüğü gibi 256 yörüngeden elde edilen verilerle eğitilen YSA kontrolcülerin, dönerkanat İHA'yı kontrol etme olasılığı bulunmaktadır.

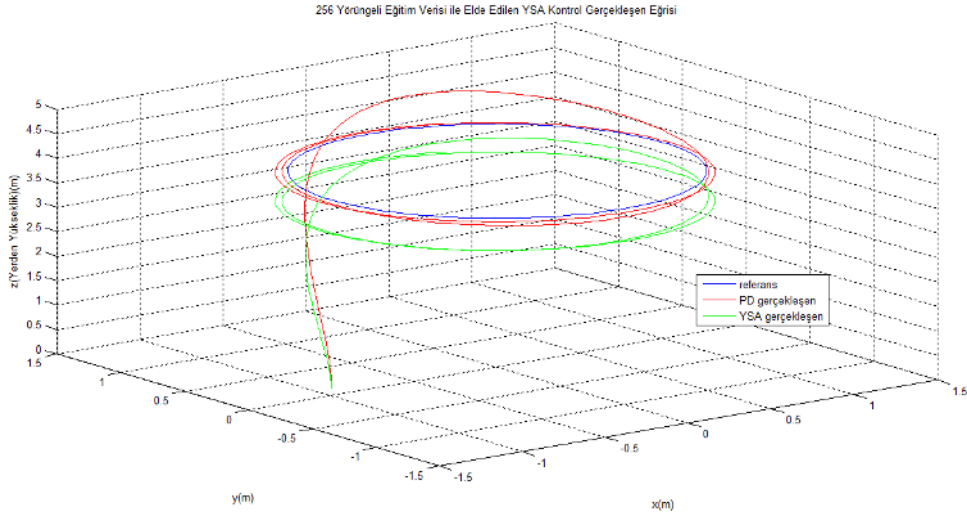
256 yörüngeli YSA'yı test etmek üzere aşağıdaki yörüngeler için benzetim yapılmıştır ve Şekil4.5'te PD ve 256 yörüngeli YSA denetleyicilerin yörünge takip performansı verilmiştir.

$$x^*(t) = \sin(2.\pi.0.125t - \pi/2) \text{ m.} \quad (4.2a)$$

$$y^*(t) = \sin(2.\pi.0.125t) \text{ m.} \quad (4.2b)$$

$$yalpalama^*(t) = 0.2(t - 2) \text{ rad} \quad (4.2c)$$

$$z^*(t) = 4 \text{ m.} \quad (4.2d)$$



Şekil 4.5. Referans, PD kontrol ve YSA kontrol gerçekleşen eğrisi.

256 yörüngeli eğitim verisi ile eğitilen YSA kontrolcülü dönerkanat İHA mse hataları olarak $x_{mse}=0.5792$, $y_{mse}=0.5352$, $z_{mse}=1.2249$, $Yalpalama_{mse}=0.0344$ ile yörünge takibi yapmış olduğu görülmektedir. Burada da dönerkanat İHA'nın x , y ve

yalpalama eksenlerinde iyi bir yörünge izleme performansı ortaya koyduğu, bununla beraber z ekseninde istenen takibi sağlayamamaktadır. Bu örnek için geçici rejimden sonra z eksenindeki sürekli durum hatası 0.6075m olarak sabitlenmektedir.

4.4. Tek Yörünge ile Eğitilmiş YSA'lar ile Dönerkanat İHA Benzetim Sonuçları

YSA doğası gereği öğrenme amaçlı olarak eğitim verilerine ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaca bağlı olarak Bölüm 4.3'te 256 farklı yörünge için YSA'lar eğitilmiştir. Bu bölümde ise eğitim için tek bir eğitim yörüngesi kullanarak YSA başarımı test edilmiştir.

PD denetleyicilerden 400x2 (*yalpalama*) veya 400x3 (yuvarlanma ve yunuslama) girişli ve 400x1 (z) çıkışlı eğitim verileri YSA kontrolcü eğitimleri için kullanılmıştır. Tüm YSA kontrolcüler Levenberg-Marquardt algoritması kullanılarak eğitilmiştir. YSA eğitimleri en fazla 1000 eğitimde (epoch) durdurulmuştur. Seçilen eğitim yörüngesi aşağıda verilmiştir.

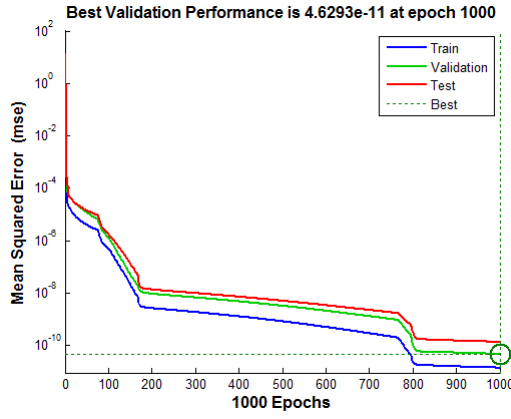
$$x^*(t) = \sin(2.\pi.0.125t - \pi/2) \text{ m.} \quad (4.3a)$$

$$y^*(t) = \sin(2.\pi.0.125t) \text{ m.} \quad (4.3b)$$

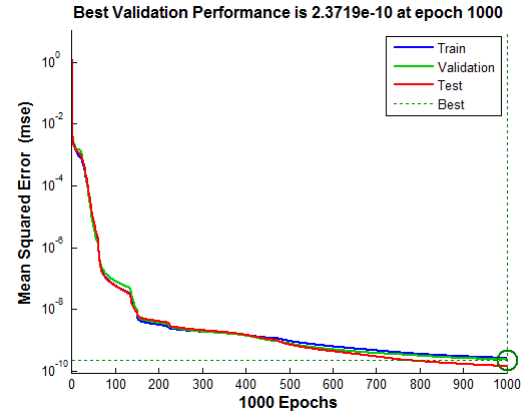
$$\text{yalpalama}^*(t) = 0.2(t - 2) \text{ rad} \quad (4.3c)$$

$$z^*(t) = 4 \text{ m.} \quad (4.3d)$$

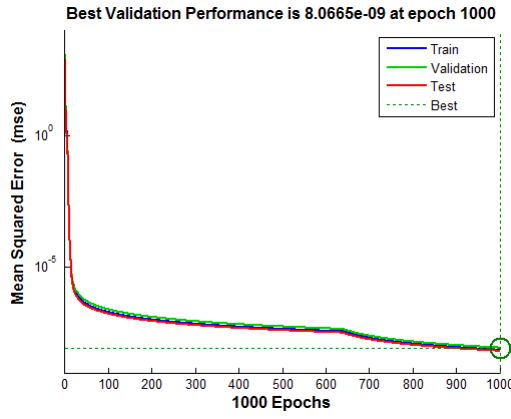
Şekil 4.6'da Yuvarlanma, Yunuslama, Yalpalama ve z kontrolcülerini için YSA eğitim performansları gösterilmektedir. Yuvarlanma YSA kontrolcüsünün eğitimi en iyi eğitimle $4.63 \cdot 10^{-11}$ mse doğrulama performansı ile tamamlanmıştır. Yunuslama YSA kontrolcüsünün eğitimi $2.37 \cdot 10^{-10}$ mse ile tamamlanmıştır. Yalpalama YSA kontrolcüsünün eğitimi $8.07 \cdot 10^{-9}$ mse ile tamamlanmıştır. z YSA kontrolcüsünün eğitimi $5.90 \cdot 10^{-7}$ mse doğrulama performansı ile tamamlanmıştır.



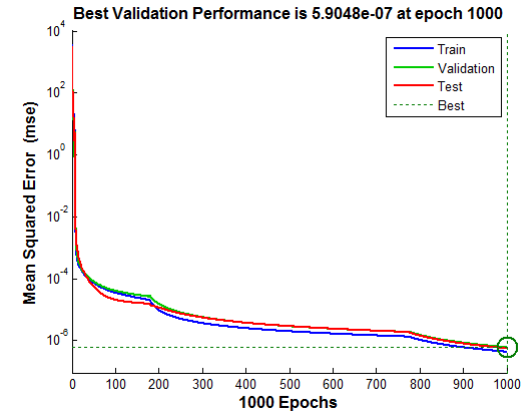
a)



b)

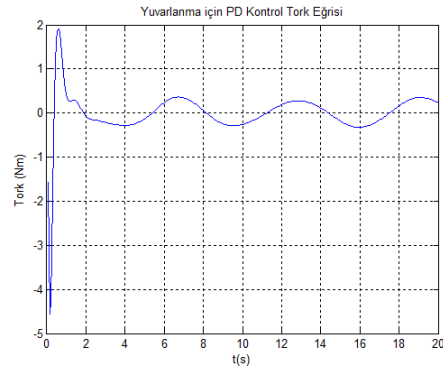


c)

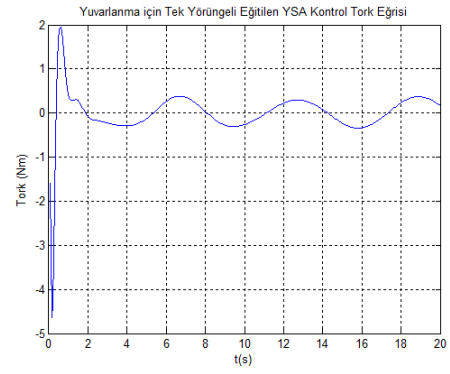


d)

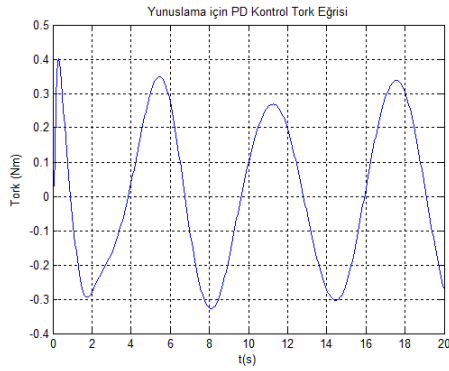
Şekil 4.6. YSA Kontrolcüler için Eğitim Sonuçları a) Yuvarlanma b) Yunuslama c) Yalpalama d) z.



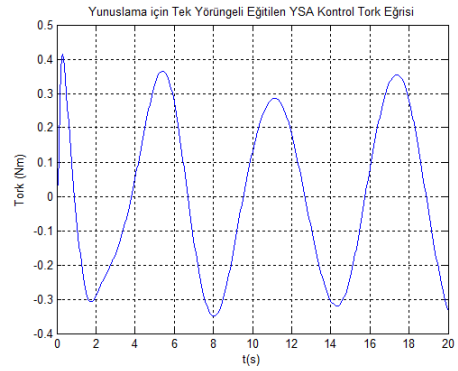
a)



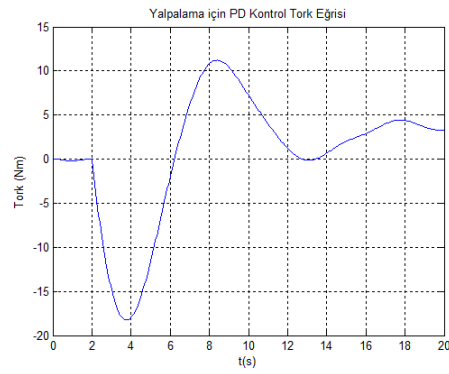
b)



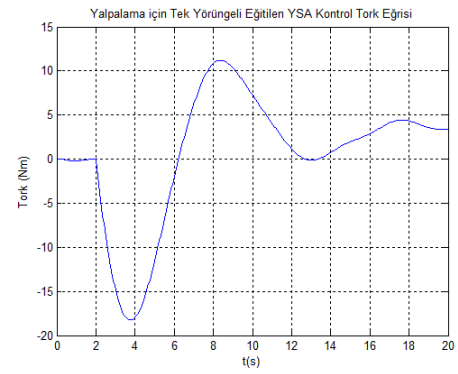
c)



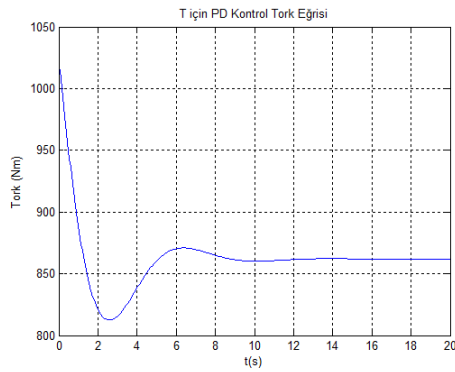
d)



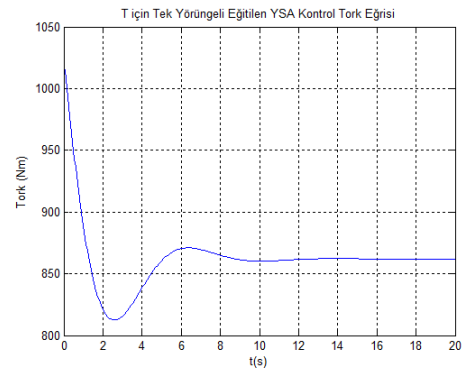
e)



f)



g)



h)

Şekil 4.7. PD ve YSA kontrolcülerin torkları a)PD için $\tau_{yuvarlanma}$ b)YSA için $\tau_{yuvarlanma}$ c)PD için $\tau_{yunuslama}$ d)YSA için $\tau_{yunuslama}$ e)PD için $\tau_{yalpalama}$ f)YSA için $\tau_{yalpalama}$ g) PD için T h)YSA için T .

PD ve tek eğitim kümeli YSA kontrolcülerinin torkları Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Tek eğitim kümeli YSA'nın küçük hatalarla olması gereken tork değerlerine yakınsadığı eğrilerde görülmektedir. Bu durumda tek yörünge eğitilmiş YSA kontrolcülerin de, PD kontrolcülere benzer performans göstereceği görülmektedir.

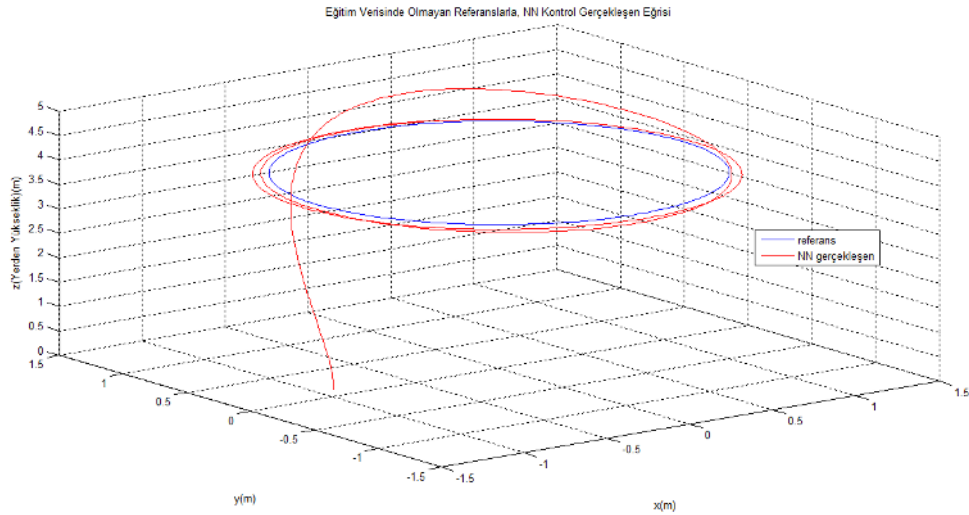
YSA'nın başarımını görmek için eğitim veri seti içinde bulunmayan Eşitlik 4.4'deki referans yörünge için benzetim yapılmıştır ve tek eğitim kümeli YSA için yörünge takip sonucu Şekil 4.8'de verilmiştir.

$$x^*(t) = 1.1 \sin(2. \pi. 0.125t - \pi/2) \text{ m.} \quad (4.4a)$$

$$y^*(t) = 1.1 \sin(2. \pi. 0.125t) \text{ m.} \quad (4.4b)$$

$$yalpalama^*(t) = 0.25(t - 2) \text{ rad} \quad (4.4c)$$

$$z^*(t) = 4 \text{ m.} \quad (4.4d)$$

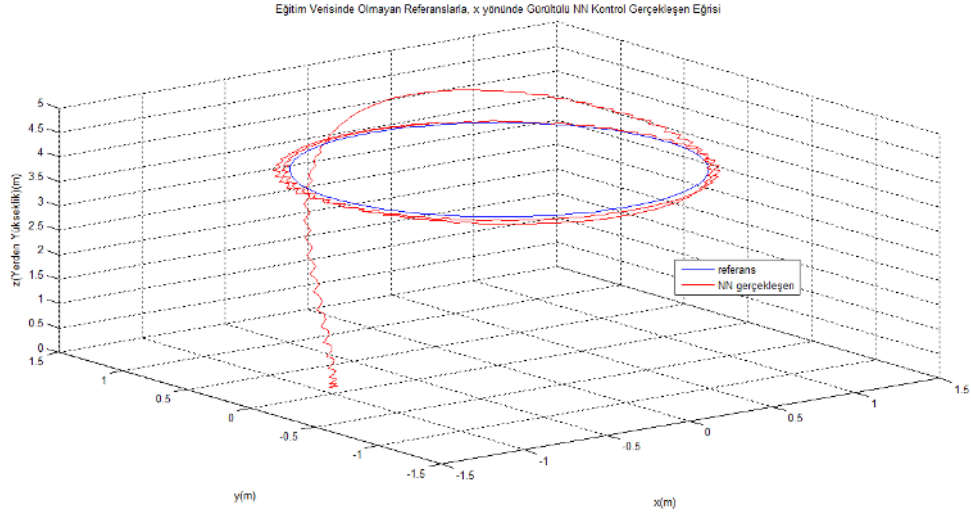


Şekil 4.8. Eğitim verisinde olmayan referanslarla, YSA kontrol gerçekleşen eğrisi.

Tek yörünge ile eğitilen YSA kontrolcülünün Eşitlik 4.4'deki referans yörünge için mse hataları olarak $x_{mse}=0.7040$, $y_{mse}=0.6549$, $z_{mse}=0.7851$, $Yalpalama_{mse}=0.0540$ ile yörünge takibi yaptığı görülmektedir.

YSA'nın kullanımında asıl amaç eğitim haricindeki referanslarda da aynı başarımı sağlamak ve sistemdeki bozucularla baş edebilmektir. Bu sebeple YSA'nın başarımını görmek için, eğitim veri seti içinde bulunmayan Eşitlik 4.4'deki referanslara Eşitlik 4.5 denkleminde gösterildiği gibi sadece x yörüngesi için gürültü eklenmiştir.

$$x(t) = x(t) \cdot (1 + \sin(8000t)) \quad (4.5)$$



Şekil 4.9. Eğitim verisinde olmayan referanslarla, x yönünde gürültülü YSA kontrol gerçekleşen eğrisi.

Şekil 4.9’da tek yörüngeli YSA için x yönünde bozucuya sahip senaryoda yörünge takip başarımları görülmektedir. Tek eğitim yörüngeli YSA gürültüye rağmen referans yörüngeyi takibi oldukça başarılı bir şekilde sağlamıştır.

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında klasik PD kontrolcülere alternatif olarak akıllı bir yapı olan YSA kullanılarak günümüz yaygın İHA'larından dönerkanatlı İHA'nın kontrolüne odaklanılmıştır.

Çalışmada ilk olarak klasik PD kullanan dönerkanatlı İHA'nın Robotics Toolbox'daki benzetimi incelenmiş, farklı referans yörüngeleri için başarımları gözlemlenmiştir. Gerçeklenecek bir dönerkanatlı İHA'da gürültü kaçınılmaz olduğundan aynı benzetimler x yörüngesine gürültü eklenerek tekrar edilmiştir.

Devamında tez çalışmasını amacına bağlı olarak ileri beslemeli YSA'ların dönerkanat İHA'nın iç döngülerindeki Yuvarlanma Yunuslama ve Yalpalama için kullanılan PD kontrolcülerin yerine geçmesi için ilk olarak 256 farklı yörüngede PD kontrolcülerin benzetimi yapılmış ve YSA'lar için eğitim veri kümeleri oluşturulmuştur. Bu kümeler kullanılarak üç farklı YSA eğitilmiş, eğitilen bu YSA'larla T harici istenen takip performansı elde edilmiştir. T 'deki zayıf yakınsama z 'de sürekli durum hatalarına sebep olmuştur.

YSA başarımlarını farklı şekilde test etmek amacıyla eğitim veri kümesi tek yörüngeye indirilmiştir. Bu küme ile eğitilen YSA'lar hem torklar açısından PD kontrolcünün torklarına daha iyi yakınsamış, hem de eğitim kümesi dışındaki yörünge takibinde PD kontrolcülerine yakın performans elde edilmiştir. Benzer sonuçlar gürültülü senaryo için de gözlemlenmiştir.

Gelecekteki çalışmalarda ANFİS, Radyal tabanlı ağlar, destek vektör makineleri gibi farklı akıllı yapılar kullanılarak kontrolcüler tasarlanacaktır. Ayrıca tasarlanan kontrolcülerin gerçek bir dönerkanat İHA üzerinde gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- Anderson, S. B., “Historical Overview of V/STOL Aircraft Technology”, *Nasa Ames Research Center*, California (1981).
- Antsaklis, P J, “Neural Networks For Control Systems”, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 1 (2): 242-244 (1990).
- Başoğlu, B., Bulut, M., “Kısa Dönem Elektrik Talep Tahminleri İçin Yapay Sinir Ağları ve Uzman Sistemler Tabanlı Hibrid Tahmin Sistemi Geliştirilmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara, 575-583(2017).
- Bayrakçıken, M. K., “Dikine İniş Kalkış Yapabilen Dört Rotorlu Hava Aracının (Quadrotor) Uçuş Kontrolü”, Doktora Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (2013).
- Beale, M. H., Demuth, H. B., Hagan, M. T., Chen, Q., “Neural network toolbox™ 8 4th ed.”, *User’s guide*, The MathWorks, Inc., Natick (2014).
- Bhatkhande, P., Havens, T. C., “Real Time Fuzzy Controller For Quadrotor Stability Control”, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, Beijing, 913-919 (2014).
- Bouhali, O., Boudjedir, H., “Neural Network Control with Neuro-Sliding mode Observer Applied to Quadrotor Helicopter”, *International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications*, İstanbul, 24-28(2011).
- Can K., Orman K., Başçi A., Derdiyok A., “Dört Rotorlu Bir Mikro İnsansız Hava Aracının (İHA) İki Serbestlik Dereceli PI Kontrolcü ile Yörünge Takibinin Gerçekleştirilmesi”, *ELECO 2016 Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 682-686 (2016).
- Corke, P., “Robotics, Vision and Control Fundamental Algorithms in MATLAB®”, *Springer Tracts in Advanced Robotics*, Heidelberg (2011).
- Esener, İ. I., “Akıllı Sistemler Kullanılarak Güç Sistemlerinde Yük Tahmini Analizi ve Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik (2012).
- Haykin, S., “Neural Networks: A comprehensive foundation 2th ed.”, *Prentice Hall*, New Jersey (1998).

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Herrera, M., Gomez, A. P., Chamorro, W., Camacho, O., “Sliding Mode Control: An approach to Control a Quadrotor”, *Asia-Pacific Conference on Computer Aided System Engineering*, Quito, 314-319(2015).
- Hoffmann, G. M., Huang, H., Waslander, S. L., Tomlin, Claire J., “Precision flight control for a multi-vehicle quadrotor helicopter testbed”, *Control Engineering Practice*, 19 (9): 1023-1036(2011).
- Lewis, F.L., Ge, S. S., “Neural Networks in Feedback Control Systems”, *Mechanical Engineer’s Handbook*, 1-28(2005).
- Liu, H., Xi, J., Zhong, Y., “Robust motion control of quadrotors”, *Journal of the Franklin Institute*, 351: 5494-5510(2014).
- Mahony, R., Kumar, V., Corke, P., “Multirotor Aerial Vehicles: Modeling, Estimation, and Control of Quadrotor”, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 19(3): 20-32 (2012).
- Pounds, P. E. I., “Design, Construction and Control of a Large Quadrotor Micro Air Vehicle”, Doktora Tezi, *Australian National University*, Acton (2007).
- Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M., “Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1: Yapay Sinir Ağları”, *Ufuk Kitap Kirtasiye Yayıncılık*, Kayseri (2003).
- Santos, M., López, V., Morata, F., “Intelligent fuzzy controller of a quadrotor”, *IEEE International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering*, Hangzhou (2010).
- Tesfaye, R., Negash, A. L., “Modeling and Control of a Quad-rotor Unmanned Aerial Vehicle at Hovering Position”, Yüksek Lisans Tezi, *Addis Ababa University*, Addis Ababa (2012).
- Xu, R., Özgüner, Ü., “Sliding Mode Control of a Quadrotor Helicopter”, *45th IEEE Conference on Decision & Control Manchester*, San Diego (2006).

Ek.1. 256 veri seti için eğitim değerleri.

Veri Seti İndisi	x^*	y^*	Yalpalama	z^*
1	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	2
2	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	3
3	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	4
4	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	5
5	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	2
6	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	3
7	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	4
8	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	5
9	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.3	2
10	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.3	3
11	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.3	4
12	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.3	5
13	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.4	2
14	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.4	3
15	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.4	4
16	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.4	5
17	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.1	2
18	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.1	3
19	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.1	4
20	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.1	5
21	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.2	2
22	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.2	3
23	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.2	4
24	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.2	5
25	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.3	2
26	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.3	3
27	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.3	4
28	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.3	5
29	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.4	2
30	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.4	3
31	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.4	4
32	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.4	5
33	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.1	2
34	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.1	3
35	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.1	4
36	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.1	5
37	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.2	2
38	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.2	3
39	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.2	4
40	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.2	5
41	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.3	2
42	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.3	3
43	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.3	4
44	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.3	5
45	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.4	2
46	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.4	3
47	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.4	4
48	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.4	5
49	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.1	2

Veri Seti İndisi	x*	y*	Yalpalama	z*
50	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.1	3
51	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.1	4
52	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.1	5
53	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.2	2
54	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.2	3
55	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.2	4
56	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.2	5
57	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.3	2
58	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.3	3
59	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.3	4
60	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.3	5
61	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.4	2
62	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.4	3
63	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.4	4
64	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.4	5
65	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	2
66	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	3
67	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	4
68	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	5
69	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	2
70	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	3
71	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	4
72	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	5
73	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.3	2
74	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.3	3
75	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.3	4
76	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.3	5
77	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.4	2
78	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.4	3
79	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.4	4
80	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.4	5
81	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.1	2
82	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.1	3
83	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.1	4
84	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.1	5
85	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.2	2
86	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.2	3
87	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.2	4
88	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.2	5
89	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.3	2
90	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.3	3
91	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.3	4
92	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.3	5
93	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.4	2
94	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.4	3
95	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.4	4
96	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.4	5
97	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.1	2
98	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.1	3
99	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.1	4

Veri Seti İndisi	x*	y*	Yalpalama	z*
100	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.1	5
101	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.2	2
102	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.2	3
103	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.2	4
104	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.2	5
105	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.3	2
106	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.3	3
107	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.3	4
108	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.3	5
109	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.4	2
110	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.4	3
111	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.4	4
112	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.4	5
113	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.1	2
114	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.1	3
115	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.1	4
116	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.1	5
117	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.2	2
118	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.2	3
119	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.2	4
120	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.2	5
121	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.3	2
122	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.3	3
123	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.3	4
124	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.3	5
125	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.4	2
126	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.4	3
127	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.4	4
128	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.4	5
129	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	2
130	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	3
131	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	4
132	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	5
133	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	2
134	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	3
135	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	4
136	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	5
137	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.3	2
138	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.3	3
139	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.3	4
140	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.3	5
141	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.4	2
142	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.4	3
143	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.4	4
144	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.4	5
145	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.1	2
146	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.1	3
147	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.1	4
148	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.1	5
149	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.2	2

Veri Seti İndisi	x*	y*	Yalpalama	z*
150	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.2	3
151	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.2	4
152	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.2	5
153	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.3	2
154	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.3	3
155	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.3	4
156	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.3	5
157	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.4	2
158	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.4	3
159	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.4	4
160	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125 - \pi/2)$	0.4	5
161	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.1	2
162	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.1	3
163	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.1	4
164	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.1	5
165	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.2	2
166	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.2	3
167	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.2	4
168	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.2	5
169	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.3	2
170	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.3	3
171	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.3	4
172	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.3	5
173	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.4	2
174	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.4	3
175	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.4	4
176	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	0.4	5
177	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.1	2
178	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.1	3
179	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.1	4
180	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.1	5
181	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.2	2
182	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.2	3
183	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.2	4
184	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.2	5
185	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.3	2
186	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.3	3
187	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.3	4
188	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.3	5
189	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.4	2
190	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.4	3
191	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.4	4
192	$\sin(2\pi \cdot 0,250)$	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	0.4	5
193	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	2
194	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	3
195	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	4
196	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.1	5
197	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	2
198	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	3
199	$\sin(2\pi \cdot 0,250 - \pi/2)$	$\sin(2\pi \cdot 0,125)$	0.2	4

Veri Seti İndisi	x*	y*	Yalpalama	z*
200	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125)$	0.2	5
201	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125)$	0.3	2
202	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125)$	0.3	3
203	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125)$	0.3	4
204	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125)$	0.3	5
205	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125)$	0.4	2
206	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125)$	0.4	3
207	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125)$	0.4	4
208	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125)$	0.4	5
209	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.1	2
210	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.1	3
211	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.1	4
212	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.1	5
213	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.2	2
214	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.2	3
215	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.2	4
216	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.2	5
217	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.3	2
218	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.3	3
219	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.3	4
220	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.3	5
221	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.4	2
222	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.4	3
223	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.4	4
224	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,125-\pi/2)$	0.4	5
225	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.1	2
226	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.1	3
227	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.1	4
228	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.1	5
229	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.2	2
230	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.2	3
231	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.2	4
232	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.2	5
233	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.3	2
234	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.3	3
235	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.3	4
236	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.3	5
237	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.4	2
238	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.4	3
239	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.4	4
240	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250)$	0.4	5
241	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.1	2
242	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.1	3
243	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.1	4
244	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.1	5
245	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.2	2
246	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.2	3
247	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.2	4
248	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.2	5
249	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.3	2

Veri Seti İndisi	x^*	y^*	Yalpalama	z^*
250	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.3	3
251	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.3	4
252	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.3	5
253	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.4	2
254	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.4	3
255	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.4	4
256	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	$\sin(2.\pi.0,250-\pi/2)$	0.4	5

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Osman ÇAKIR

Doğum Yeri ve Tarihi : İzmit 23.08.1978



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fak. Elektrik Eğitimi (2000)

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri : “Neural Network Control for Quadrotors”, *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 31(2941): (2017)

İş Deneyimi

Stajlar : Bekaert, Kartonsan, Kaya Elektroteknik

Projeler :

Çalıştığı Kurumlar : Milli Eğitim Bakanlığı Öğretmen (2000, Devam Ediyor)

İletişim

Adres : Karşıyaka Tüpraş MTAL Başiskele KOCAELİ

Tel : +90 505 765 9812

E-Posta Adresi : cakirosman41@hotmail.com

Tarih: 28/02/2018