

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI**

**İNSANSIZ HAVA ARACI İTKİSİNİN GAO
ALGORİTMASI TABANLI ANFİS MODELİYLE
İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Mustafa AKPINAR**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Seda ARIK HATİPOĞLU
Doç. Dr. Mehmet KONAR**

Yüksek Lisans Tezi

**Ekim 2022
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI**

**İNSANSIZ HAVA ARACI İTKİSİNİN GAO
ALGORİTMASI TABANLI ANFİS MODELİYLE
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Mustafa AKPINAR**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Seda ARIK HATİPOĞLU
Doç. Dr. Mehmet KONAR**

**Ekim 2022
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

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

Mustafa AKPINAR

“İnsansız Hava Aracı İtkisinin GAO Algoritması Tabanlı ANFIS Modeliyle İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Mustafa AKPINAR

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Seda ARIK HATİPOĞLU

Sivil Havacılık ABD Başkanı

Prof. Dr. İlke TÜRKMEN

TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, kıymetli hocalarım Dr. Öğr Üyesi Seda ARIK HATİPOĞLU'na ve Doç. Dr. Mehmet KONAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam esnasında gösterdiği sabır ve desteğinden dolayı eşim Gamze AKPINAR'a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde maddi ve manevi her türlü desteği sağlayıp, her zaman yanımda duran kıymetli aileme de teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa AKPINAR

Ekim 2022, KAYSERİ

İNSANSIZ HAVA ARACI İTKİSİNİN GAO ALGORİTMASI TABANLI ANFİS MODELİYLE İNCELENMESİ

Mustafa AKPINAR

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ekim 2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seda ARIK HATİPOĞLU

İkinci Danışman: Doç. Dr. Mehmet KONAR

ÖZET

İnsansız hava araçlarının (İHA) geçmişi çok eski tarihlere dayanmamasına rağmen, günümüz dünyasında birçok alanda hayatımıza girmiş durumdadır. İHA'lar, gelişen teknoloji ile birlikte hızlı bir gelişim gösterirken, yeni beklenti ve ihtiyaçları da beraberinde getirmektedir. Bu beklenti ve ihtiyaçların karşılanmasında, enerji tüketiminin azaltılması, itkinin artırılması ve havada kalış süresinin uzatılması gibi konular, İHA tasarımlarında dikkate alınması gereken temel konular arasındadır.

İHA'lar tasarlanırken farklı yöntemler kullanılmakla birlikte, son yıllarda, optimizasyon yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalarda artış görülmektedir. İHA tasarımlarında maliyetin ve zaman kaybının azaltılabildiği bilgisayar tabanlı bu yöntemler, aynı zamanda, birçok olasılığın denenmesine imkan tanımaktadır. Bu tez çalışmasında, İHA itkisinin incelenmesi için optimizasyon yöntemlerine dayanan alternatif bir modelin ortaya konulması hedeflenmiştir.

Bu amaçla, öncelikle literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Literatür çalışmalarına alternatif olarak, Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFİS) ve Geri İzleme-Arama Optimizasyon (GAO) algoritmasına dayanan bir model önerilmiştir. Simülasyon sonuçları, önerilen yöntemin, maliyet ve zaman kaybı olmaksızın, hızlı ve etkin bir şekilde İHA'ların itkisinin incelenmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: İtki; ANFİS; GAO, İnsansız hava aracı; Optimizasyon.

INVESTIGATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLE THRUST BY BSO ALGORITHM BASED ANFIS MODEL

Mustafa AKPINAR

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, October 2022**

**Supervisor: Asst. Prof. Seda ARIK HATİPOĞLU
Co- Supervisor: Assoc. Prof. Mehmet KONAR**

ABSTRACT

Although the history of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) does not go back to ancient times, they have entered our lives in many areas in today's world. While UAVs show rapid improvement with the developing technology, they also bring new expectations and needs. In meeting these expectations and needs, issues such as reducing energy consumption, increasing thrust performance and endurance are among the main issues to be considered in UAV designs.

Although different methods are used when designing UAVs, there has been an increase in studies using optimization methods in recent years. These computer based methods, in which cost and time loss can be reduced in UAV designs, also allow many possibilities to be tested. In this thesis, it is aimed to present an alternative model based on optimization methods for the investigation of UAV thrust.

For this purpose, first of all, studies in the literature were examined. As an alternative to literature studies, a model based on Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS) and Backtracking-Search Optimization (BSO) algorithm has been proposed. The simulation results have shown that the proposed method can be used quickly and effectively without loss of cost and time to investigate of UAV thrust.

Keywords: Thrust; ANFIS; BSO; Unmanned aerial vehicle; Optimization.

İÇİNDEKİLER

İNSANSIZ HAVA ARACI İTKİSİNİN GAO ALGORİTMASI TABANLI ANFİS MODELİYLE İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Genel Bilgiler	3
1.2. Literatür Değerlendirmesi	4

2. BÖLÜM

İHA VE GÜÇ SİSTEMLERİ

2.1. Genel Bilgiler	6
2.2. İHA’larda Kullanılan Güç Sistemleri	7
2.2.1.Fırçasız Motorlar	7
2.2.2.Bataryalar	11
2.2.3.Elektronik Hız Kontrolörü.....	13
2.2.4.Pervane.....	15

3. BÖLÜM

ANFIS VE GAO ALGORİTMASI

3.1. ANFIS.....	17
3.1.1. Takagi-Sugeno Sonuç Çıkarım Modeli	18
3.1.2. ANFIS'in Katman Yapısı	19
3.1.3. ANFIS Özellikleri.....	20
3.2. GAO Algoritması	21

4. BÖLÜM

İHA İTKİ SİSTEMİNİN İNCELENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

4.1. Deneysel Çalışma.....	23
4.1.1. Test Cihazı Kalibrasyon Aşamaları	24
4.1.2. Test Öncesi Ayarlar	26
4.1.3. Testin gerçekleştirilmesi	27
4.2. GAO Algoritması Tabanlı Eğitim ve Optimizasyon Aşaması.....	28

5. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Tartışma	37
5.2. Sonuç ve Öneriler	40
KAYNAKÇA	41
ÖZGEÇMİŞ.....	47

KISALTMALAR

<u>Kısaltma</u>	<u>Anlamı</u>
İHA	İnsansız Hava Aracı
EHK	Elektronik Hız Kontrolörü
GAO	Geri İzleme-Arama Optimizasyonu
ANFIS	Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System)
LiPo	Lityum Polimer
Li-ion	Lityum İyon
MSE	Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error)

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4. 1. GAO algoritması tabanlı ANFIS eğitiminde elde edilen MSE değerleri (20runtime).....	33
Tablo 4. 2. Eğitim aşamasında 32 ve 48 kural sayısında elde edilen daha iyi modeller için MSE ve standart sapma değerleri.....	34
Tablo 4. 3. Optimizasyon aşamasında elde edilen MSE ve standart sapma değerleri. ...	35
Tablo 4. 4. En küçük MSE değeri için optimizasyon aşamasında elde edilen giriş ve çıkış değerleri.	36

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Mini İHA’larda kullanılan fırçasız motor örneği.	8
Şekil 2. 2. Fırçasız DC motor kesiti ve faz enerjilendirme sırası.	10
Şekil 2. 3. Mini İHA’larda kullanılan farklı Li-Po batarya örnekleri.	12
Şekil 2. 4. Mini İHA’larda kullanılan farklı EHK modül örnekleri.	15
Şekil 2. 5. Mini İHA’larda kullanılan pervane örneği.	15
Şekil 3. 1. 2 giriş ve 2 kuraldan oluşan Sugeno sonuç çıkarım modeli örneği	19
Şekil 3. 2. İki giriş ve bir çıkıştan oluşan ANFIS yapısı.	20
Şekil 4. 1. İtki ölçüm cihazı kalibrasyon aşaması.	24
Şekil 4. 2. Kalibrasyon ağırlığı eklenmiş test cihazı.	25
Şekil 4. 3. İtki ölçümü motor montaj noktasının kalibrasyonu.	25
Şekil 4. 4. Yük hücreğine ait silikon yapı.	25
Şekil 4. 5. Pervane göbeğini ayarlama çalışması.	26
Şekil 4. 6. Test cihazının standı montajlanmış şekli.	26
Şekil 4. 7. Ölçüm için hazırlanmış test standı.	28
Şekil 4. 8. İHA itkisinin incelenmesi için önerilen yöntemle ait genel blok diyagram. ..	29
Şekil 4. 9. Eğitim ve optimizasyon aşamalarından oluşan ANFIS tabanlı GAO algoritmasının içeriğine ait blok diyagram.	29
Şekil 4. 10. ANFIS parametre değerlerinin GAO algoritması ile optimizasyonuna ait blok diyagram.	30
Şekil 4. 11. İHA itkisinin seçilen parametreler için optimizasyonunu gösteren blok diyagram.	31
Şekil 4. 12. İHA itkisinin incelenmesi için önerilen yöntemle ait blok diyagram.	31
Şekil 4. 13. Eğitim aşamasında 32 ve 48 kural için elde edilen iterasyon-MSE değişimi.	34
Şekil 4. 14. Eğitim safhasında elde edilen en küçük MSE değeri kullanılarak elde edilen çıkış değerlerinin gerçek çıkış değerleriyle kıyaslanması.	36
Şekil 4. 15. Optimizasyon aşamasına ait iterasyon sayısı-MSE değişim grafiği.	35

GİRİŞ

Günümüzde insansız hava araçları (İHA'lar) alanında oldukça hızlı gelişmeler kaydedilmektedir. Otonom ve otonom olmayan türleri ile İHA'lar arama kurtarma, kargo, haritalama, görüntü alma gibi birçok alanda tercih edilmektedir. Dolayısıyla, İHA'ların optimum tasarımlara sahip olması ve İHA performanslarının maksimum olması beklenmektedir.

İHA'lar tasarlanırken enerji tüketimi, havada kalış süresi, optimum aerodinamik şekil gibi birçok parametre ve unsur göz önüne alınmaktadır. Göz önüne alınması gereken temel unsurlardan bir tanesi de itki sistemleridir. İHA'ların kullanım amacına göre şekillenen itki sistemleri, temel olarak elektrikle çalışan ya da yakıtla çalışan motorlar olmak üzere ikiye ayrılabilir. İtki sistemlerini oluşturan motorlar, kaldırma kuvveti ile de ilgilidir ve pervaneler ile birlikte kullanılmaktadır. Dolayısıyla, İHA itkisinin incelenmesinde birçok parametre göz önüne alınmaktadır.

İHA teknolojileri, havacılık, robotik, elektronik, donanım, yazılım ve uygulama enstrümantasyonu gibi birçok alanın katkılarını içermektedir. Dolayısıyla, İHA tasarımları yapılırken birçok farklı alan ve yöntem kullanılmaktadır. Bununla birlikte, son yıllarda, temelinde yapay sinir ağları ve algoritmaların yer aldığı yapay zeka yöntemlerinin popüler olması, bu yöntemlerin havacılık alanında da kullanılmasına teşvik oluşturmıştır.

Bu tez çalışmasında, elektrik motorlu bir İHA'nın itkisinin, Geri İzleme-Arama Optimizasyon (Backtracking-Search Optimization, GAO) algoritması tabanlı Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System, ANFIS) yöntemi ile incelenmesi ele alınmıştır. Optimizasyon algoritmaları ve sinir ağları bilgisayar tabanlı olduğu için tek bir çözüm yerine, farklı kombinasyonların denenmesine imkan tanımaktadır. Ayrıca, aralarında doğrudan ilişki

bulunmayan parametreleri ilişkilendirerek toleranslı sonuçlar üretebilmekte ve gerçek dünya problemlerine çözüm getirebilmektedir.

Bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, İHA hakkında genel bilgiler verilmiş ve İHA güç sistemleri ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

İkinci bölümde, İHA'lar hakkında özet bilgiler sunulmuş ve İHA güç sistemlerini oluşturan elemanlar açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, tez çalışmasında tercih edilen ANFIS ve GAO algoritması açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, İHA itkisinin incelenmesi için önerilen model anlatılmıştır. Önerilen yöntemde, çeşitli boyut ve çaptaki pervaneler itki ölçüm cihazında test edilmiştir. Test sonucunda, pervane ve motordan itki, akım ve voltaj gibi değerler elde edilmiş ve veri kümesi oluşturulmuştur. İHA güç sistemine ait bu veriler ile öncelikle ANFIS eğitilmiştir. Eğitim sırasında geleneksel algoritmalar yerine GAO algoritması kullanılmıştır. Eğitim sonucunda en düşük hata değerine sahip optimum ANFIS yapısı seçilerek GAO algoritmasına entegre edilmiş, böylece ANFIS'in amaç fonksiyonu olarak kullanılmasıyla, aralarında ilişki bulunmayan değerleri ilişkilendirmesi sağlanmıştır. Daha sonra, GAO algoritması ile optimizasyon işlemi gerçekleştirilerek farklı boyut ve çaptaki pervane değerleri için İHA itkisinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar şekil ve tablolar ile sunulmuştur.

Beşinci bölümde ise tartışma, sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Genel Bilgiler

Havacılık bilimine yeni bir boyut kazandıran İHA'lar, kısa zamanda büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Her ne kadar tasarım amacı askeri kullanımlar olsa da sürecin devamında kendine sivil amaçlı kullanımlarda da yer edinmiştir. Askeri amaçlı keşif, gözlem, istihbarat çalışmalarının yanı sıra kargo, lojistik, hobi ve eğlence amaçlı durumlarda da kullanımın giderek yaygınlaştığı görülmektedir [1-3].

İHA kullanımlarının yaygınlaşması, farklı boyutta ve özellikle İHA'ların tasarlanmasını sağlamıştır. Pek çok şekilde sınıflandırılabilen İHA'lar enerjisine göre yakıtla çalışan ve elektrikle çalışan olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Belirli bir ağırlığın üzerinde üretilen büyük ölçekli İHA'larda genelde yakıtla çalışan güç sistemi kullanırken, küçük boyutlu İHA'larda ise genellikle elektrikle çalışan güç sistemi kullanılmaktadır [4].

Gelişen batarya teknolojisi, İHA'larda elektriksel güç sistemlerinin tercihini beraberinde getirmiştir. Bu tercih, oluşacak fazla ağırlıktan kurtulma, daha iyi aerodinamik akış sağlama gibi nedenlerden yapılmaktadır. Elektrikle çalışan İHA'larda enerji sağlayıcı olarak bataryalar kullanılmaktadır. Bataryanın kapasitesi, İHA'ların havada kalış süresini etkilediği için güç sisteminin önemli bir elemanıdır. Elektrikle çalışan İHA'larda güç sistemi; enerji kaynağı olan batarya, bataryanın gücünü mekanik enerjiye çeviren fırçasız motor, fırçasız motora bağlı olan ve itkiyi sağlayan pervane, batarya ile motor arasında anahtarlama görevi yapan elektronik hız kontrolörü'nden (EHK'den) oluşmaktadır. Bilindiği üzere bataryanın kapasitesi sabittir. Motor ile EHK ise bataryanın kapasitesine uygun şekilde belirlenmektedir. Dolayısıyla, İHA güç sisteminin önemli bir parçası olan itki konusunda iyileştirme yapabilmek için,

kullanılabilecek güç sistemi elemanı olarak pervane kalmaktadır. Pervaneler genellikle kullanılan materyal ve ölçülerine göre sınıflandırılmaktadır. Bunun yanında, hatve özelliğine göre de sınıflandırmak mümkündür [5-7].

Bu tez çalışmasında, çeşitli boyut ve çaptaki pervanelerin itki üzerindeki etkilerinin incelenmesi ele alınmıştır. Bu amaçla, çeşitli boyut ve çaptaki pervaneler, itki ölçüm cihazında test edilmiştir. İtki ölçüm cihazına bağlanan pervane ve motordan; itki, akım ve voltaj gibi değerler elde edilmiştir. Elde edilen değerlerden oluşan veri kümesi önerilen GAO tabanlı ANFIS yöntemi ile analiz edilmiş ve böylece itkinin incelenmesi için alternatif bir yöntem önerilmiştir.

1.2. Literatür Değerlendirmesi

Küçük boyutlu İHA'larda tasarım anlamında yüksek oranda çeşitlilik yapma imkânı bulunmaktadır. Değişik amaçlar için faydalı yük kullanımı ile hava aracını geliştirmek mümkün olmaktadır. Fakat bazı sistemler için hava aracına eklenen sistemlerde deneysel çalışmaların yapılması gerekebilmektedir. Hava aracının performans iyileştirmesinin yapılabilmesi için gerekli olan bu deneysel testler genelde motor, pervane ve bataryalar üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bunun yanında test süresi, test maliyeti vb. konular nedeniyle, araştırmacılar sezgisel algoritmaları kullanmaya yönelmişlerdir. Son yapılan çalışmalarda sezgisel çalışmaların büyük oranlarda etkinliği görülmektedir [6-10].

İHA'ların güç ve itki sistemlerinin performans analizleri pek çok farklı yöntemlerle yapılmıştır. Fakat yapısal ve aerodinamik konulardaki geliştirmelerin yanında, itki ve güç konusunda yeterli derecede ilerleme sağlanamamıştır. Bunun nedenleri arasında, kullanılan batarya boyutunun İHA'lara bağlı olması, buna bağlı olarak da motor ve pervanenin kullanımına sınırlama getirmesi vb. konular gösterilebilir. İHA'lara ait itki sistemlerinin performans kriterleri arasında yük kapasitesi, maksimum hız, batarya kapasitesi, kalkış mesafesi gibi konular yer almaktadır [3, 4, 11, 12]

Güç ve itki sistemleri ile ilgili olarak sabit hatveli ve değişken hatveli pervaneler kullanılarak yapılan çalışmalar literatürde bulunmaktadır [2, 13-16]. Manchin et. al. tarafından yapılan çalışmada, değişken hatveli pervanelerin kullanımıyla bataryadan maksimum verim elde edilerek, değişken hatveli pervanelerin sabit hatveli pervanelere

göre avantajları ortaya konulmuştur [13]. İHA'ların menzil artırımı ile ilgili bilinen ilk çalışmalar Traub tarafından yapılmıştır [2]. Traub çalışmasında, elektrikli motorla çalışan hava aracının uçuş menzilinı araştırırken, bataryanın deşarj olma davranışını ve bunun performansa etkisini incelemiştir.

Antonios et. al, tarafından yapılan çalışmada, çeşitli tip ve boyuttaki pervaneler değişik türdeki fırçasız motor ve elektronik hız kontrolörleri ile kullanılarak, rüzgâr tüneli testlerine tabi tutulmuş ve çeşitli sonuçlar elde edilmiştir [14].

Gur ve Rosen, İHA'ların tahrik sistemlerinin optimum şekilde tasarlanması ile ilgili çalışma yapmıştır. Gur ve Rosen çalışmalarında, performansa direkt etki eden faktörleri pervane elektrik motoru ve batarya olarak belirlemişlerdir ve diğer etkenleri daha az önemli olarak görmüşlerdir. Batarya, pervane ve elektrikli motorların performans için en önemli parametreler olduğu belirleyip, bu üç konuya yoğunlaşmışlardır [15].

Rajendran ve Smith, farklı bir boyut olarak, güneş enerjisi ile çalışan bataryalarla, güç ve itki konusunda optimizasyon için sabit ve katlanır pervaneler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. İHA performansının maksimum değere ulaşması için elektronik elemanların boyutunun önemli bir etmen olduğu ortaya konulmuştur [16].

Lawrence ve Mohseni yaptıkları çalışmada, İHA'ların menzillerinin artırılmasını ele almıştır. Uçuş süresinin, dolayısıyla menzil artırmanın doğrudan batarya geliştirilmesi ile ilgili olduğunu çalışmalarında ortaya koymuşlar ve bu konuya odaklanmışlardır [17].

Literatürde yapılan çalışmalar dikkate alınarak, bu tez çalışmasında, İHA itkisinin incelenmesinde, fırçasız motorlar ile farklı boyut ve çaptaki pervaneler kullanılmıştır. Bu amaçla, farklı boyut ve çaptaki pervanelerin, itki ölçüm cihazında deneysel performansı test edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlardan oluşan veri kümesi kullanılarak GAO tabanlı ANFIS yöntemi ile simülasyonlar yapılmıştır. Böylece, İHA itkisinin incelenmesi konusunda alternatif bir yöntem sunulmuştur.

2. BÖLÜM

İHA VE GÜÇ SİSTEMLERİ

Bu bölümde insansız hava araçlarına (İHA'lara) giriş yapılarak, avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Sonrasında, tez çalışmasının ana konusu olan İHA güç sistemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Genel Bilgiler

İnsansız hava araçları, özel amaçlar için tasarlanmış, herhangi bir alanda kalkış ve iniş yapabilen, uzaktan kumandalı, yarı otomatik veya tam otomatik uçuş yeteneğine sahip araçlardır. Bu araçlar uçuş yeteneğine göre uçak, helikopter ya da zeplin olabilir [7, 18, 19]. Son 20 yıldır hızla gelişim gösteren İHA'ların yeteneklerine bakıldığında, önümüzdeki yıllarda da hayatımızda çok daha fazla yer tutacağı öngörülebilmektedir.

İHA'lar, farklı amaçlarla farklı görevleri gerçekleştirmek üzere tasarlanmaktadır. Tasarım sırasında aerodinamik yapı, havada kalış süresi, enerji tüketimi gibi pek çok parametreye dikkat edilmektedir. Burada, havada kalış süresi, seçilen donanımına göre değişmektedir. Örneğin; standart kumanda ile 2,5 km uçuş menziline sahip olan bu cihazlar, gelişmiş kumanda sistemleri ile 20 km uçuş menziline çıkabilmektedir. Bunun yanında, gelişen uydu sistemleri ile birlikte mesafe engeli olmaksızın uçuşlar gerçekleştirilebilmektedir [6, 7, 18-20].

İHA'ların ortaya çıkış amacı, askeri gereksinimler gibi görünse de, günümüzde sivil alanda da kullanımı yaygın hale gelmiş durumdadır. Dolayısıyla, kullanım amacına göre İHA'lar askeri amaçlı kullanım ve sivil amaçlı kullanım olarak iki kategoride incelenmektedir. Askeri amaçlı üretilen İHA'lar, hedef şaşırtma, keşif, gözlem,

muhabere ve çatışma gibi amaçlarla kullanılırken, sivil amaçlı üretilen İHA'lar ar-ge çalışmalarında, kargo ve lojistik gibi alanlarda kullanılmaktadır [7].

Birçok kullanım alanına sahip olan İHA'ların, düşük işletme maliyeti, insan kaynaklı hata riskinin az olması, yüksek manevra kabiliyeti, tehlikeli alanlarda personel kaybı riskinin olmaması gibi önemli avantajları vardır. Avantajlarının yanı sıra, meteorolojik şartlardan çabuk etkilenme, veri kontrol linkine bağımlılık ve kısıtlı durumsal farkındalık gibi dezavantajlara da sahiptir [7, 19].

İHA tasarımlarında pek çok sistem göz önüne alınmakla birlikte, burada tez konusunu oluşturan itkiyi kapsayan güç sistemleri ele alınmış ve aşağıda açıklanmıştır.

2.2. İHA'larda Kullanılan Güç Sistemleri

İHA'larda hareketi ve kontrolü sağlayan ve düzenleyen donanımların genel adına güç sistemleri denilmektedir [7, 14]. Güç sistemleri; dönü hareketini veren motordan, motora enerji sağlayan bataryalardan, motorun hızını kontrol eden elektronik hız kontrolörü'nden (EHK'den) ve itkiyi sağlayan pervanelerden oluşmaktadır. İHA'larda kullanılan güç sistemlerine ait bu elemanlar aşağıda başlıklar halinde açıklanmaktadır.

2.2.1. Fırçasız Motorlar

Günümüzde birçok endüstriyel, ticari ve evsel uygulama için değişken hızlı motorlar kullanılmaktadır [21]. Bu motorlardan biri olan DC motorların, birim enerji yoğunlukları düşük olduğundan, yüksek güç gerektiren uygulamalarda ve özellikle radyo kontrollü projelerde kullanımı giderek artmaktadır. DC motorlar, basit şekilde fırçalı ve fırçasız olarak sınıflandırılmaktadır. Fırçalı DC motorlar, fırça ve komütatöre bağlı olarak çalışmaktadır. Bu nedenle, fırçalı DC motorlar komütatörlerin rutin bakımını ve fırçaların sık sık periyodik olarak değiştirilmesini gerektirmektedir ve bu durum da maliyeti artırmaktadır. Fırçasız DC motorlar, fırçalı DC motorlardaki fırça ve komütatörün yerini yarı iletken anahtarların almasıyla ortaya çıkmıştır. Fırçalı DC motorlar, pahalı olmasına rağmen, fırça ve komütatöre bağımlı olmaması nedeniyle yüksek hızlı uygulamalar için daha elverişli görülmektedir [21-25].

Fırçasız DC motorlar, diğer elektrik motorlarına kıyasla birçok avantaja sahiptir. Şekil 2.1'de mini İHA'larda kullanılan fırçasız motor örneği verilmiştir. Uzun kullanım

ömrü, düşük bakım maliyeti, yüksek dinamik tepki, yüksek verim, geniş hız aralığı, daha yüksek hız ve tork oranı, daha düşük rotor ataleti fırçasız motorların avantajlarından bazılarıdır. Bu avantajları ile fırçasız DC motorlar, elektrikli trenler, elektrikli otomotiv, havacılık ve robotik gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Fırçasız DC motor uygulamalarını yük türüne göre sabit yükler ve değişken yükler olarak kategorilere ayırmak mümkündür [24, 26].



Şekil 2. 1. Mini İHA'larda kullanılan fırçasız motor örneği.

- i. Sabit yükler: Bu tip uygulamalarda, yük doğrudan motor miline bağlanmaktadır. Bu türler, değişken hızın olduğu uygulamalarda görülmektedir. Örneğin, fanlar, pompalar ve üfleyiciler, bu tür uygulamalar arasında yer almaktadır. Bu uygulamalarda, çoğunlukla açık çevrimde çalışan düşük maliyetli kontrolörler kullanılmaktadır [27-28].
- ii. Değişken yükler: Motordaki yükün geniş bir hız aralığında değiştiği uygulama türleridir. Bu uygulamalarda yüksek hızda kontrol doğruluğu ve yüksek oranda dinamik tepkiler beklenmektedir. Ev aletlerinden yıkayıcılar, kurutucular ve kompresörler bunlara örnek olarak verilebilir. Ayrıca, otomotiv sektöründe, yakıt pompası kontrolü, elektronik direksiyon kontrolü, motor kontrolü ve elektrikli araç kontrolü gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak havacılıkta, santrifüjler, pompalar, jiroskop kontrolleri ve benzeri gibi bir takım uygulamalar da bulunmaktadır. Kapalı döngüde çalışabilen bu sistemlerde, hız geri besleme cihazları ve gelişmiş kontrol algoritmaları kullanılmaktadır. Bu durum, sistem kontrolünü karmaşıktırmakta ve sonuç olarak sistem fiyatını arttırmaktadır [26].

Fırçasız DC motorlar genellikle üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar; motor yapısı, güç sürücü devresi ve konum sensörüdür. Fırçasız DC motorun ana tasarım prensibi periyodik bakım gerektiren mekanik komütatörü çıkarmak ve bir elektrik anahtar devresi ile değiştirmektir. Geleneksel DC motorlarda kullanılan fırçalar, motor çalışırken ana manyetik alanın ve armatür manyetik alanının yönlerini birbirine dik yapan komütasyon için kullanılmaktadır [29-30].

Fırçalı veya fırçasız fark etmeksizin DC motorlar stator ve rotor olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

- i. Stator: Kalıcı bir mıknatıs veya elektromanyetik sargılardan meydana gelmektedir. Stator, rotorun etrafında motorun orta kısmını kaplayan sabit bir manyetik alan oluşturmaktadır.
- ii. Rotor (Armatür): Armatür kollarının etrafındaki bir veya daha fazla elektrik sargısından oluşmaktadır. Bu elektrik sargıları, harici akım ile enerji verildiğinde manyetik bir alan oluşturmaktadır. Bu rotor alanı tarafından üretilen manyetik kutuplar, stator alanı tarafından üretilen zıt kutuplara çekilmekte, benzer kutuplar tarafından itilmekte ve böylece armatürün dönmesine neden olmaktadır.

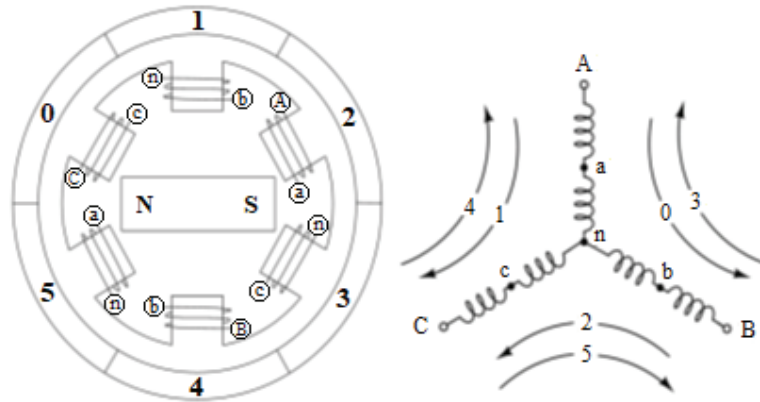
Bir tür sabit mıknatıslı eş zamanlı motorlar olarak tanımlanabilen fırçasız DC motorların, rotor kısmında güçlü mıknatıslar bulunmaktadır. Uygulama gerekliliklerine bağlı olarak, rotordaki kutupların sayısı değişebilmektedir ve kutup sayısının artırılması daha yüksek tork üretimi sağlamaktadır [26]. Stator kısmında ise bobinli sargılar mevcuttur. Statordaki sargılar, bir yıldız (Y) veya bir delta (Δ) bağlantı olarak düzenlenebilmektedir. İki bağlantı türü arasındaki en büyük fark, Y bağlantısının düşük devirde yüksek tork ve Δ bağlantısının düşük devirde düşük tork vermesidir. Fırçasız motorlar DC gerilimi ile çalışmakta ve akım geçişi katı hal anahtarları ile sağlanmaktadır. Değişme anı ve rotor konumu, pozisyon sensörleriyle veya sensörsüz yöntemlerle belirlenmektedir [31, 32].

Trapez tip ve sinüzoidal tip olmak üzere iki tip fırçasız DC motoru vardır. Trapez motorda, stator sargılarında indüklenen geri elektromanyetik kuvvet trapez şeklinde bir şekle sahiptir ve dalgasız tork elde edilmesi için fazlarına kare şeklinde akımlar uygulanmalıdır [26]. Sinüzoidal motor ise sinüzoidal şekilli bir geri elektromanyetik

kuvvete sahiptir ve dalgasız tork elde edilmesi için sinüzoidal faz akımları gerektirmektedir. Geri elektromanyetik kuvvetin şekli, rotor mıknatıslarının şekli ve stator sargı dağılımı ile belirlenmektedir. Sinüzoidal motor, optimum çalışma için rotor konumunun her an bilinmesini gerektirdiği için yüksek çözünürlüklü konum sensörüne ihtiyaç duymaktadır. Bunun yanı sıra, daha karmaşık yazılım ve donanım gerektirmektedir [26,27].

Üç fazlı fırçasız DC motorun çalışması, iki fazlı şekilde gerçekleştirilmektedir. En yüksek torku üreten iki faz, üçüncü faz kapalıyken enerjilendirilmektedir. Hangi iki faza enerji verildiği ise rotor konumuna bağlı olarak değişmektedir. Konum sensörlerinden gelen sinyaller, her 60° 'de değişen üç basamaklı bir sayı üretmektedir [33].

Şekil 2.2, üç fazlı yıldız bağlantılı motorun faz enerjilendirme sekansı ile birlikte bir enine kesitini göstermektedir [21]. Her aralıktaki rotor ve stator alan çizgileri 120° aralıklarla başlamakta ve 60° aralıklarla bitmektedir. Alan çizgileri dik olduğunda maksimum torka ulaşılmaktadır. Akım geçişi, altı aşamalı bir inverter tarafından yapılmaktadır. Anahtar olarak, BJT'den ziyade MOSFET'ler daha yaygın olarak kullanılmaktadır [34].



Şekil 2. 2. Fırçasız DC motor kesiti ve faz enerjilendirme sırası.

Radyo kontrollü araçlarda kullanılan fırçasız DC motorlarda “XXYY” şeklinde bir kod bulunmaktadır. XX stator kalınlığını ve YY stator yüksekliğini ifade etmektedir. Stator yüksekliği arttıkça yüksek devirde güç artmaktadır. Stator genişledikçe ise düşük devirde tork artmaktadır.

2.2.2. Bataryalar

Enerji, gelişen teknoloji ile birlikte hayatın en temel ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. Kullanımı her geçen gün artan enerjinin, büyük bir kısmı doğalgaz, petrol ve kömür gibi geleneksel ve sabit kaynaklardan sağlanmaktadır. Ancak, teknolojinin gelişmesiyle birlikte, elektronik cihazların taşınabilir olması, taşınabilir enerji ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla, bu ihtiyacın giderilmesi için bataryalara yönelim artmakta ve kullanım amacına ve özelliklerine göre çeşitli tiplerde bataryalar üretilmektedir. Batarya, basit şekilde, içerisindeki kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren bir enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır [7, 16, 35]. Bataryalarda kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren her bir üniteye hücre adı verilmekte ve bataryalar bir veya daha fazla hücreden oluşmaktadır. Hücre veya hücrelerden oluşan bataryalar, istenen kapasite veya çıkış voltajına göre seri veya paralel olarak da bağlanmaktadır.

Farklı şekillerde sınıflandırılabilen bataryalar şarj edilebilirlik durumuna göre; birincil bataryalar ve ikincil bataryalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Birincil bataryalar tek kullanımlıdır. Güç ve kapasiteleri düşük olmasına rağmen taşınabilirlik açısından avantajlıdır. Çinko-karbon, alkalın, çinko-gümüş, çinko-hava, cıva oksit birincil bataryalara örnek olarak verilebilir. İkincil bataryalar ise tamamen deşarj olduktan sonra yeniden şarj edilerek yeniden kullanılabilen bataryalardır. Şarj işlemi, deşarj olan bataryanın kutuplarının tersi yönünde elektrik akımı uygulanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Kurşun asit, nikel kadmiyum (Ni-Cad), nikel-metal-hidrit, lityum-iyon (Li-ion), lityum polimer (Li-Po) ikincil bataryalara örnek olarak verilebilir. Batarya seçiminde, gerilim, kapasite, enerji, özgül enerji, enerji yoğunluğu ve sıcaklık toleransı vb. gibi performans kriterleri göz önüne alınmaktadır [16, 35-37].

Yeniden şarj edilmesi ve uzun ömürlü olması nedeniyle tercih edilen ikincil bataryalar, ortalama 500-1000 kez şarj edilebilmektedir. Özellikle Li-Po bataryalar, yüksek enerji ya da yüksek güç gerektiren uygulamalar için üretilen yüksek kapasiteli bataryalar olup, genelde mini İHA'larda tercih edilmektedir [7, 36-38]. Şekil 2.3'de mini İHA'larda kullanılan farklı Li-Po batarya örnekleri verilmiştir.



Şekil 2. 3. Mini İHA’larda kullanılan farklı Li-Po batarya örnekleri.

Li-Po bataryaların yanı sıra, 1990’lı yıllarda Sony tarafından icat edilen Li-ion bataryalar, yüksek güç yoğunluğu gerektiren çoğu uygulamada Nikel-Metal Hidrit ve Ni-Cad bataryaların yerini almıştır. Yanlış kullanımı güvenlik açısından sorun olan Li-ion bataryaların, boştayken düşük deşarj oranı, bakım gerektirmemesi gibi avantajları vardır. Dolayısıyla, yüksek enerji gerektiren İHA’larda Li-ion bataryalar da tercih edilmektedir [2, 35].

Özetle, çevre dostu olmaları sebebiyle hem Li-Po hem de Li-ion bataryalar yüksek enerji yoğunlukları ve ağırlıkları sebebiyle küçük, orta ve büyük boyutlu İHA’larda tercih edilmektedir. İHA’ların uçuş süresini artırmak için, bataryaların güç durumuna ve şarj durum ölçüm verilerine bakılmaktadır. Bataryaların güç durumu hatalı tahmin edilirse, kalkış evresi, çarpışma önleme aşaması gibi durumlarda hızlı manevra kabiliyeti sınırlanmaktadır. Şarj durum ölçüm verileri ise, kalan şarj seviyesinin doğru değerlendirilmesini sağlamaktadır. Ancak, şarj miktarının net tahmini, ortam da dahil olmak üzere sıcaklık, servis ömründe bozulma, histerezis etkileri, kendi kendine deşarj gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir [35-38].

Bu tez çalışmasında Li-Po batarya tercih edilmiştir. Li-Po bataryaları tercih ederken bazı parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu parametrelerden birisi, Li-Po

bataryalarda, bataryanın ne kadar hızlı deşarj olabileceğini gösteren C katsayısıdır. Genellikle bataryalar, 1C ve 2C değerinde akımlarla şarj edilmektedir. Bu katsayı belirlenirken motorun ve EHK'nin talep ettiği akımı sağlayacak şekilde olmasına dikkat edilmelidir. Batarya, EHK'nin istediği akımı karşılayamaz ise ısınma ve yanma riski oluşacaktır. Bir diğer parametre, bataryanın kapasitesini doğrudan gösteren bataryalardaki mili Amper saat (mAh) değeridir. mAh değeri, bataryanın bir saatte kaç mili amper akım sağlayabildiği bilgisini vermektedir. Bir Li-Po batarya hücresi 3,7 volt nominal değerli gerilime sahiptir. Diğer bir parametre ise, seri bağlı hücre sayısını gösteren S değeridir. Bataryaların S değeri, motor ve EHK'nin gerilimlerine göre seçilmelidir. Tam dolu bir batarya hücresi 4,2 volt değerine sahiptir ve herhangi bir hücrenin geriliminin 3 volt'un altına düşmemesi gerekmektedir. Tüm bu parametreler göz önüne alındığında, İHA'larda yaygın olarak kullanılan bataryalar, 3S 11.1 volt ve 6S 22.2 nominal değerli bataryalardır [2, 3, 7].

2.2.3. Elektronik Hız Kontrolörü

Bir elektrik motorunun hızını kontrol eden ve düzenleyen elektronik devreye elektronik hız kontrolörü (EHK) denilmektedir. Bunun yanı sıra, EHK'ler motorun ters dönüşünü ve dinamik frenlemeyi de sağlayabilmektedir. Elektrikle çalışan radyo kontrollü modellerde küçük boyutlu EHK'ler kullanılırken, tam boyutlu elektrikli araçlarda tahrik motorlarının hızını kontrol etmek için ilave sistemler bulunmaktadır [7, 20, 39].

EHK referans sinyali, gaz kolu, kumanda kolu veya diğer manuel olarak verilen giriş komutlarından gelmektedir. Gelen komut seviyesine bağlı olarak, hız kontrolü anahtar görevi gören transistörler tarafından sağlanmaktadır. Verilen görev döngüsüne veya anahtarlama frekansına bağlı olarak motor hızı değiştirilmektedir. EHK'de bulunan transistörler sayesinde hızlı tepki değişimleri gerçekleşmektedir. Böylece, özellikle düşük hızlarda fark edilebilen karakteristik bir özellik ortaya çıkmaktadır [39].

Endüstriyel olarak, sabit mıknatıslar yerine elektro mıknatıslı alan sargılarına sahip motorlar, motor alan akımının gücünü ayarlayarak hızlarını kontrol edebilirken, fırçalı ve fırçasız DC motorlar için farklı hız kontrol tipleri gerekmektedir. Fırçalı bir motor, hızını, armatüründeki voltajı değiştirerek kontrol edebilmektedir. Fırçasız motorların ise çalışma prensibi biraz daha farklıdır. Motorun sargılarına verilen akımın zamanlaması ayarlanarak motorun hızı değiştirilmektedir [40].

Fırçasız EHK sistemleri, fırçasız motorları çalıştırmak için, değişken frekans sürücüsü gibi üç fazlı AC gücü oluşturmaktadır. Fırçasız motorlar, geleneksel fırçalı motorlara kıyasla verimlilik, güç, uzun ömür ve hafiflikleri nedeniyle radyo kontrollü uçaklarda daha fazla tercih edilmektedir [40].

Doğru faz, EHK tarafından dikkate alınacak olan motor dönüşüne göre değişmektedir. Genellikle, bu dönüşü tespit etmek için motordan geri bildirim olarak alınan elektromanyetik frekanslar kullanılmaktadır. Bunun yanında, manyetik (Hall etkisi) veya optik dedektörler kullanan varyasyonlar da bulunmaktadır. Bilgisayarda programlanabilen hız kontrolörleri, genellikle düşük voltaj kesme limitleri, zamanlama, hızlanma, frenleme ve dönüş yönünün ayarlanmasına izin veren kullanıcı tabanlı seçeneklere sahiptir. Motorun yönünü tersine çevirmek, üç uçtan herhangi ikisinin EHK'den motora geçirilmesiyle de gerçekleştirilebilmektedir [34].

EHK'ler normalde maksimum akıma göre (örneğin 25 amper veya 25A gibi) sınıflandırılmaktadır. Genel olarak akım değeri yüksek olursa, uçaklarda kütle ve denge hesaplanırken, hesaba katılan bir faktör olarak EHK'de o kadar büyük ve ağır olmaktadır. Birçok modern EHK, çeşitli giriş ve kesme voltajlarına sahip nikel metal hidrit, Li-ion ve lityum demir fosfat bataryaları desteklemektedir [7, 40].

Çoğu modern EHK, giriş sinyalini yorumlayan hazır yüklü bir program ya da sonradan yazılım kullanılarak motoru uygun şekilde kontrol eden bir mikro denetleyici sistem içermektedir. Bazı durumlarda, açık kaynaklı ürünlerin yazılımını değiştirmek mümkün olmaktadır. Bu durum genellikle EHK'yi belirli bir uygulamaya uyarlamak için yapılmaktadır. Bazı EHK'ler ise kullanıcılar tarafından programlanabilecek şekilde üretilmektedir [40]. Şekil 2.4'de mini İHA'larda kullanılan farklı EHK modül örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2. 4. Mini İHA’larda kullanılan farklı EHK modül örnekleri.

2.2.4. Pervane

Pervane en basit şekilde belirli bir oranda burulmuş bir kanat olarak düşünülebilir. Pervaneler kanat yapısından farklı olarak, eğimli bir hücum kenarına ve keskin bir firar kenarına sahiptir. Uçak kanatları veya pervanelerin her ikisi de aerodinamik bir kuvvet oluşturmak için tasarlanmış kanat profilleridir. Pervane profilinin yönü, kökten uca doğru ilerledikçe önemli ölçüde değişmektedir [5]. İHA’larda kullanılan pervanenin bir örneği Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2. 5. Mini İHA’larda kullanılan pervane örneği.

Yapı olarak kanatlara çok benzeyen pervanenin, üzerindeki taşıma yüzeylerine pal adı verilmektedir. Bir veya daha fazla sayıda palden oluşabilen pervaneler, genellikle uygulamalarda iki ile dört pale sahip olacak şekilde tercih edilmektedir. Pervaneler, birçok yönden sınıflandırılabilir. Yerleştirilme bölgesine göre pervaneler, çekici pervane ya da itici pervane olarak iki bölüme ayrılabilir. Çekici pervanelerde, motor pervanenin alt akış bölgesine yerleştirilerek hava aracının çekişi sağlanırken, itici pervanede motor pervanenin üst akış bölgesine yerleştirilerek hava aracı itilmektedir [5].

Bir diğer sınıflandırma ise hatve açısına göre sabit veya değişken hatveli pervaneler olarak yapılabilir. Hatve açısı, yani, geliş açısı kord hattıyla sabit referans düzlem arasındaki açıya verilen terimdir. Helikopter özelinde ise pal için bu referans düzlemi, rotorun normalde döndüğü eksen olarak tanımlanmaktadır. Sabit hatveli pervaneler tek parça halinde bulunmaktadır. Yalnızca hatve hareketi özelliği bulunan bu pervaneler, genellikle iki palden oluşmaktadır. Malzeme tercihi genellikle metal alaşımlardan yapılmaktadır. Bu tip pervanelerde, pervanenin hücum açısı değişmemektedir ve pervane kanatları, en verimli uçuşu sağlayacak şekilde göbeğe sıkı bir şekilde bağlanmaktadır [41, 42]. Değişken hatveli pervane kanatları ise, pervanenin maksimum seviyede çalışmasına izin verecek şekilde yerde ayarlanabilmektedir. Bu tip pervanelerde, pal açıları uçağa göre belirlenmektedir [5].

3. BÖLÜM

ANFIS VE GAO ALGORİTMASI

Bu bölümde, tez çalışmasında tercih edilen Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference System, ANFIS) ve Geri İzleme-Arama Optimizasyonu (GAO) algoritması açıklanmıştır.

3.1. ANFIS

Melez bir öğrenme prosedürü olarak insan yorumunu en aza indiren ANFIS, sinir ağları aracılığıyla uyarlanan parametrelere sahip bir yapıdır. ANFIS'te, üyelik fonksiyonlarına ait parametrelerin değiştirilmesi ve kuralların belirlenmesi, yani, karar verme süreci insan deneyimi yerine sinir ağları tarafından gerçekleştirilmektedir.

Diferansiyel denklemler gibi geleneksel matematiksel yöntemlere dayanan sistem modellemeleri, belirsiz sistemlerin tahmini için pek uygun olmamaktadır. Bu bağlamda, bulanık bir çıkarım sistemi, belirsiz zaman kurallarını esas alan insan bilgisinin niteliksel yönlerini ve muhakeme süreçlerini modelleyebilmektedir. Bununla birlikte, hem bulanık çıkarım sistemi hem de yapay sinir ağlarının avantajları ile birlikte dezavantajları da bulunmaktadır. Bulanık çıkarım sistemi insanların karar vermesine bağlı olduğu için anlaşılır ve net bir prosedüre sahiptir, ancak yeterli kesinlikte olmayabilir. Diğer yandan, sinir ağları kesin çözümler sunmaktadır, fakat karar verme konusunda netleştirmeden yoksundur. Bu noktada ANFIS, her iki yöntemin başarılı taraflarının birleştirilmesiyle ortaya çıkarılmış olan etkin bir yöntemdir [43].

ANFIS ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda yer almaktadır.

3.1.1. Takagi-Sugeno Sonuç Çıkarım Modeli

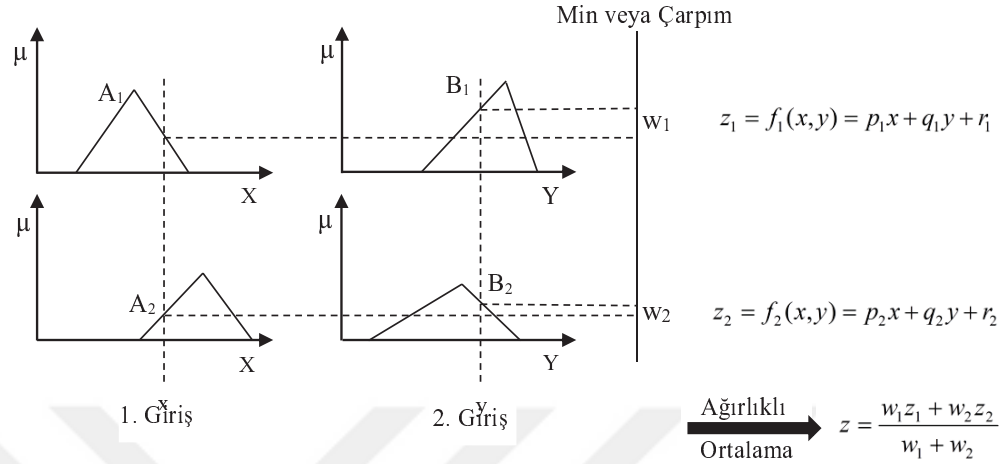
Takagi-Sugeno bulanık çıkarım modeli doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesinde ve kontrolünde literatürde sıklıkla tercih edilen etkin bir modeldir [43, 44]. Hem teorik anlamda hem de uygulama anlamında kullanımı oldukça yaygındır [45-46]. Bu sonuç çıkarım modeli, sunulan giriş-çıkış verilerini kullanarak bulanık kurallar üretmekte ve sistemsel bir sonuç geliştirmektedir [47-49].

Bir diğer bulanık sonuç çıkarım modeli olan Mamdani tipi bulanık çıkarım modeline göre Takagi-Sugeno sonuç çıkarım modelinin avantajları, kapalı döngü stabilizasyonu ve kontrol performansını sağlamak için Lyapunov isimli yaklaşım metodunu kullanmasıdır. Ayrıca, çıkarılan çoğu sonuç, lineer şekilde olduğundan problemlerin efektif bir şekilde çözümüne olanak sağlamaktadır [50].

Takagi-Sugeno modeli, yukarıda da bahsedildiği gibi bulanık kurallara dayalı doğrusal olmayan sistemlerin çözümünde kullanılan bir yöntemdir. Bu modelde doğrusal olmayan bir sistem, birkaç doğrusal alt sisteme bölünmektedir. Toplam girdi verisi, bulanık bir kümeleme algoritması ile belirli sayıda kategorilere ayrılmaktadır. Burada, her kategoriye karşılık gelen bir doğrusal kısım bulunmaktadır. Sonrasında, daha önce verilen doğrusal olmayan sistemin durulaştırılması için tüm doğrusal alt bileşenler bir araya getirilmektedir.

Temel olarak Takagi-Sugeno bulanık çıkarım modelini tanımlamak için IF-THEN kuralından faydalanılmaktadır. IF kısmı bulanık kümeleme metodunda verilerin işlenmesini sağlayan bölüm iken, THEN kısmı doğrusal alt sistemleri temsil etmektedir [51].

2 giriş ve 2 kuraldan oluşan Sugeno sonuç çıkarım modeli örneği Şekil 3.1’de sunulmuştur.



Şekil 3. 1. 2 giriş ve 2 kural için Sugeno sonuç çıkarım modeli örneği.

3.1.2. ANFIS'in Katman Yapısı

ANFIS, temel olarak beş katmandan oluşmaktadır. Şekil 3.2'de iki giriş ve bir çıkıştan oluşan bir ANFIS yapısı verilmiş ve katman yapısı gösterilmiştir. Bu katmanların işlevleri aşağıda anlatılmıştır [43, 52, 53].

Katman 1: Bulanıklaştırma katmanı olarak isimlendirilen bu katman, girdi değerlerinden bulanık kümeler elde etmek için üyelik fonksiyonlarını kullanmaktadır. Üyelik fonksiyonları farklı özellik ve şekillere sahip olabilmektedir. Üyelik fonksiyonunun yapısını belirleyen parametrelere öncül parametreler veya başlangıç parametreleri adı verilmektedir. Bu katmanda üyelik fonksiyonu seçimi yapılarak $(\mu(x))$, üyelik derecesi $(\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y))$ belirlenmektedir [43, 52].

Katman 2: Kural katmanı olarak bilinen bu kısımda bulanıklaştırma katmanında elde edilen üyelik değerleri kullanılarak, her kural için ateşleme seviyesi (w_i) hesaplanmaktadır. w_i değerleri girişlere ait üyelik değerlerinin çarpılmasıyla Eşitlik-3.1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \quad (3.1)$$

Katman 3: Normalleşme katmanı olarak isimlendirilen bu katmanda, kural katmanında elde edilen ateşleme seviyeleri kullanılarak normalize edilmiş ateşleme seviyeleri hesaplanmaktadır. Kurala ait ateşleme seviyesinin, tüm kurallara ait ateşleme seviyelerinin toplamına bölünmesi gerekmektedir ve bu değer Eşitlik-3.2 ile hesaplanmaktadır.

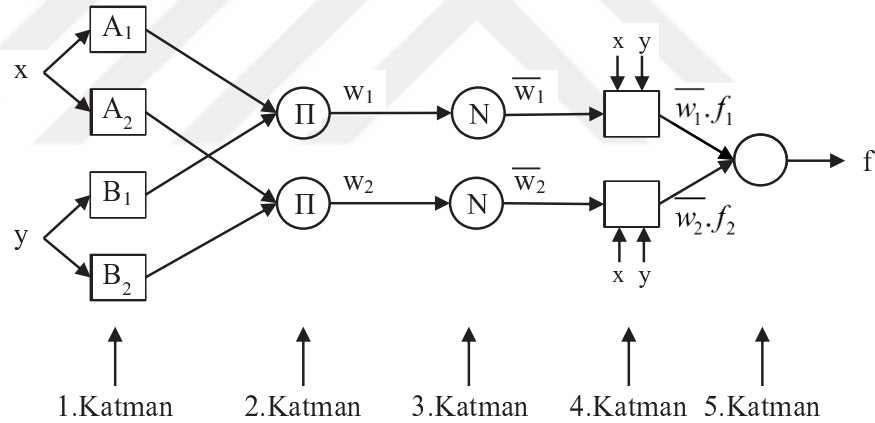
$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum w_i} \quad (3.2)$$

Katman 4: Bir diğer adı durulaştırma katmanı olan bu katmanda, her bir düğüm için kuralların ağırlıklı değerleri Eşitlik-3.3’de verildiği gibi hesaplanmaktadır. Bu değer birinci dereceden polinom olarak kullanılmaktadır.

$$O_i^4 = \bar{w}_i \cdot f_i \quad (3.3)$$

Katman 5: Bu katman, sonuç katmanı olarak da adlandırılmaktadır. ANFIS’in gerçek çıktısı, durulaştırma katmanında her bir kural için elde edilen çıktıların toplanmasıyla Eşitlik-3.4 kullanılarak elde edilmektedir.

$$O_i^5 = \frac{\sum w_i \cdot f_i}{\sum w_i} \quad (3.4)$$



Şekil 3. 2. İki giriş ve bir çıkıştan oluşan ANFIS yapısı. Yeniden çizilmeli

3.1.3. ANFIS Özellikleri

Kural oluşturabilme özelliği nedeniyle ANFIS, pek çok tahmin probleminde, daha iyi sonuç elde edilmesine imkan tanımaktadır. Bunun yanı sıra ANFIS, öğrenme yeteneği, paralel işlem yapabilme, diğer yöntemlere uyum sağlama gibi özelliklere sahiptir [43, 54].

Literatürde çok sayıda bulanık çıkarım sistemi mevcuttur. Bu sistemler çalışma prensibi olarak benzer özellikte olmalarına rağmen, üyelik fonksiyonu kısmında birbirinden ayrılmaktadır. Üyelik fonksiyonu açısından Mamdani, Tsukamoto ve Sugeno tipi olmak üzere üç tip bulanık çıkarım sistemi mevcuttur. Literatürde sıklıkla tercih edilen bulanık çıkarım sistemi Sugeno tipidir. Sugeno tipi çıkarım sisteminin diğer sistemlere göre

temel avantajı, parametreleri kolay bir şekilde optimize etmesidir [36, 46]. Bu bağlamda ANFIS, parametreleri optimize edilen Sugeno tipi bir bulanık çıkarım sistemidir [54].

3.2. GAO Algoritması

Optimizasyon problemleri, temel mühendislik alanlarında sıklıkla karşılaşılan sorunlardan birisidir. Bu problemlerin çözümü için ise son yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde bazı algoritmalar geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, GAO algoritması tercih edilmiştir. GAO algoritmasının tercih edilme sebepleri arasında, yapısının karmaşık olmaması, kullanılması gereken operatör sayısının az olması gibi faktörler bulunmaktadır. Ayrıca, yapılan bazı çalışmalarda GAO algoritmasının diğer evrimsel algoritmalarla oranla daha iyi keşif yeteneğine sahip olduğu ortaya konulmuştur [6, 55, 56]. Bunun yanı sıra, GAO algoritmasında, diğer evrimsel algoritmalarla olduğu gibi gelişimin ana fazında çeşitlilik kaybolmakta ve bunun sonucunda iz popülasyonu değişmekte ve yeni çıktıların üretimi zorlaşmaktadır. GAO algoritmasında popülasyon çeşitliliğini artırmak için itki operatörü kullanılmaktadır. Bu sayede, popülasyon çeşitliliği ile çıktıların artırılması sağlanmaktadır [57].

İlk olarak 2013 yılında literatüre sunulan GAO algoritması, mühendislik konularında başarıyla kullanılan yeni nesil bir optimizasyon algoritmasıdır. Popülasyon tabanlı olarak çalışan GAO algoritmasının yakınsama hızı ve doğruluğu tam anlamıyla başarılı değildir, bu yüzden farklı ve geliştirici tasarımlar yapılmıştır [55-60]. Duan ve Luo çalışmalarında uyarlanabilir GAO algoritmasını benimsemişlerdir. Bu yöntemle genlik faktörü F ve karışım oranı M , popülasyonun ortalama değerlerine göre uyarlanabilmekte ve bu sayede algoritmanın yakınsama hızı orijinal GAO algoritmasından daha hızlı olmaktadır [59].

Orijinal GAO algoritmasında beş ana adım bulunmaktadır. Bunlar; başlatma, birinci seçim aşaması, mutasyon, çaprazlama ve ikinci seçim aşamasıdır [55].

Başlatma kısmında, GAO algoritması popülasyonun başlangıç değerine duyarlı olmadığı için, genellikle rastgele bir sayı seçilmektedir. Eşitlik-3.5, rasgele başlangıç değerini ifade etmektedir. Burada, P popülasyonu, U düzgün rastgele dağılım

fonksiyonunu, $P_{i,j}$ popülasyon içerisindeki bir hedef bireyi, low_j çözüm uzayındaki en alt sınırı, up_j ise çözüm uzayındaki en üst sınırı ifade etmektedir [55].

$$P_{i,j} \sim U(low_j, up_j) \quad (3.5)$$

Birinci seçim aşamasında, her bir seçimde arama yönünü hesaplamak için yeni bir *oldP* tarihsel popülasyonu kullanılmaktadır. GAO algoritması bu değerleri, bir sonraki karar alma mekanizmasında kullanmak üzere hafızaya kaydetmektedir. *oldP*'nin oluşmasıyla beraber popülasyon üyeleri rastgele olarak yeniden sıralanmaktadır.

Eşitlik-3.6'da denklemi verilen mutasyon (M) kısmında, mutasyon yoluyla yeni bir popülasyon meydana gelmektedir. F değeri, varyasyon ölçeğinin katsayısıdır. Bu şekilde, daha önceden elde edilen tecrübeler, arama yönünü belirlerken kullanılmış olmaktadır.

$$M = P + F(oldP - P) \quad (3.6)$$

Çaprazlama aşaması, popülasyondaki bileşenlerin orantısal karışımıyla elde edilen parametreler popülasyonun son halini vermektedir. Popülasyon üyelerinden, optimizasyon problemine göre iyi değerlere sahip olanlar, hedef popülasyon bireylerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır.

İkinci seçim aşamasında ise yapılan işlem güncelleme işlemidir. Burada, kıyaslama yapılarak daha iyi olan seçilmektedir. Bulunan en iyi değer, her bir yineleme döngüsünde popülasyonun tamamına ait bireyler ile tekrar karşılaştırılarak kontrol edilmektedir. Algoritma, maksimum yineleme sayısı sağlanıncaya kadar veya uygunluk değeri önceden yapılandırılmış koşulları karşılayana kadar döngüsünü devam ettirmektedir.

4. BÖLÜM

İHA İTKİ SİSTEMİNİN İNCELENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

Bu bölüm, verilerin elde edilmesi ve işlenmesi şeklinde iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda, fırçasız motorların itki testi için Rcbenchmark firmasının üretmiş olduğu 1580 modeli test cihazı ile yapılan deneysel çalışma aşamaları ele alınmıştır. Bu amaçla ilk olarak, test cihazı kalibrasyonu ile test öncesi ayarlar sunulmuştur. Daha sonra, verilerin elde edilmesinde uygulanan test adımları anlatılmıştır.

İkinci kısımda, önerilen GAO algoritması tabanlı ANFIS yöntemi eğitim ve optimizasyon olmak üzere iki aşamada ele alınmıştır. Eğitim aşamasını oluşturan ilk basamakta, deneysel çalışma sonrası edilen veriler kullanılarak, GAO algoritması tabanlı ANFIS modellerinin oluşturulması ve eğitilmesi gerçekleştirilmiştir. Eğitim sonucu, GAO algoritmasından en uygun ANFIS parametrelerinin elde edilmesi istenmiştir. Optimizasyon aşamasını oluşturan ikinci basamakta ise, eğitim sonucu daha iyi olarak belirlenen ANFIS modelleri kullanılarak, GAO algoritması ile en uygun giriş parametrelerinin elde edilmesi sağlanmıştır.

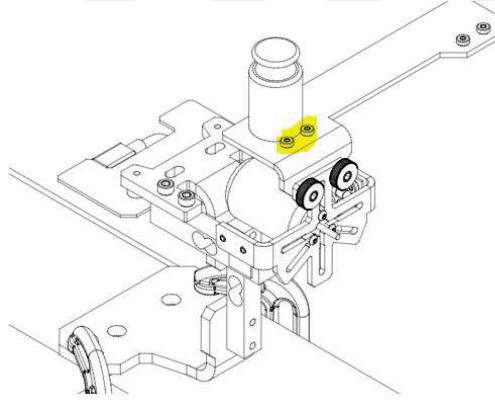
4.1. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışma aşamasında, seçilen fırçasız motor için itkinin deneysel olarak incelenmesi ele alınmıştır. Fırçasız motor olarak, EMAX firmasının üretmiş olduğu Grand turbo serisine ait gt2215/09 model fırçasız dc motoru seçilmiştir. Fırçasız motorun itki testi, Rcbenchmark firmasının üretmiş olduğu 1580 modeli test cihazı ile ilgili grafiksel kullanıcı ara yüz programının 1.1.4 sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği bileşenlerinden motor hızının ayarlanması aşamasında, Hobbywing markasının Skywalker 40A EHK'den yararlanılmıştır. Gerekli olan elektriksel enerji için, 11.1 volt'luk ve 14.7 volt'luk voltaj değerlerine sahip Li-Po

batarya tercih edilmiştir. Motor performansının etkisinin gözlemlenmesi için, 10x5, 10x7, 11x5.5, 11x7, 11x8 ve 12x6 olmak üzere çeşitli boy ve hatve değerlerinde pervaneler kullanılmıştır. İki farklı batarya değeri ile 6 farklı pervane değeri kullanılarak, fırçasız motorun, itki, tork, pervane ve sistem verimliliği üzerine testler yapılmıştır.

4.1.1. Test Cihazı Kalibrasyon Aşamaları

Test cihazında ölçümlere başlamadan önce kullanıcı talimatında yazan bilgiler eşliğinde kalibrasyon ayarlarının yapılması gerekmektedir. Kalibrasyonun uygun şekilde yapılmaması, deney sonuçlarının tutarsız çıkmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenle, test öncesinde, test cihazının kurulum aşaması dikkatlice yapılmıştır. Şekil 4.1’de itki ölçüm cihazının kullanıcı manuel’indeki ağırlıkla kalibrasyonunun nasıl yapıldığının şekli verilmiştir.

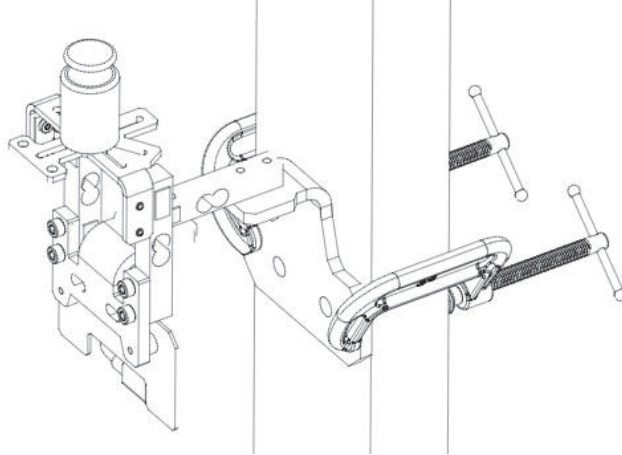


Şekil 4. 1. İtki ölçüm cihazı kalibrasyon aşaması.

Kalibrasyon aşamasından önce, bilgisayara ilgili yazılımın programı yüklenmiştir. Bu program ara yüzü aracılığı ile kalibrasyon işlemine başlanılmıştır. Program içerisinde sunulan talimatlar adım adım gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, kalibrasyon ağırlığı düzeneğin üst kısmına yerleştirilmiştir. Kullanılan ağırlık görseli Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Kalibrasyon ayarı için 200gr ve 500gr’lık ağırlıklar, ara yüzde verilen talimata göre sırası ile kullanılmıştır. Ağırlık, kalibrasyon boyunca farklı noktalara konularak, en uygun hassas ayarın yapılması sağlanmıştır. İkinci aşamada, kalibrasyon ağırlığı motor montaj noktasına yerleştirilerek, kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3’de motor montaj noktasının kalibrasyonuna ait görünüm verilmiştir.



Şekil 4. 2. Kalibrasyon ağırlığı eklenmiş test cihazı.



Şekil 4. 3. İtici ölçümünde motor montaj noktasının kalibrasyonu.

Test sonuçlarının güvenilirliğini arttırmak için kalibrasyon işlemi hassas olarak yapılmıştır. Şekil 4.4’de görüldüğü gibi yük hücresinin üzerinde yer alan silikonlar kontrol edilerek, yanıltıcı sonuçların elde edilmesinin önüne geçilmiştir.



Şekil 4. 4. Yük hücresine ait silikon yapı.

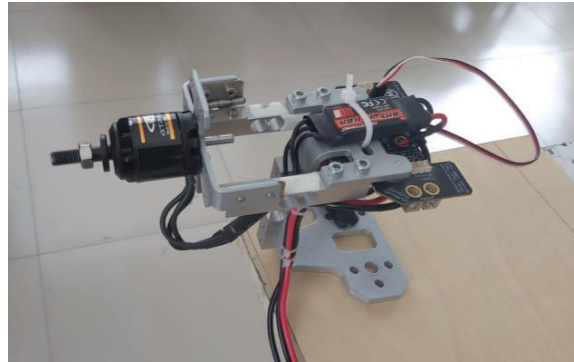
4.1.2. Test Öncesi Ayarlar

Test cihazının kalibrasyonundan sonra, motor ve EHK için gerekli bağlantıların yapılması gerekmektedir. Motor ile EHK bağlantısı için 4mm banana konnektör kullanılmıştır. Konnektörler ilgili kablolarla lehimlenerek bağlantı sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, pervanelerin motor bağlantı ucuna uyumunu sağlamak, yani, pervane göbeğini uygun çapta ayarlamak için sütunlu matkap kullanılmıştır. Şekil 4.5’de sütunlu matkap ile pervane göbeğinin delinme işlemi gösterilmiştir.

Test işlemine başlamadan önce, fırçasız motorun test cihazına montajı yapılmıştır. Test cihazının üst kısmına monte edilen EHK’nin, motorla bağlantısı Şekil 4.6’da gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 5. Pervane göbeğini ayarlama çalışması.



Şekil 4. 6. Test cihazının standı montajlanmış şekli.

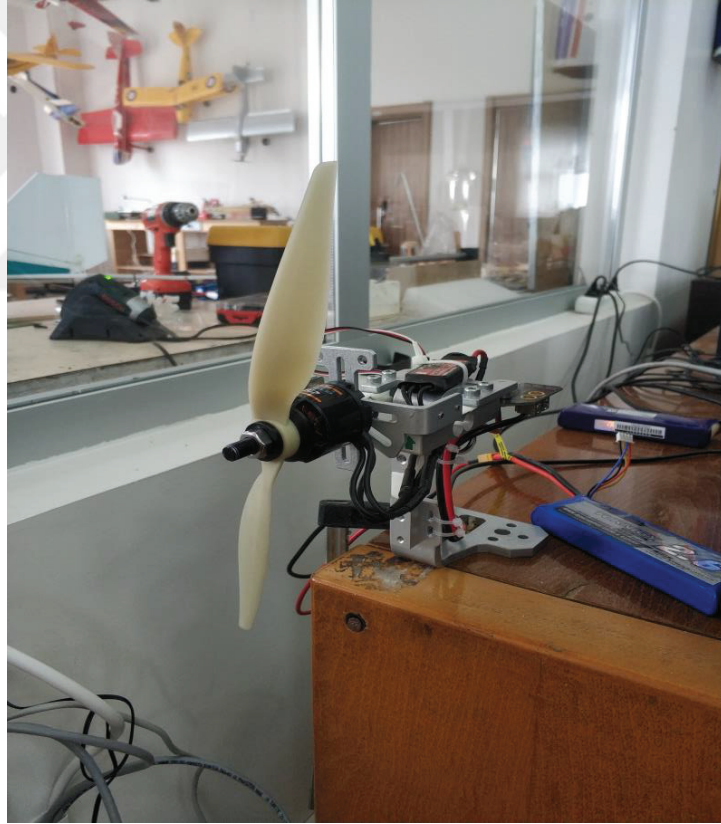
Pervanelerin motor şaftına yerleştirilmesi, EHK ve bataryaların bağlantısının yapılması ile test cihazının donanımsal olarak kurulumu tamamlanmıştır. Kurulum tamamlandıktan sonra, test cihazının USB kablo aracılığı ile bilgisayara bağlantısı yapılarak Rcbenchmark markasının ara yüz programının çalıştırılması sağlanmıştır. Deneysel düzeneğin hazır hali Şekil 4.7’de verilmiştir.

4.1.3. Testin gerçekleştirilmesi

1580 test cihazı ile gerçekleştirilen itki testinde, kullanılan ara yüz programı sayesinde fırçasız motor testi, manuel veya otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Bunun yanında, ara yüz programında, deneysel olarak motor ve pervane kombinasyonlarında farklı aralıklarda örnek alınabilmektedir. Testler gerçekleştirilirken, grafiksel kullanıcı ara yüz programının, SWEEP – DISCRETE V2 programından faydalanılmıştır. Bu program sayesinde, kullanılan ekipmanın niteliğine ve testin amacına göre değişken değerleri istenilen sınırlar dahilinde tutularak, ölçüm yapılabilmektedir. Buradaki değişken değeri, EHK’nin tetiklenme aralığını ifade etmektedir. Programın izin verdiği tetikleme aralığı mikro saniye değerinden 1000 ile 2000 arasındadır.

Programda EHK başlangıç değişken değeri [var escStart = 1000] olarak ayarlanmıştır. Ancak motor, 1000 ile 1050 değeri arasında aldığı sinyallerde harekete geçmemektedir. Bu nedenle, EHK’nin en küçük çalışma değişken değeri [var minVal=1050] olarak, en yüksek çalışma değişken değeri ise [var maxVal = 2000] olarak ayarlanmıştır. 1000 ile 2000 sinyal değeri aralığında motor, 1000 değerinden itibaren tetiklenmekte, 1050 değerine ulaştığında çalışmaya başlamakta ve en yüksek değer olan 2000’e kadar hızını artırarak çalışmaya devam etmektedir. Bu çalışmada, 1050 ve 2000 değerleri arasında 25-30 civarında örnek alınması yeterli görüldüğü için, ara yüz programında bulunan [var params] içerisindeki değişken [steps_qty: 30] olarak atanmıştır. Yani, motorun EHK başlangıç değeri ile birlikte, toplamda 25-30 civarında değer kaydedilmiştir. Motorun belirlenen bu aralıklar içerisindeki her noktada, üç saniye boyunca çalışması istenmiştir. Bu yüzden oturma süresi olarak geçen değişken [settlingTime_s: 3] olarak atanmıştır. İki nokta arasında motorun bir soğutma süresine ihtiyacı olmadığı düşünülerek [cooldownTime_s: 0] olarak ayarlanmıştır. Böylece, motorun en yüksek değere ulaştıktan sonra, kendini soğutması için hızını minimum değeri düşürmesi istenmiştir. Bu nedenle, [cooldownThrottle_us: 1050] olarak belirlenmiştir. Motorun,

iki örnek nokta arasında oluşan tork değerini sınırlamak için $[\text{max_slew_rate_us_per_s}: 10]$ şeklinde ayarlanmıştır. Bu değer aynı zamanda iki örnek nokta arasındaki toplam çalışma süresini de etkilemektedir. Yani, iki nokta arasının 10 saniye olması istenmiştir. Bu zaman aralığında, bir noktadan diğerine dört saniyede geçiş yapılmış, geline nokta üç saniye boyunca mevcut hızda çalışılmış ve artı kalan üç saniyede ise eşit aralıklarla 10 örnek değerın ortalaması alınarak veri dosyasına kaydedilmiştir. Eşit aralıklarla 10 örnek değerin alınması için $[\text{var samplesAvg} = 10]$ olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerin belirlenmesinden sonra, motorun çalışması sırasında otomatik olarak alınan veriler “.csv” uzantısı ile kaydedilmiştir.



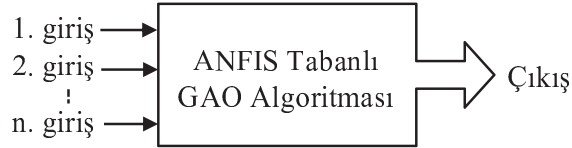
Şekil 4. 7. Ölçüm için hazırlanmış test standı.

4.2. GAO Algoritması Tabanlı Eğitim ve Optimizasyon Aşaması

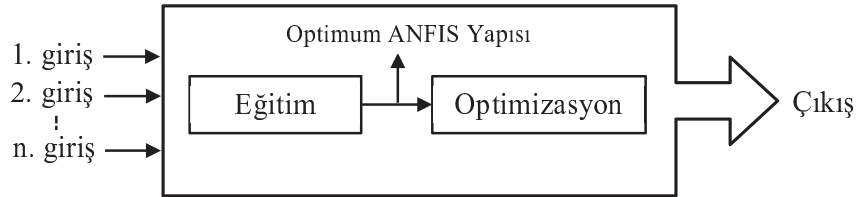
Tezin bu bölümünde, İHA itkisinin incelenmesi için önerilen model ve bu model ile elde edilen sonuçlar verilmiştir.

İHA itkisinin incelenmesi için önerilen yöntem, GAO algoritması tabanlı ANFIS modeline dayanmaktadır. Burada, ANFIS, birbirinden farklı parametreleri ilişkilendirerek verilerin çoğullanmasını sağlamakta, ancak en uygun değerin seçiminde yetersiz kalmaktadır. GAO algoritması ise aralarında ilişki bulunmayan veya yeterli sayıda veri kümesi içermeyen parametrelerin optimizasyonunda yeterli olamamaktadır. Bu tez çalışmasında, seçilen giriş ve çıkış parametreleri arasında doğrudan bir ilişki veya bağıntı bulunmadığı için, bu parametreler arasında ilişki kurmak için ANFIS yapısı seçilmiştir. İtke performansının incelenmesi ve optimizasyonu için en uygun değerlerin belirlenmesinde ise GAO algoritması kullanılmıştır. Özetle, test platformunda elde edilen az sayıda veri ile ANFIS eğitilmiş, sonrasında ise en uygun çıkış değeri için en uygun giriş değerlerinin elde edilmesi amacıyla, eğitilen ANFIS yapısı GAO algoritmasına entegre edilmiştir.

Önerilen yönteme ait genel blok diyagram Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekil 4.9’da ise eğitim ve optimizasyon aşamalarından oluşan GAO algoritması tabanlı ANFIS modelinin içeriğine ait blok diyagram verilmiştir.



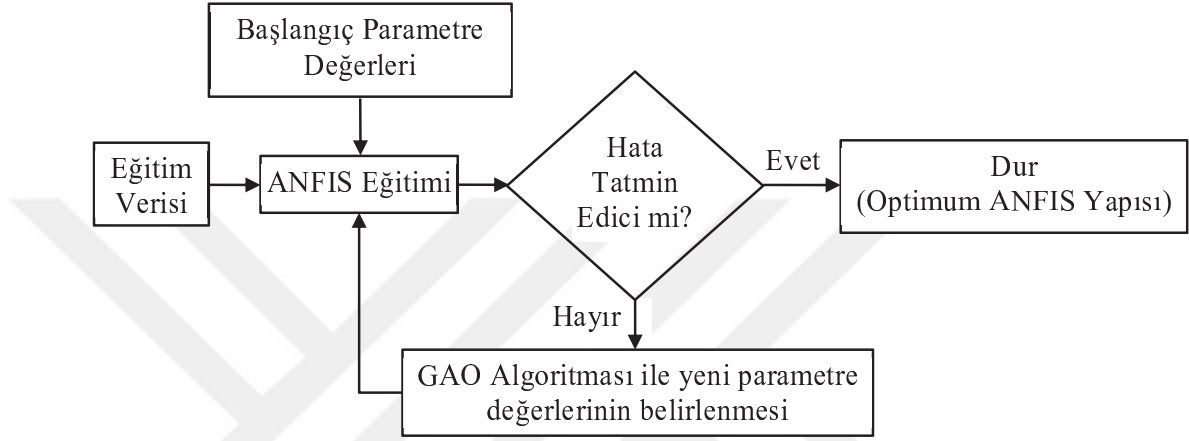
Şekil 4. 8. İHA itkisinin incelenmesi için önerilen yönteme ait genel blok diyagram.



Şekil 4. 9. Eğitim ve optimizasyon aşamalarından oluşan ANFIS tabanlı GAO algoritmasının içeriğine ait blok diyagram.

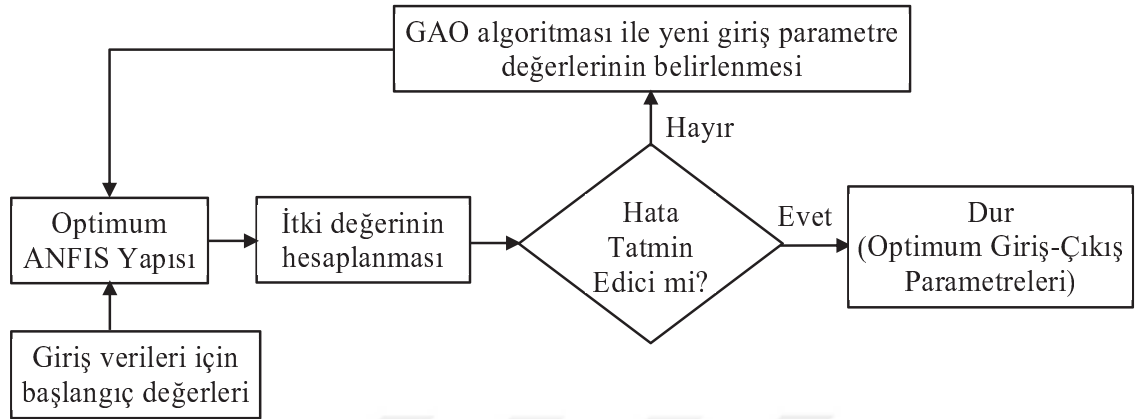
Şekil 4.9’da verilen blok diyagramdan görülebileceği gibi, yöntemin ilk kısmını eğitim, ikinci kısmını ise optimizasyon oluşturmaktadır. Eğitim aşamasında, test platformunda elde edilen verilerden seçilen giriş ve çıkış parametreleri için ANFIS eğitilmiştir. Bu eğitim sırasında, elde edilen çıkış değerinin istenen çıkış değerine yaklaşması için, yani, ANFIS parametre değerlerinin en uygun şekilde ayarlanması için geleneksel

algoritmalar yerine GAO algoritması tercih edilmiştir. Şekil 4.10'da blok diyagramı verilen eğitim aşamasında, en küçük MSE değerine sahip olan ANFIS yapısı optimizasyon aşamasında kullanılmak üzere seçilmiştir. Böylece, eğitim aşaması tamamlanmış ve optimizasyon aşamasına geçilmiştir.



Şekil 4. 10. ANFIS parametre değerlerinin GAO algoritması ile optimizasyonuna ait blok diyagram.

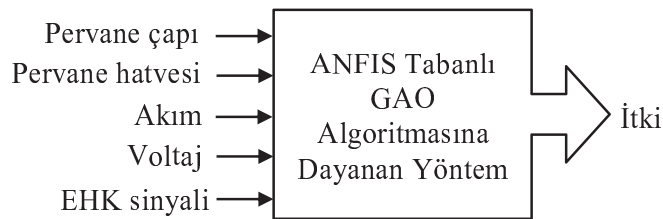
Optimizasyon aşamasında, İHA'nın itkisi incelemeye alınmıştır. Burada, eğitim aşamasından seçilen ve en küçük hata değerine sahip olan ANFIS yapısı ile aralarında doğrudan ilişki bulunmayan pervane, batarya ve itki parametre değerlerinin eşit önemde optimize edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, yine GAO algoritmasından faydalanılmıştır. En uygun parametre değerlerine sahip olan ANFIS yapısı, bu aşamada amaç fonksiyonunu oluşturmak üzere GAO algoritmasına entegre edilmiştir. Giriş ve çıkış parametre değerleri için alt ve üst limitler ile sınırlandırılan ANFIS tabanlı amaç fonksiyonu ile farklı giriş parametrelerine karşılık çıkış parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, İHA'nın itkisini maksimize edecek şekilde elde edilen çıkışa karşılık, hangi giriş parametre değerlerinin daha uygun olduğunun belirlenmesi sağlanmıştır. Optimizasyon aşamasına ait detaylı blok diyagram Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4. 11. İHA itkisinin seçilen parametreler için optimizasyonunu gösteren blok diyagram.

GAO algoritması tabanlı ANFIS modelinde, pervane çapı, pervane hatvesi, uygulanan akım ve gerilim ile EHK sinyal değerleri giriş parametreleri olarak, itki ise çıkış parametresi olarak seçilmiştir. Şekil 4.8’de genel blok diyagramı verilen yöntemin, detaylandırılmış hali Şekil 4.12’de verilmiştir.

Şekil 4.12’de gösterildiği gibi, bataryaya ve pervaneye bağlı olarak belirlenen girişler, itki üzerinde önemli etkiye sahip olmaları nedeniyle seçilmiştir. Eğitim verileri elde edilirken, test platformunda bazı seçimler ve sınırlamalar yapılmıştır. Bunlardan biri, pervane seçimidir. 10x5, 10x7, 11x5.5, 11x7, 11x8, 12x6 boyutlarında pervaneler ile çalışılmıştır. Bu pervaneler kullanılarak 3S ve 4S bataryalar ile ayrı ayrı eğitim verileri elde edilmiştir. Test verileri elde edilirken EHK sinyal değeri, mikro saniye cinsinden 1000 ile 2000 arasında seçilmiştir. Motor, seçilen bu değerler ile teste tabi tutulmuş ve her bir kombinasyon için 25-30 civarında örnek alınmıştır.



Şekil 4. 12. İHA itkisinin incelenmesi için önerilen yönteme ait blok diyagram.

Eğitim verileri elde edildikten sonra, bu eğitim verileri ile çalışmanın birinci basamağını oluşturan ANFIS eğitime geçilmiştir. Eğitim sırasında, ANFIS yapısının parametreleri hesaplanmıştır. Bu parametreler, üyelik fonksiyonuna ait parametreler ile sonuç parametrelerinden oluşmaktadır. ANFIS yapısının ilk katmanı olan bulanıklaştırma katmanında kullanılan üyelik fonksiyonunun seçimi eğitim açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada literatürde sıklıkla tercih edilen ve Eşitlik-1'de bağıntısı verilen üçgen üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir.

$$triangle(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x < c \\ 0, & c < x \end{cases} \quad (4.1)$$

Üyelik fonksiyonunun seçilmesinden sonra, durulaştırma katmanında bulunan ve Eşitlik-2 ile verilen birinci derece denklem için sonuç parametreleri kullanılmaktadır. Burada, x, y, z, t ve u fonksiyon girişlerini, k, l, m, n, p, r ise hesaplanacak katsayıları ifade etmektedir.

$$f = kx + ly + mz + nt + pu + r \quad (4.2)$$

Eğitim sırasında, ANFIS yapı parametrelerinin optimizasyonu için hesaplanacak toplam parametre sayısı; giriş sayısı, üyelik fonksiyonunun tipi ve sayısı ile seçilen kural sayısına bağlı olarak değişmektedir.

Optimizasyonun performansını göstermek için performans kriteri olarak Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error, MSE) seçilmiştir. Eğitim sürecinde, MSE değerinin GAO algoritması ile minimize edilmesi ve optimum ANFIS yapısını verecek olan parametre değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır.

Bu amaçla, 5 giriş-tek çıkışlı yapı için 32 ve 48 kural sayıları ile ayrı ayrı modeller oluşturulmuş ve her modelde üçgen üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir. 32 kural sayısında her bir giriş için 2'şer üyelik fonksiyonu tercih edilirken, 48 kural sayısında her bir giriş için 2 ya da 3 şeklinde üyelik fonksiyon kombinasyonları tercih edilmiştir. ANFIS parametrelerinin optimizasyonu için tercih edilen GAO algoritmasının kontrol parametreleri ise; 20 runtime, 30 ve 50 koloni boyutları ile maksimum 10000 iterasyon sayısı olacak şekilde seçilmiştir. 32 kural ile oluşturulan modelde, 30 koloni ve 50 koloni boyutlarının her biri için sırayla 1000, 2500, 5000, 10000 iterasyon sayılarında simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. 48 kural ile oluşturulan modellerde ise, 30 koloni ve

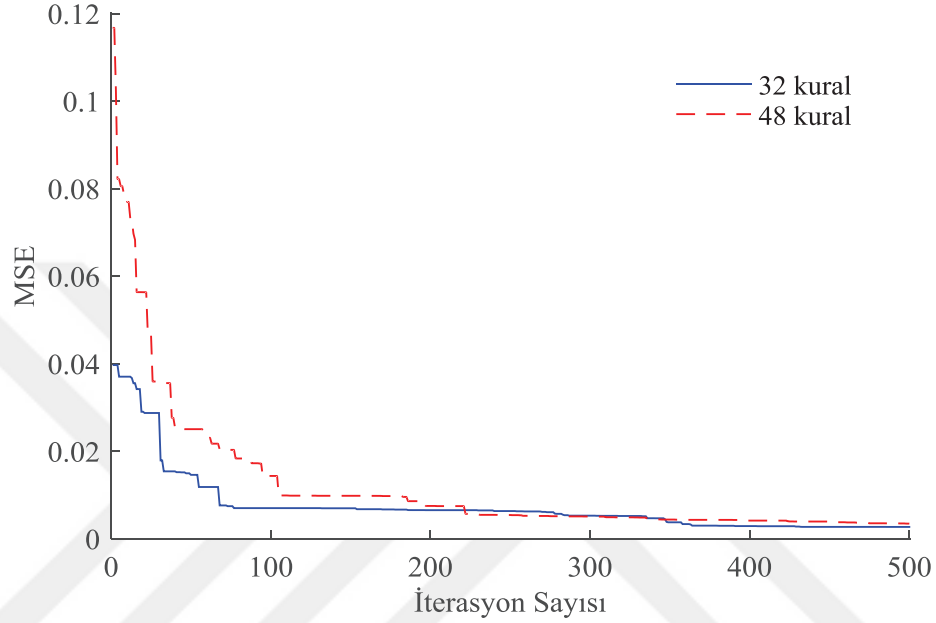
50 koloni boyutlarının her biri için Tablo 4.1’de verilen üyelik fonksiyonu kombinasyonları kullanılarak sadece 10000 iterasyon sayısı ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.1’de farklı kural ve koloni sayıları için GAO algoritması tabanlı ANFIS eğitiminde elde edilen en iyi MSE değerleri verilmiştir.

Tablo 4. 1. GAO algoritması tabanlı ANFIS eğitiminde elde edilen MSE değerleri (20runtime).

Kural Sayısı	Koloni Sayısı	İterasyon Sayısı	Üyelik Fonksiyonu Sayısı (Her bir giriş için)	Parametre Sayısı	MSE (Eğitim aşaması)
32	30	1000	[2 2 2 2 2]	222	8.7060e-04
		2500	[2 2 2 2 2]	222	4.6264e-04
		5000	[2 2 2 2 2]	222	3.5173e-04
		10000	[2 2 2 2 2]	222	3.3672e-04
	50	1000	[2 2 2 2 2]	222	1.0337e-03
		2500	[2 2 2 2 2]	222	5.3226e-04
		5000	[2 2 2 2 2]	222	4.0080e-04
		10000	[2 2 2 2 2]	222	2.5861e-04
	48	10000	[2 2 2 2 3]	321	3.2693e-04
	50	10000	[2 2 2 2 3]	321	2.7454e-04
	48	10000	[2 2 2 3 2]	321	2.7346e-04
	50	10000	[2 2 2 3 2]	321	3.1121e-04
	48	10000	[2 2 3 2 2]	321	3.1378e-04
	50	10000	[2 2 3 2 2]	321	2.8375e-04
	48	30	[2 3 2 2 2]	321	2.7151e-04
	50	10000	[2 3 2 2 2]	321	2.7755e-04
	48	10000	[3 2 2 2 2]	321	2.7329e-04
	50	10000	[3 2 2 2 2]	321	2.8525e-04

Tablo 4.1’e bakıldığında, 32 kural için 50 koloni ve 10000 iterasyon sayısı ile yapılan simülasyondaki ANFIS yapısının 2.5861e-04 MSE değeri ile diğer yapılara göre daha iyi olduğu görülmektedir. 48 kural için ise 30 koloni ve 10000 iterasyon sayısı ile [2 3 2 2 2] üyelik fonksiyonu kombinasyonu ile yapılan simülasyondaki ANFIS yapısının 2.7151e-04 MSE değeri ile diğer yapılara göre daha iyi olduğu görülmektedir. 32 ve 48 kural sayısında yapılan simülasyonlar sonucunda, daha iyi olarak belirlenen modeller

için iterasyon-MSE değişimi Şekil 4.13'de verilmiştir. Şekil 4.13'deki grafikte anlaşılabilirlik açısından ilk 500 iterasyon sunulmuştur.



Şekil 4. 13. Eğitim aşamasında 32 ve 48 kural için elde edilen iterasyon-MSE değişimi.

Tablo 4.2'de ise 32 ve 48 kural sayısında daha iyi olarak belirlenen modelleri karşılaştırma açısından, eğitim aşamasında elde edilen en iyi, en kötü ve ortalama MSE değerleri ile standart sapmalar verilmiştir.

Tablo 4. 2. Eğitim aşamasında 32 ve 48 kural sayısında elde edilen daha iyi modeller için MSE ve standart sapma değerleri.

Kural Sayısı	Performans Kriteri			
	En İyi MSE	Ortalama MSE	En Kötü MSE	Standart Sapma
32	2.5861e-04	4.1951e-04	5.4589e-04	6.9392e-05
48	2.7151e-04	3.8288e-04	5.1626e-04	6.5835e-05

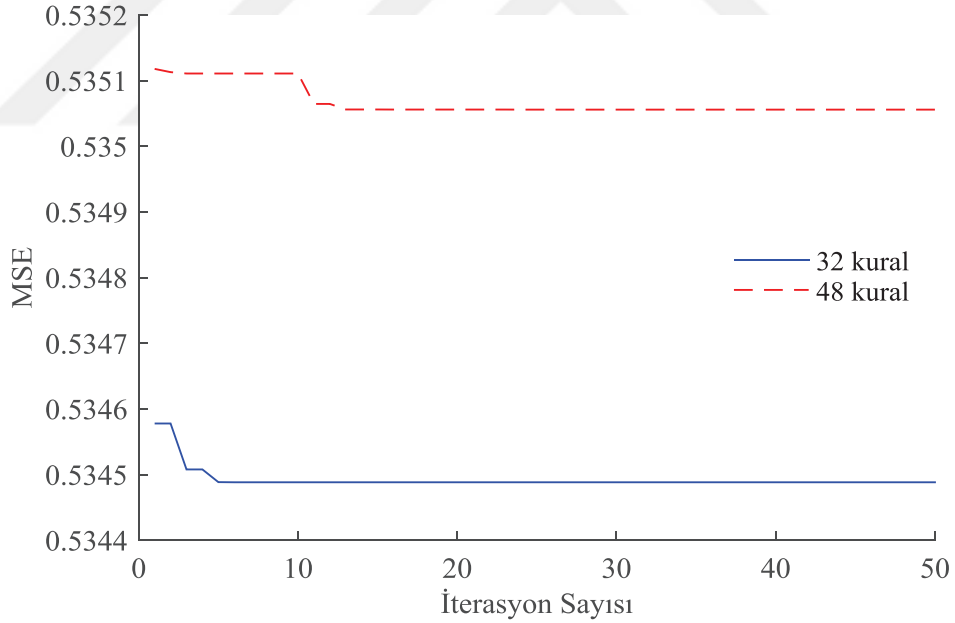
Eğitim aşamasında en uygun ANFIS yapısının seçiminden sonra, çalışmanın ikinci aşaması olan itki optimizasyonu aşamasına geçilmiştir. Burada, seçilen ANFIS yapısı, amaç fonksiyonunu oluşturacak şekilde GAO algoritmasına entegre edilmiştir. Böylece, itkinin, batarya ve pervane seçimiyle nasıl etkilendiği incelenmiş ve maksimum itki değerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu süreçte, GAO algoritmasının kontrol

parametreleri; 30 ve 50 koloni boyutlarında, 50 iterasyon sayısı ve 10 runtime şeklinde seçilmiştir.

Yapılan simülasyonlar sonucu, optimizasyon aşamasında elde edilen en iyi, en kötü ve ortalama MSE değerleri ile standart sapmalar Tablo 4.3’de verilmiştir. Şekil 4.14’te ise optimizasyon aşamasına ait iterasyon sayısı-MSE değişim grafiği sunulmuştur.

Tablo 4. 3. Optimizasyon aşamasında elde edilen MSE ve standart sapma değerleri.

Kural Sayısı	Performans Kriteri			
	En İyi MSE	Ortalama MSE	En Kötü MSE	Standart Sapma
32	5.3449e-01	5.3449e-01	5.3449e-01	4.7529e-10
48	5.3506e-01	5.3506e-01	5.3506e-01	1.3739e-09

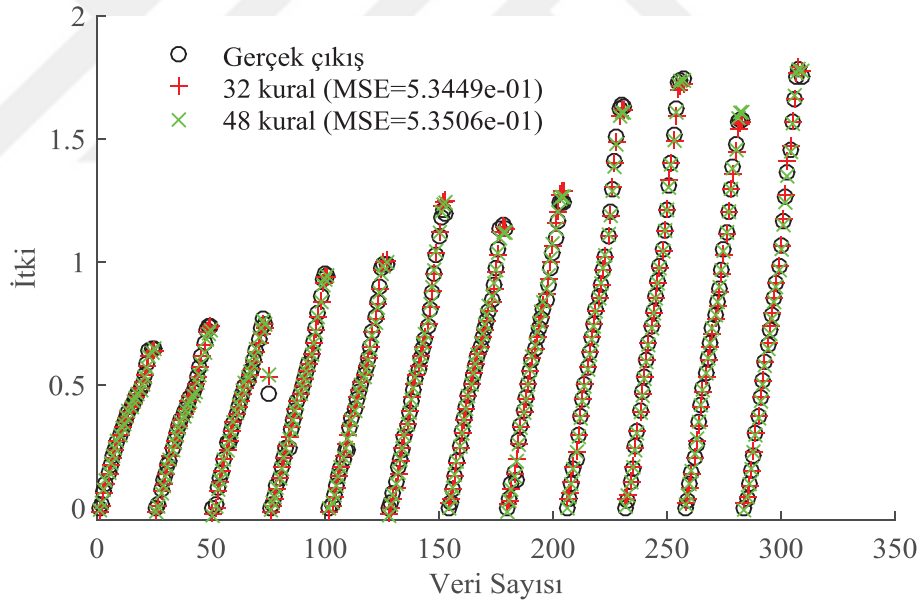


Şekil 4. 14. Optimizasyon aşamasına ait iterasyon sayısı-MSE değişim grafiği.

Tablo 4.4’de en küçük MSE değerine sahip optimum yapılar için elde edilen giriş ve çıkış parametre değerleri verilmiştir. Şekil 4.15’de ise eğitim safhasında elde edilen en küçük MSE değeri kullanılarak elde edilen çıkış değerlerinin gerçek çıkış değerleriyle kıyaslanması sunulmuştur.

Tablo 4. 4. En küçük MSE değeri için optimizasyon aşamasında elde edilen giriş ve çıkış değerleri.

Kural Sayısı	MSE (Eğitim)	MSE (Optimizasyon)	Elde Edilen					
			Giriş Değerleri					Çıkış Değeri
			Çap	Hatve	Akım	Voltaj	EHK	İtki
32	2.5861e-04	5.3449e-01	11.36	5.34	29	16.80	2010	1.77
48	2.7151e-04	5.3506e-01	12.39	7.61	29	15.81	2010	1.70



Şekil 4. 15. Eğitim safhasında elde edilen en küçük MSE değeri kullanılarak elde edilen çıkış değerlerinin gerçek çıkış değerleriyle kıyaslanması.

5. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1.Tartışma

İnsansız hava araçlarının (İHA'ların) otonom ve otonom olmayan türleri ile haritalama, arama kurtarma, kargo gibi birçok alanda tercih edilmesiyle birlikte İHA'ların optimum aerodinamik şekil ile tasarlanması ve maksimum performansa sahip olması konusunda yapılan çalışmalar artmaktadır.

İHA tasarımında performansı arttıran parametrelerden biri de itki sistemleridir. İtki sistemlerinde, elektrikle veya yakıtla çalışan motorlar tercih edilmektedir. Kaldırma kuvveti sağlayan motorlar pervaneler ile birlikte kullanılmaktadır. Dolayısıyla, İHA itki sistemi tasarımlarında uygun motor ve uygun pervane gibi birçok parametre göz önüne alınmaktadır.

Havacılık, elektronik, yazılım ve donanım gibi çoklu disiplin ürünü olan İHA tasarımları yapılırken birçok farklı alan ve yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi, son zamanlarda sıklıkla tercih edilen yapay zeka yöntemleridir. Yapay zeka yöntemleri, sinir ağları ve optimizasyon algoritmalarını kapsamaktadır. Bilgisayar tabanlı olan sinir ağları ve optimizasyon algoritmaları, çeşitli çözüm kombinasyonlarının simüle edilmesine ve toleranslı sonuçlar üretilebilmesine imkan vermektedir. Böylece, gerçek dünya problemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu özellikleri sebebiyle, tez çalışmasında, Geri İzleme-Arama Optimizasyon (GAO) algoritması tabanlı Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) metodu ile İHA'nın itkisi incelenmiştir.

ANFIS, aralarında doğrudan bağıntı olmayan farklı parametreleri ilişkilendirerek, az sayıda elde edilen verilerin çoğullanmasını sağlamakta, ancak en uygun değer

seçilebileceği optimizasyon aşamasında yetersiz kalmaktadır. GAO algoritması ise en uygun değerin seçilebileceği optimizasyon aşamasında yeterliyken, parametrelerin ilişkilendirilmesinde yeterli olamamaktadır. Bu amaçla, bu tez çalışmasında, İHA itkisinin incelenmesi için önerilen yöntemde, seçilen giriş ve çıkış parametrelerinin tamamının ilişkilendirilmesinde ANFIS yapısı seçilmiş, itki performansının incelenmesi ve optimizasyonu için en uygun değerlerin belirlenmesinde ise GAO algoritması tercih edilmiştir.

Çalışmada, pervane çapı, pervane hatvesi, EHK sinyal değerleri, uygulanan akım ve gerilim olmak üzere beş adet giriş parametresi seçilmiştir. Çıkış parametresi olarak ise itki seçilmiştir. Giriş parametreleri, itki üzerinde önemli etkiye sahip olan batarya ve pervane verilerinden oluşturulmuştur. Seçilen giriş ve çıkış parametreleri için veri elde edilmesinde, Rcbenchmark firmasının 1580 modeli test cihazı kullanılarak ilgili grafiksel kullanıcı ara yüz programının 1.1.4 sürümü ile EMAX firmasının Grand turbo serisine ait gt2215/09 model fırçasız DC motoru kullanılmıştır. Seçilen bu motorun hızı için Hobbywing markasının Skywalker 40A EHK'si ve ihtiyaç duyulan elektriksel enerji için, Li-Po batarya (11.1 volt ve 14.7 volt) tercih edilmiştir. Deney düzeneğinde, farklı boy ve hatve değerlerinde (10x5, 10x7, 11x5.5, 11x7, 11x8 ve 12x6) pervaneler kullanılarak motor performansının etkisi gözlemlenmiştir. Yapılan bu seçimler sonrası, 3S ve 4S bataryalar ile seçilen pervane boyutları kullanılarak fırçasız motorun, itkisi üzerine testler yapılmıştır. Test verileri elde edilirken, mikro saniye türünden 1000 ile 2000 arasında EHK sinyali uygulanmış ve her bir kombinasyon için 25-30 civarında örnek alınmıştır.

Veri seti oluşturulduktan sonra, eğitim ve optimizasyon aşamalarından oluşan çalışmanın birinci basamağına geçilmiştir. Birinci basamakta, veriler kullanılarak 32 ve 48 kural seçilerek ANFIS eğitime başlanmıştır. Eğitim sırasında, klasik algoritmalar yerine GAO algoritması kullanılarak, ANFIS yapısının parametreleri optimize edilerek en uygun üyelik fonksiyonu parametreleri ile sonuç parametreleri hesaplanmıştır. 5 giriş için ikişer üçgen üyelik fonksiyonunun seçildiği ilk ANFIS modelinde, GAO algoritması için; 20 runtime, 30 koloni boyutunda 1000, 2500, 5000, 10000 iterasyon sayılarında ve 50 koloni boyutunda ise 1000, 2500, 5000, 10000 iterasyon sayılarında simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. 5 giriş için ikişer ve üçer üçgen fonksiyonlarının kombinasyonlarının kullanıldığı ikinci modelde, GAO algoritması için; 20 runtime, 30

ve 50 koloni boyutlarında sırasıyla 10000 iterasyon sayısında 5 farklı kombinasyon ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Modelin performansını belirlemek için Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error, MSE) seçilmiştir.

Farklı kural, koloni ve iterasyon sayıları için GAO algoritması tabanlı ANFIS eğitiminde elde edilen MSE değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Tablo 4.1 incelendiğinde, 32 kural sayısında 50 koloni ve 10000 iterasyon sayısı ile yapılan simülasyondaki ANFIS yapısının $2.5861e-04$ MSE değeri ile diğer yapılara göre öne çıktığı görülmektedir. 48 kural sayısında ise 50 koloni ve 10000 iterasyon sayısı ile yapılan simülasyondaki ANFIS yapısının $2.5861e-04$ MSE değeri ile diğer yapılara göre öne çıktığı görülmektedir. Eğitim aşamasında 32 ve 48 kural sayısı için yapılan simülasyonlar sonucu daha iyi olarak belirlenen yapılar için iterasyon-MSE değişimi Şekil 4.14’de sunulmuştur. Şekil 4.14’de anlaşılabilirlik açısından ilk 500 iterasyon verilmiştir. Eğitim aşamasında 32 ve 48 kural sayılarında daha iyi olarak belirlenen yapıları karşılaştırmak için, elde edilen en iyi, en kötü ve ortalama MSE değerleri ile standart sapmalar Tablo 4.2’de verilmiştir.

GAO algoritması tabanlı ANFIS eğitimi sonrası minimum MSE değerine sahip yapılar seçilerek, çalışmanın ikinci basamağı olan optimizasyon aşamasına geçilmiştir. Optimizasyon aşamasında yine optimizasyon algoritması olarak GAO algoritması ve performans kriteri olarak MSE seçilmiştir. Eğitim aşamasında elde edilen optimum ANFIS yapısı, GAO algoritmasında amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Böylece aralarında doğrudan bağıntı bulunmayan pervane çapı ve hatvesi, batarya akım ve voltajı ile EHK sinyalinin ilişkilendirilerek, optimizasyon aşamasında hesaplanacak olan itki üzerinde bu parametrelerin eşit önemde olmasını sağlamıştır. Giriş ve çıkış parametre değerlerinin alt ve üst limitler ile sınırlandırılmasıyla gerçekleştirilen optimizasyon aşamasında, İHA itkisini maksimize edecek şekilde elde edilen çıkışa karşılık, hangi giriş parametre değerlerinin daha uygun olduğunun belirlenmesi sağlanmıştır. 20 runtime, 50 iterasyon sayısı kullanılarak gerçekleştirilen ikinci basamağa ait elde edilen MSE değerleri Tablo 4.3’te, optimum itkiye karşı belirlenen girişler ise Tablo 4.4’te verilmiştir. Tablo 4.3’e bakıldığında, 32 kural sayısı için en iyi MSE değeri $5.3449e-01$ iken, 48 kural sayısı için en iyi MSE değeri $5.3506e-01$ olarak hesaplanmıştır. 32 kural sayısı için, pervane çapı, pervane hatvesi, batarya akımı,

batarya voltajı, EHK sinyalinde oluşan giriş parametreleri sırayla, 11.36, 5.34, 29, 16.80, 2010 olarak, çıkış parametresini oluşturan itki ise 1.77 olarak bulunmuştur. 48 kural sayısı için, pervane çapı, pervane hatvesi, batarya akımı, batarya voltajı, EHK sinyalinde oluşan giriş parametreleri sırayla, 12.39, 7.61, 29, 15.81, 2010 olarak, çıkış parametresini oluşturan itki ise 1.70 olarak bulunmuştur.

Farklı kural, üyelik fonksiyonu, koloni ve iterasyon sayıları kullanılarak oluşturulan tüm modeller için yapılan simülasyonlarda, itki çıkışı üzerinde giriş parametrelerinin eşit önemde olmasına dikkat edilmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, 32 kural sayısının 48 kural sayısına göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

5.2.Sonuç ve Öneriler

İHA itkisinin maksimum olarak belirlenmesi için oluşturulan modeller ve yapılan simülasyonlara bakıldığında, 32 kural sayısının 48 kural sayısına göre daha iyi bir performans gösterdiği gözlenmiştir. 32 kural sayısı kullanılarak oluşturulan GAO algoritması tabanlı ANFIS yapısının, küçük MSE değeri ile daha farklı olasılıkların değerlendirilmesine imkan sağlayabileceği ve literatürdeki çalışmalara alternatif olabileceği ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra, önerilen bu modelin, İHA itki tasarımlarında zaman kaybını azaltarak farklı parametre değerleri için de etkin sonuçlar ortaya koyabileceği görülmektedir.

İHA itkisi üzerine literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, GAO algoritması tabanlı ANFIS yapısına dayanan bir çalışma mevcut değildir. Bu tez çalışmasında önerilen yöntemin, İHA itkisinin belirlenmesinde diğer araştırmacıların çalışmalarına katkı sağlayacağı, tablolar ve şekiller ile ortaya konmuştur.

Gelecekte, İHA itki tasarımında farklı parametreler için GAO tabanlı ANFIS yapısı veya farklı algoritma tabanlı modeller kullanılarak yapılan çalışmaların pratik anlamda uygulanması sağlanabilir.

KAYNAKÇA

1. Daniel, P. R. 1992. Aircraft design: a conceptual approach. Published by American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc
2. Traub, L. W., 2013. Validation of endurance estimates for battery powered UAVs. **The Aeronautical Journal**, **117**(1197):1155-1166.
3. McDonald, R. A. (2014). Electric Propulsion Modeling for Conceptual Aircraft Design. 52nd Aerospace Sciences Meeting. <https://doi.org/10.2514/6.2014-0536>
4. Gohardani, A. S., Doulgeris, G., & Singh, R. 2011, July. Challenges of Future Aircraft Propulsion: A Review of Distributed Propulsion Technology and Its Potential Application for the All Electric Commercial Aircraft. Progress in Aerospace Sciences.
5. Wall, D., 2012. Optimum Propeller Design for Electric UAV's, **Doctoral dissertation**.
6. Konar, M., 2019. GAO Algoritma Tabanlı YSA Modeliyle İHA Motorunun Performansının ve Uçuş Süresinin Maksimizasyonu. European Journal of Science and Technology, (15), 360-367.
7. Konar, M., 2020. Simultaneous Determination of Maximum Acceleration and Endurance of Morphing UAV with ABC Algorithm-Based Model. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, vol.92, no.4, 579-586.
8. Oktay, T., Arik, S., Turkmen, I., Uzun, M., & Celik, H. (2018). Neural network based redesign of morphing UAV for simultaneous improvement of roll stability and maximum lift/drag ratio. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, **90**(8), 1203-1212.
9. Arik, S., Turkmen, I., & Oktay, T. 2018. Redesign of morphing UAV for simultaneous improvement of directional stability and maximum lift/drag ratio. **Advances in Electrical and Computer Engineering**, **18**(4), 57-62.
10. Arik, S., Turkmen, I., & Oktay, T. 2018. Redesign of morphing UAV for simultaneous improvement of directional stability and maximum lift/drag ratio. **Advances in Electrical and Computer Engineering**, **18**(4), 57-62.
11. G-Sahin, H., & Oktay, T. 2017. Powerplant System Design for Unmanned Tricopter. **The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics**, **1**, 9–21.

12. H-Avanzini, G., de Angelis, E. L., & Giulietti, F. 2016. Optimal Performance and Sizing of a Battery-powered Aircraft. **Aerospace Science and Technology**. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2016.10.015>
13. Manchin, A., Lafta, W. M., Dao, D. V., 2018. Smart variable pitch propeller system for unmanned aerial vehicles. **Int. J. Eng. Technol**, **74**: 5238-5242.
14. Antonios, C., Shaw, A., & Manolesos, M. Measurement of Mechanic Performance Charactestic of Small Electric Propulsion Systems for UAV Design, November 2018
15. Gur, O., & Rosen, A. 2009. Optimizing electric propulsion systems for unmanned aerial vehicles. **Journal of Aircraft**, **46**(4),1340-1353.
16. Rajendran, P., Smith, H., 2018. Experimental assessment of various batteries and propellers for small solar-powered unmanned aerial vehicle. **Bandung Institute of Technology**.
17. K-Lawrence, D., & Mohseni, K. 2005. Efficiency analysis for long duration electric MAVs. In Infotech@ Aerospace Conferences, Arlington, Virginia.
18. Winnefeld, J. A., Kendall, F., 2013. Unmanned systems integrated roadmap FY 2013-2038. **Approved for Open Publication Reference**, **14-S:0553**.
19. **Konar, M.,** Kekeç, E. T., 2021. İnsansız Hava Araçlarının Uçuş Süresinin Termal Hava Akımları Kullanılarak Arttırımı, **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, **(23)**, 394-400.
20. Akpınar M., Arık Hatipoğlu S. , Konar M., 2021. İnsansız Hava Araçlarında Kullanılan Fırçasız Motorların İtki Testinin Gerçekleştirilmesi, 2nd International Baku Conference On Scentific Research, Baku, Azerbaijan, 28 Nisan - 30 Mayıs ss.8-13
21. Xia, C. L., 2012. Permanent magnet brushless DC motor drives and controls. John Wiley & Sons.
22. Papdeja, R., Sankala, P., 2014. Modelling and simulation of three phase brushless dc motor with using model reference adaptive controller. **International Journal of Inventions in Computer Science and Engineering**, **1**(3),21-25.
23. Krause, P. C., Wasynczuk, O., Sudhoff, S. D., Pekarek, S. D., 2013. Analysis of electric machinery and drive systems, Vol. 75. John Wiley & Sons.
24. Tadrist, N., Zeroug, H., Boukais, B., 2012. Development of brushless dc motor drive system for teaching purposes using various PWM control

- techniques. **International Journal of Electrical Engineering Education**, **49**(3), 210-231.
25. Rao, A. P. C., Obulesh, Y. P., Babu, C. S., 2012. Mathematical modeling of BLDC motor with closed loop speed control using PID controller under various loading conditions. **Arpn Journal of Engineering and Applied Sciences**, **7**(10), 1321-1328.
 26. Shamseldin, M., 2016. Speed Control Of High Performance Brushless DC Motor. Egypt Helwan University, **Doctoral Dissertation, Thesis**.
 27. Batra, D., Sharma, S., Ratan, R., 2009. Axis controlled movement of robot using brushless DC motor drive. **Indian Journal of Science and Technology**, **2**(4), 36-9.
 28. Rodriguez, F., Emadi, A., 2007. A novel digital control technique for brushless DC motor drives. **Transactions On Industrial Electronics**, **54**(5), 2365-2373.
 29. Li, Y., Rong, J., 2011. The study of new modeling method for permanent magnet brushless DC motor, Vol. 9, pp. 4713-4716, IEEE. **In Proceedings of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology**.
 30. Lorincz, R. I., Basch, M. E., Bogdanov, I., Tiponut, V., Beschieru, A., 2011. Hardware implementation of BLDC motor and control system diagnosis. **International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing**, **5**: 660-671.
 31. Caihong, Z., Hongtao, Z., 2011. Mathematical model and system simulation of the brushless DC motor, (pp. 409-411) IEEE. **10th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science**.
 32. Purwadi, A., Dozeno, J., Heryana, N., 2013. Testing Performance of 10 kW BLDC Motor and LiFePO₄ Battery on ITB-1 electric car prototype. **Procedia Technology**, **11**:1074-1082.
 33. Tiwary, N., Rathinam, A., Ajitha, S., 2014. Design of hybrid fuzzy-pi controller for speed control of brushless dc motor, pp. 1-4. **In International Conference on Electronics, Communication and Instrumentation**, IEEE.
 34. https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_speed_control, Erişim tarihi 11.05.2020

35. Jung, S., Jeong, H., 2017. Extended kalman filter-based state of charge and state of power estimation algorithm for unmanned aerial vehicle Li-Po battery packs. **Energies**, **10**(8):1237.
36. Chen, B., Ma, H., Fang, H., Fan, H., Luo, K., Fan, B., 2014. An approach for state of charge estimation of li-ion battery based on thevenin equivalent circuit model, pp. 647-652 IEEE. **Prognostics and System Health Management Conference**, Hunan.
37. Brondani, M. F., Sausen, A. T. Z. R., Sausen, P. S., Binelo, M. O., 2017. Battery model parameters estimation using simulated annealing, *TEMA*, São Carlos.18(1), 127-137.
38. Daowd, M., Omar, N., Verbrugge, B., Van Den Bossche, P., Van Mierlo, J., 2010. Battery models parameter estimation based on MATLAB/Simulink®, Vol. 2, pp. 1-6. **In Proceedings of the 25th Electric Vehicle Symposium (EVS-25)**, Shenzhen, China.
39. <http://www.stefanv.com/electronics/escprimer.html>, Erişim tarihi 11.05.2020.
40. Stevenson, R., Chandra, C., Christon, J., Wiryanto, W., Virginio, R., Adiprawita, W., 2020. Energy consumption comparison of static pitch propeller and variable pitch propeller using maximum thrust equation approach in small scale electric unmanned aerial vehicle, Vol. 2226, No. 1, p. 020001. **In AIP Conference Proceedings**, AIP Publishing LLC.
41. Balkan, D., 2004. Döner Kanatlı Hava Araçlarının Aerodinamik Performansının Değerlendirilmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, **Doctoral dissertation**.
42. Federal Aviation Administration, & United States. Federal Aviation Administration. 2009. Pilot's handbook of aeronautical knowledge. Skyhorse Publishing Inc
43. Jang, J. S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, 23(3), 665-685.
44. Takagi, T., & Sugeno, M. 1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, (1), 116-132.
45. Al-Hadithi, B. M., Jiménez, A., & López, R. G. (2015). Fuzzy optimal control using generalized Takagi–Sugeno model for multivariable nonlinear systems. **Applied Soft Computing**, **30**, 205-213.

46. Kumaresan, N., & Balasubramaniam, P. 2009. Optimal control for stochastic linear quadratic singular system using neural networks. **Journal of Process Control**, **19**(3), 482-488.
47. Precup, R. E., Sabau, M. C., & Petriu, E. M. 2015. Nature-inspired optimal tuning of input membership functions of Takagi-Sugeno-Kang fuzzy models for anti-lock braking systems. **Applied Soft Computing**, **27**, 575-589.
48. Precup, R. E., Filip, H. I., Rădac, M. B., Petriu, E. M., Preitl, S., & Dragoş, C. A. 2014. Online identification of evolving Takagi–Sugeno–Kang fuzzy models for crane systems. **Applied Soft Computing**, **24**, 1155-1163.
49. Sadeghi, M. S., Safarinejadian, B., & Farughian, A. 2014. Parallel distributed compensator design of tank level control based on fuzzy Takagi–Sugeno model. **Applied soft computing**, **21**, 280-285.
50. Boyd, S., Boyd, S. P., & Vandenberghe, L. 2004. **Convex optimization**. Cambridge university press.(Chapter III)
51. Hadjili, M. L., & Wertz, V. 2002. Takagi-Sugeno fuzzy modeling incorporating input variables selection. **IEEE Transactions on fuzzy systems**, **10**(6), 728-742.
52. Karaboga, D. & Kaya, E. 2019. Adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS) training approaches: a comprehensive survey. **Artificial Intelligence Review**, **52**(4), 2263-2293.
53. **A3. Konar, M.,** 2019. Redesign of Morphing UAV's Winglet Using DS Algorithm Based ANFIS Model. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, **vol.91**, no.9, 1214-1222.
54. Özçalık, H. R., & Uygur, A. F. 2003. Dinamik sistemlerin uyumlu sinirsel-bulanık ağ yapısına dayalı etkin modellenmesi. **KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi**, **6**(1), 36-46.
55. Civicioglu, P. 2013. Backtracking search optimization algorithm for numerical optimization problems. **Applied Mathematics and computation**, **219**(15), 8121-8144.
56. Zhang, C., Lin, Q., Gao, L., & Li, X. 2015. Backtracking Search Algorithm with three constraint handling methods for constrained optimization problems. **Expert Systems with Applications**, **42**(21), 7831-7845.

57. Chen, D., Zou, F., Lu, R., & Wang, P. 2017. Learning backtracking search optimisation algorithm and its application. **Information Sciences**, **376**, 71-94.
58. El-Fergany, Attia. 2015. Optimal allocation of multi-type distributed generators using backtracking search optimization algorithm. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems** **64**: 1197-1205.
59. Duan, H., & Luo, Q. 2014. Adaptive backtracking search algorithm for induction magnetometer optimization. **IEEE Transactions on Magnetics**, **50**(12), 1-6.
60. Wang, X. J., Liu, S. Y., & Tian, W. K. 2014. Improved backtracking search optimization algorithm with new effective mutation scale factor and greedy crossover strategy. **Journal of Computer Applications**, **34**(9), 2543-2546.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Mustafa AKPINAR
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 18.02.1991 - Kayseri
Medeni Durum: Evli
e-mail: akpinarmustafa77@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Uçak Gövde Motor Bölümü	2016
Lise	Kocasinan Atatürk Lisesi ,Kayseri	2009

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2016-Halen	Pegasus Havayolları	5 Yıl

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

- Akpınar M.**, Arık Hatipoğlu S. , Konar M., 2021. İnsansız Hava Araçlarında Kullanılan Fırçasız Motorların İtici Testinin Gerçekleştirilmesi, 2nd International Baku Conference On Scientific Research, Baku, Azerbaycan, 28 Nisan - 30 Mayıs ss.8-13