

JAR - 3 / 2

E-ISSN: 2687-3338

AUGUST 2021



JOURNAL OF
AVIATION
RESEARCH

HAVACILIK ARAŞTIRMALARI DERĐİSİ



3 / 2



maltepe university
i s t a n b u l www.maltepe.edu.tr



JOURNAL OF
AVIATION
RESEARCH

HAVACILIK ARAŞTIRMALARI DERĐİSİ

3 / 2

İSTANBUL - 2021



JOURNAL OF
**AVIATION
RESEARCH**

HAVACILIK ARAŞTIRMALARI DERĐİSİ

Yılda iki sayı olarak yayımlanan uluslararası hakemli, açık erişimli ve bilimsel bir dergidir.

Cilt: 3
Sayı: 2
Yıl: 2021

2019 yılından itibaren yayımlanmaktadır.

© Telif Hakları Kanunu çerçevesinde makale sahipleri ve Yayın Kurulu'nun izni olmaksızın hiçbir şekilde kopyalanamaz, çoğaltılamaz. Yazıların bilim, dil ve hukuk açısından sorumluluğu yazarlarına aittir.

Elektronik ortamda da yayımlanmaktadır:
<https://dergipark.org.tr/jar>
Ulaşmak için tarayınız:

This is a scholarly, international, peer-reviewed, open-access journal published international journal published twice a year.

Volume: 3
Issue: 2
Year: 2021

Published since 2019.

© The contents of the journal are copyrighted and may not be copied or reproduced without the permission of the publisher. The authors bear responsibility for the statements or opinions of their published articles.

This journal is also published digitally.
<https://dergipark.org.tr/jar>
Scan for access:



Yazışma Adresi:
Maltepe Üniversitesi Meslek Yüksekokulu,
Marmara Eğitim Köyü, 34857
Maltepe / İstanbul

Kep Adresi:
maltepeuniversitesi@hs01.kep.tr

E-Posta:
jar@maltepe.edu.tr

Telefon:
+90 216 626 10 50

Dahili:
2289 veya 2286

Correspondence Address:
Maltepe Üniversitesi Meslek Yüksekokulu,
Marmara Eğitim Köyü, 34857
Maltepe / İstanbul

Kep Address:
maltepeuniversitesi@hs01.kep.tr

E-Mail:
jar@maltepe.edu.tr

Telephone:
+90 216 626 10 50

Ext:
2289 or 2286



JOURNAL OF AVIATION RESEARCH

HAVACILIK ARAŞTIRMALARI DERGİSİ

Yayın Sahibi:

Maltepe Üniversitesi adına
Prof. Dr. Şahin Karasar

Editörler:

Prof. Dr. Şahin Karasar
Doç. Dr. İnan Eryılmaz
Doç. Dr. Deniz Dirik
Dr. Öğr. Üyesi Şener Odabaşoğlu

Yayın ve Danışma Kurulu:

Prof. Dr. Cem Harun Meydan
Prof. Dr. Dukagjin Leka
Prof. Dr. Ender Gerede
Prof. Dr. Ferhat Kolbakır
Prof. Dr. Osman Ergüven Vatandaş
Prof. Dr. Sevinç Köse
Doç. Dr. Asena Altın Gülova
Doç. Dr. Burcu Güneri Çangarlı
Doç. Dr. Engin Kanbur
Doç. Dr. Ferhan Sayın
Doç. Dr. Florina Oana Virlanuta
Doç. Dr. Güler Tozkoparan
Doç. Dr. Hakkı Aktaş
Doç. Dr. Mehmet Kaya
Doç. Dr. Önder Altuntaş
Doç. Dr. Özgür Demirtaş
Doç. Dr. Rüstem Barış Yeşilay
Doç. Dr. Semih Soran
Doç. Dr. Yasin Şöhret
Dr. Öğr. Üyesi Belis Gülay
Dr. Öğr. Üyesi Birsen Açıknel
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin Uzunbacak
Dr. Öğr. Üyesi Hatice Küçükönel
Dr. Öğr. Üyesi Muhittin Hasan Uncular
Dr. Öğr. Üyesi Nuran Karaağaoğlu
Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk Derindağ
Dr. Öğr. Üyesi Özlem Çapan Özeren
Dr. Öğr. Üyesi Rukiye Sönmez
Dr. Öğr. Üyesi Tahsin Akçakanat
Dr. Öğr. Üyesi Uğur Turhan
Öğr. Gör. Esra Çelenk
Öğr. Gör. Rıza Gürler Akgün

Grafik Tasarım:

Rıza Gürler Akgün

Owner:

On behalf of Maltepe University
Prof. Şahin Karasar, Ph.D.

Editors:

Prof. Şahin Karasar, Ph.D.
Assoc. Prof. İnan Eryılmaz, Ph.D.
Assoc. Prof. Deniz Dirik, Ph.D.
Asst. Prof. Şener Odabaşoğlu, Ph.D.

Editorial and Advisory Board:

Prof. Cem Harun Meydan, Ph.D.
Prof. Dukagjin Leka, Ph.D.
Prof. Ender Gerede, Ph.D.
Prof. Ferhat Kolbakır, Ph.D.
Prof. Osman Ergüven Vatandaş, Ph.D.
Prof. Sevinç Köse, Ph.D.
Assoc. Prof. Asena Altın Gülova, Ph.D.
Assoc. Prof. Burcu Güneri Çangarlı, Ph.D.
Assoc. Prof. Engin Kanbur, Ph.D.
Assoc. Prof. Ferhan Sayın, Ph.D.
Assoc. Prof. Florina Oana Virlanuta, Ph.D.
Assoc. Prof. Güler Tozkoparan, Ph.D.
Assoc. Prof. Hakkı Aktaş, Ph.D.
Assoc. Prof. Mehmet Kaya, Ph.D.
Assoc. Prof. Önder Altuntaş, Ph.D.
Assoc. Prof. Özgür Demirtaş, Ph.D.
Assoc. Prof. Rüstem Barış Yeşilay, Ph.D.
Assoc. Prof. Semih Soran, Ph.D.
Assoc. Prof. Yasin Şöhret, Ph.D.
Asst. Prof. Belis Gülay, Ph.D.
Asst. Prof. Birsen Açıknel, Ph.D.
Asst. Prof. Hasan Hüseyin Uzunbacak, Ph.D.
Asst. Prof. Hatice Küçükönel, Ph.D.
Asst. Prof. Muhittin Hasan Uncular, Ph.D.
Asst. Prof. Nuran Karaağaoğlu, Ph.D.
Asst. Prof. Ömer Faruk Derindağ, Ph.D.
Asst. Prof. Özlem Çapan Özeren, Ph.D.
Asst. Prof. Rukiye Sönmez, Ph.D.
Asst. Prof. Tahsin Akçakanat, Ph.D.
Asst. Prof. Uğur Turhan, Ph.D.
Lect. Esra Çelenk
Lect. Rıza Gürler Akgün

Graphic Design:

Rıza Gürler Akgün



JOURNAL OF
**AVIATION
RESEARCH**
HAVACILIK ARAŞTIRMALARI DERGİSİ

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ALİ AKAY - UMUR KURİŞ - SİBEL SENAN

İnsansız Hava Araçları ve Otopilotlar

Unmanned Air Vehicles and Autopilots 128 - 149

ABDULLAH ORAJ HÜSEYNİKLİOĞLU

Havacılık Sektörünün Pilot Eğitiminde Sürdürülebilir Rekabete Etkisi

The Impact of the Aviation Industry on Sustainable Competition in Pilot Training 150 - 172

NİHAN ÖZANT - MERVE KELLEÇİ

Uçuş Korkusu Üzerine Nitel Bir Çalışma

A Qualitative Study on Fear of Flying 173 - 189

GÜLAÇTI ŞEN

Türk Havacılığında Girişimcilik Faaliyetleri: Türkiye’de Yerli Uçak Üretimi Çalışmaları Üzerine Bir Araştırma

Entrepreneurship Activities in Turkish Aviation: A Research on Indigenous Aircraft Manufacturing Operating in Turkey 190 - 208

OLCAY ÖLÇEN - BÜŞRA ÖNLER

Soil and Water Pollution Awareness and Fare Purchasing Behaviour of Passengers in Air Carriers

Toprak ve Su Kirliliği Farkındalığı ve Havayolu İşletmelerinde Yolcuların Bilet Satın Alma Davranışları 209 - 226

SEYHAN DURMUŞ - EMRE OSMAN TOKYAY

Havacılık Yönetimi Lisans Öğrencilerinin Meslek Tercih Eğilimlerinin İncelenmesi

Examination of the Career Choice Trends of Aviation Management Undergraduate Students 227 - 242

BATUHAN KOCAOĞLU - ŞENER ODABAŞOĞLU - İLKER HAKAN ÖZASLAN

Türkiye’de Pistonlu Tek Motorlu Uçak Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Ahp ve Topsis Yöntemlerinin Kullanılması

Using Multi-Criteria Decision Making Ahp and Topsis Methods in Selection of Single Piston Engine Aircraft in Turkey 243 - 263

GÜLBENİZ AKDUMAN - GÜLNAZ KARAHAN

Sivil Havacılık Kabin Hizmetleri Kabin Memuru İşe Alımı İçin Bir Model Önerisi

A Model Suggestion for Civil Aviation Cabin Services Cabin Crew Recruitment 264 - 278

VOLKAN YAVAŞ - ÖZGE YAVAŞ TEZ

Kentsel Hava Taşımacılığı Kabul ve Kullanım Modeli: Bir Ölçek Geliştirme Çalışması

Urban Air Mobility Acceptance and Usage Model: A Scale Development Study 279 - 298



İnsansız Hava Araçları ve Otopilotlar

Ali AKAY¹

Umur KURİŞ²

Sibel SENAN³

Derleme	DOI: 10.51785/jar.894721	
Gönderi Tarihi: 10.03.2021	Kabul Tarihi: 12.04.2021	Online Yayın Tarihi: 29.08.2021

Öz

İnsansız Hava Araçları (İHA) uzaktan kumanda edilebilen veya otomatik olarak görevini yerine getirebilen, içerisinde pilot ya da yolcu barındırmayan uçaklardır. İHA'ların askeri alanda kullanımının yanı sıra sivil ve bilimsel alanlarda da yaygın bir kullanımı mevcuttur. İnsansız hava araçlarında yer alan İHA otopilot sistemi, İHA'lara bir referans yolunu izlemeleri veya bazı geçiş noktalarında gezinmeleri için sürekli rehberlik etmektedir. Güçlü bir İHA otopilot; kalkış, yükseliş, alçalış, yörünge takibi ve karaya inme dahil tüm aşamalarda İHA'ya rehberlik edebilir. Her ülke bünyesinde stratejik öneme sahip olan İHA'ların ana kontrol bileşenlerinden olan otopilotlar ile ilgili yapılmış çalışmalar büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, literatürde yer alan otopilot sistemlerini içeren yayınların derlemesinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, 2001-2020 yılları arasında yayınlanmış elliden fazla çalışma incelenmiş ve analiz edilmiştir. Sunulan çalışmanın İHA'larda yer alan otopilot sistemleri alanında yapılacak araştırmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: İnsansız Hava Araçları, Otopilotlar, Otonom Kontrol Sistemleri

JEL Sınıflandırma: D20, D23

Unmanned Air Vehicles and Autopilots

Abstract

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are airplanes that can be remotely controlled or that can automatically perform their duties, without pilots or passengers. Besides the use of UAVs in the military field, they are also widely used in civilian and scientific fields. The UAV autopilot system in unmanned aerial vehicles continuously guides the UAVs to follow a reference route or navigate some crossing points. A powerful UAV autopilot can guide the UAV in all stages including take-off, ascent, descent, tracking and landing. Studies on autopilots, one of the main control components of strategically important UAVs in every country, are of great importance. Therefore, it is aimed to review the papers in the literature about autopilot systems in UAV. For this purpose, over fifty studies published between 2001-2020 were examined and analyzed. The presented study will shed light on the researches in the field of autopilot systems in UAVs.

Keywords: Unmanned Air Vehicles (UAV), Autopilots, Autonom Control Systems

JEL Classification: D20, D23

¹ Bil. Tek. Öğrt. MEB, akayali38@hotmail.com

² Arş.Gör. Biruni Üniversitesi, umur.kuris@medeniyet.edu.tr

³ Doç.Dr. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, ssenan@istanbul.edu.tr (Sorumlu Yazar)

GİRİŞ

İnsansız Hava Araçları (İHA), belirlenmiş özel amaçlara uygun ekipmanlara sahip, otomatik veya uzaktan yönetilerek çalışan, pilot ve yolcusu olmayan bir çeşit uçaktır. İHA'ların tarihine bakılacak olursa, Amerika'da insansız balonların askeri amaçlı kullanımı 1793 yılına dayanmaktadır, ancak bu balonlar sadece keşif amaçlı olarak kullanılmışlardır. Hava saldırısında ilk İHA kullanımı, 22 Ağustos 1849 senesinde Avusturyalıların, içinde zaman fitilli bombalar bulunan 200 pilotsuz balonu Venedik şehrine göndermesi ile yaşanmıştır. 1908 yılının Nisan ve Kasım aylarında Alman havacıları taşıyan 10 Alman balonunun Fransa sınırını geçerek Fransa'ya iniş yapması 1910 yılında Paris Konferansı'nın düzenlenmesine neden olmuştur. Paris konferansı, hava hukukunun uluslararası bir platformda görüşülmesi yönündeki ilk önemli çaba olarak kaydedilmektedir (Kahveci ve Can, 2017).

İHA'ların askeri amaçlı kullanımlarının yanı sıra sivil amaçlı kullanım alanları da mevcuttur. Bu alanlara örnek olarak; kötü hava ve çevre koşullarında gözlem, nükleer, biyolojik ve kimyasal olarak kirletilmiş bölgelerin tespiti, radyasyon tehlikesinin olduğu bölgelerde arama-kurtarma faaliyetleri, istihbarat ve güvenlik amaçlı kullanım, tarımsal uygulamalar, havadan suç mahalli keşfi, kentsel dönüşüm çalışmaları, doğal afetlerin izlenmesi, arkeolojik çalışmalar, 3 boyutlu şehir modellerinin oluşturulması, vb. sayılabilir.

İHA'lar günümüzde bilimsel araştırmalarda da sıklıkla kullanılmaktadır. Hava tahmini, atmosfer ve okyanuslar hakkında veri toplama, çevresel, tarım, manyetik ve radyolojik haritalama amaçlı gözetlemeler, İHA'lar tarafından toplanan multispektral, termal, hiperspektral görüntülerin işlenmesi gibi çalışmalar bunlara örnek verilebilir.

İHA'ların iki tür kontrol modu bulunmaktadır: Uzaktan kumanda ve Otopilot kontrolü. Uzaktan kumanda, İHA'yı radyo sinyalleri aracılığıyla kontrol etmek için insan pilotlar gerektirir. Uzaktan kumandaya "radyo kontrolü" de denir. Öte yandan, Otopilot, uçağı otomatik olarak istenen durumda tutabilir. Otopilotlar, uçuş sırasında İHA'lara insan operatörlerinden yardım almadan kılavuzluk eden sistemlerdir. İHA'ların görevlerini başarıyla yerine getirmesi için sağlam ve doğru bir otopilot sistemi vazgeçilmezdir. Otopilotlar ilk olarak füzeler için geliştirilmiş ve daha sonra 1910'lardan beri uçaklarda ve gemilerde kullanılmıştır. Bir İHA otopilotu, durum gözlemcisi ve kontrolör olmak üzere iki bölümden oluşan bir kapalı döngü kontrol sistemidir. İyi bir otopilot küçük, hafif ve uzun ömürlü olmalıdır (Chao, Cao ve Chen, 2007).

Son yıllarda, İHA'lar için otonom kontrol ve navigasyon sistemlerinin gelişiminde önemli bir artış olmuştur. Otopilot olarak adlandırılan otonom kontrol sistemleri; sistem ve ortamdaki uzun süreler boyunca sürmesi muhtemel önemli belirsizlikler altında iyi performans gösterecek şekilde tasarlanmalıdır. Otonom kontrol sistemleri, özerklik kazanmak amacı ile yapay zekâ yöntemlerinden faydalanır. Özerklik, özyönetim kabiliyetine sahip olmak demektir. Bu amaçla, otonom kontrol sistemleri akıllı bileşenler eklenerek geleneksel kontrol sistemlerinden geliştirilir. Otonom kontrol sistemleri, kontrol fonksiyonlarının gerçekleştirilmesinde kendi kendini yönetme gücüne ve yeteneğine sahiptir. Otonom kontrol sistemlerinin geliştirilmesi Kontrol, Tahmin ve İletişim Teorisi, Bilgisayar Bilimi, Yapay Zekâ ve Yöneylem Araştırması gibi alanlardan kavram ve

yöntemleri bütünleştirdiği için önemli disiplinlerarası araştırma gerektirmektedir (Chen, Wang ve Li, 2009).

İHA'larla ilgili en zorlayıcı hedeflerden biri otopilot adı verilen otonom kontrol sistemlerinin geliştirilmesidir. Bu çalışmanın amacı, literatürde otopilot sistemleri ile ilgili yapılmış çalışmaları inceleyerek araştırmacılara bu konuda yol gösterici bir kaynak sunmaktır. Bu amaçla, 2001-2020 yılları arasında otopilotlarla ilgili yapılmış elliden fazla çalışma incelenmiş ve analiz edilmiştir. İncelenen çalışmalardan elde edilen bulguların, konu ile ilgili yapılacak araştırmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

1. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Ahsun, Badar, Tahir ve Aldosari'ye (2014) ait çalışmada İHA'ların manuel uçuş güvenliğini artırmak ve harici manuel pilotun kontrol girişlerini, otomatik pilot komutlarıyla birleştirmek için bir kontrol füzyon şeması sunulmuştur. İHA'nın uçuş dinamiği, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği tabanlı aero modeli ile standart 6-DoF (altı serbestlik dereceli) doğrusal olmayan sistem kullanılarak Döngüde Donanım Simülasyonu (Hardware in Loop Simulation- HILS) ile simüle edilmiştir. HILS üzerinde simüle edilmiş uçak gövdesinin Uçuş Kontrol Bilgisayarı (Flight Control Computer -FCC) üzerinde manuel kontrolör tarafından uçuşuyla birkaç deneme yapılmıştır. Sonuçlar, kontrol füzyon şemasının İHA uçuşunu güvenli rejimde tutmada etkinliğini göstermiştir.

Altın ve Er (2018) yaptıkları çalışmada kumandaya bağlı kalmaksızın giyilebilir sinyal alıcılar sayesinde kas ve beyin gücü ile yönlendirilebilen bir İHA'nın başarılı bir şekilde istenilen yörüngede hareket ettirebildiğini göstermişlerdir. Geliştirdikleri bir 3B sanal gerçeklik yazılımı ile farklı kullanıcılardan aldıkları EEG ve EMG sinyallerini paralel olarak MATLAB ortamına aktarmışlar, bu sinyalleri sınıflandırarak sanal oyuna komut olarak göndermişler ve insansız hava aracını uzaktan yönlendirilebilmişlerdir. Sistemin başarısını test etmek için farklı denekler üzerinde oluşturdukları farklı rotaları, performans analizlerinde kullanmışlardır. Bu sayede, öne sürdükleri çalışmada donanımdan bağımsız olarak insandan elde edilen sinyaller ile sanal gerçeklik ortamı bütünleştirilmiş ve yapılan deneyler sonucunda başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ambroziak ve Gosiewski (2013) tarafından yapılan çalışmada, ticari olarak üretilen otopilotu sabit kanatlı küçük bir uçağa yerleştirilmiş, manuel ve otonom uçuş gerçekleştirilmiştir. Otopilot, navigasyon ve yörünge izleme görevlerini yerine getirirken, PID (Proportional Integral Derivative) kontrolörlerin ayarlarının yapılması işlemi gerçekleştirilmiştir. PID kontrolörlerin ayarlanması işleminin zor, zahmetli ve dikkatli bir şekilde yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Anderson, Hagenauer, Erickson ve Bhandari (2008), Piccolo II otopilotu ve otonom İHA üzerine araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada uçuş dinamiklerini geliştirmek için Sig Kadet Senior uçağı kullanılmıştır. Geliştirilen bu uçak modeli ile, otonom uçuşta gerekli olan geri bildirimleri belirlemek için Döngüde Donanım Simülasyonu (Hardware in Loop Simulation- HILS) ortamı kullanılmıştır. Otopilot uçağa entegre edilmiş ve otonom uçuş gerçekleştirilmiştir.

Andrievsky ve Fradkov (2002) yaptıkları çalışmada, İHA otopilotunun durum kontrolünü sağlamak için karma adaptif kontrol yapısını önermişlerdir. Bu adaptif kontrol, değişken yapıya denetleyici, parametrik tanımlama algoritması ve paralel ileri beslemeli dengeleyiciden oluşmaktadır. Adaptasyon algoritması, İHA'nın çeşitli uçuş koşulları altında, durum kontrol sisteminin ihtiyaç duyduğu dinamik özellikleri sağlamaktadır.

Babaei, Mortazavi ve Moradi (2012) sundukları çalışmada insansız hava araçlarının irtifasını koruyabilmesi için otopilot tasarlamışlardır. Bu tasarım için, tek döngülü şema içerisinde yer alan bulanık mantık otopilot önerilmiştir. Etkin bir maliyet fonksiyonu temelinde, bulanık mantık otopilot parametrelerinin optimum şekilde belirlenmesini sağlamak için genetik algoritma kullanılmıştır. Bu maliyet fonksiyonu, hedefi aşmak, yükselme ve yerleşme süresi, kararlı durum hatası ve kararlılık gibi parametreleri içermektedir. Simülasyon sonuçlarına göre, tepki verme süresi, kendi kendini uyarlaması gibi konularda istenen sonuçlar elde edilmiştir.

Baomar ve Bentley'e (2016) ait çalışmada pilotları gözlemleyerek ve taklit ederek pilotaj yeteneklerini öğrenen Akıllı Otopilot Sistemi (AOS) önerilmiştir. AOS, Otomatik Uçuş Kontrol Sistemlerinin uçuş esnasında karşılaşılan belirsizliklerin üstesinden gelememe sorunu için potansiyel bir çözüm olarak sunulmuştur. Pilotlar verilen görevleri uçuş simülatöründe gerçekleştirirken, eğitim veri setleri bu gösteriden elde edilmektedir. Bu sayede taklit yoluyla robust (güçlü) bir öğrenme gerçekleşmektedir. Yapay Sinir Ağları (YSA), kontrol modellerini otomatik oluşturmak için bu veri setlerini kullanmaktadır. Kontrol modelleri, pilotların kötü hava koşullarında sergilediği pilotaj yeteneklerini taklit etmektedir. Deneyler, AOS' un kalkış, tırmanma, yavaş çıkış görevlerini Ortalama Mutlak Hata ve Ortalama Mutlak Sapma hesaplamalarına göre yüksek doğrulukta gerçekleştirdiğini göstermiştir. Sonuçlar, AOS' un fırtınalı havalarda düşük seviye alt bilişsel becerilerden olan hızlı ve sürekli stabilizasyon girişimlerini ve pistten kalkış yaparak sabit bir seyir için gerekli olan yüksek seviye stratejik yetenekleri taklit edebildiğini göstermiştir.

Bhar, Sayadi ve Fnaiech (2017) sundukları çalışmada orta ve küçük boyutlu İHA tipi için seyirden inişe kadar gelişmiş bir İHA otopilot simülatörü geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada MATLAB yazılımı ile geliştirilmiş, görüntülenebilir bir laboratuvar tabanlı simülatör uygulanmıştır. Simülatör, bir yörünge jeneratörü, çeşitli yönlendirme ve kontrol döngüleri, rüzgâr konuk girişi, tahrik modülü, aerodinamik parametre hesaplama, bir hareket dinamik modülü ve belirli veya belirli olmayan durumlar için başka modüller ekleme imkanı içermektedir. Küçük İHA'lar için diğer simülatörlerle karşılaştırıldığında yörünge izleme hatasını azaltmak adına gelişmiş kontrol tekniklerini uygulama olasılığı sunulmuştur. Otopilot tasarım konseptlerinin ve kontrol stratejisinin geçerliliği Penguin BE modeli de dahil olmak üzere farklı model ve simülasyon sonuçları ile kanıtlanmıştır. Çıktı sonuçlarını daha iyi anlamak ve deneysel kazayı önlemek için görsel bir modül içermekte olan bu otopilot simülatörü, yörünge taşımacılığını başarıyla sağlamıştır.

Bodson (2003) çalışmasında irtifa, yön, yana kayma ve hız komutlarının izlenmesi için yeniden yapılandırılabilir uçuş kontrol sistemi önermektedir. Bu kontrol sistemi, İHA'ların komuta edilmesinde veya pilotların kullandığı uçak için otopilot görevi üstlenmesinde

kullanılmıştır. Önerilen sistem doğrusal olmayan F-16 simülasyon ortamında değerlendirilmiş ve değişen uçuş koşulları altında tutarlı performans sergilemiştir.

Borys ve Colgren (2005), İHA'larda bulunan otopilotlardaki gelişmeler üzerine bir derleme çalışması yapmışlardır. Özellikle İHA'lar için üretilmiş ticari otopilot sistemleri üzerinde durmuşlardır. Bu otopilotlar, görev profilinde ve uçuş değişimlerinde gerçek zamanlı kararlar alarak, İHA'ların akıllı olmalarını sağlamaktadır. Bu çalışmada, otopilot teknolojisindeki son gelişmeler, donanım ve çalışan sistemlerin prensipleri üzerinde durulmakta ve detaylıca anlatılmaktadır.

Capello, Guglieri ve Ristorto (2017) yaptıkları çalışmada, İHA'ların otopilotları için kontrol ve yol gösterme algoritmalarının uygulanması ve değerlendirilmesi üzerine çalışmışlardır. İHA'nın yol izleme kontrolü iki katmana ayrılabilir: tutum kontrolü için iç döngü, rota noktalarının takibi ve navigasyonu için istikamet, irtifa ve hız kontrolü için dış döngü. Çalışmada iki adet kontrol kuralı tanımlanmıştır: Biri hem iç hem de dış döngü için PID kontrolörü, diğeri ise adaptif ve PID kombinasyonundan oluşan kontrolördür. Yörünge takibi ve parametrelerin varyasyonu açısından iyi sonuçlar elde edilmiştir. Adaptif kontrol kuralları, kontrol sapmalarını yumuşatma, daha az salınım ve aksaklığı sağlamaktadır. Önerilen kontrolörler, kolayca yerleşik olarak uygulanabilir ve hesaplama açısından çok verimli olmaktadır. Algoritmaların değerlendirilmesi, Döngüde Donanım Simülasyonu (Hardware in Loop Simulation- HILS) platformunda değerlendirildiği için platform kurma süresini ve uçuş testleri esnasında prototipi kaybetme riskini azaltmaktadır.

Chao, Cao ve Chen (2016) tarafından yapılan çalışmada küçük sabit kanatlı insansız hava araçları incelenmiştir. İlk olarak, İHA'ların tarihi gelişiminden ve kategorizasyonundan bahsedilmekte, sonraki bölümlerde ise sırasıyla İHA'ların temel fiziksel özellikleri ve mekanik aksamı, kontrol mekanizmaları, otopilotlar için gerekli olan donanım elemanları ve yazılımlar ele alınmaktadır. Kontrol mekanizmaları ise, uzaktan control ve otopilot başlıkları altında incelenmektedir. Otopilotu geliştirmek ve PID denetleyicisinin kısıtlamalarını aşmak için uygulanan modern yöntemlerden olan bulanık mantık, yapay sinir ağı ve Linear Quadratic Gaussian (LQG) ve H_{∞} yöntemleri önerilmektedir.

Chen, H., Wang, X.-m., ve Li, Y. (2009), İHA'lar için otonom kontrol konusunda bir derleme çalışması sunmuşlardır. Otonom kontrol sistemi için uygun ve verimli bir mimari tasarlamak önemlidir. Sunulan çalışmaya göre, karmaşık kontrol mimari tasarım süreci, düşük seviyeden yüksek seviyeye, tam kontrolörden karar verme birimine kadar olduğundan, hiyerarşik mimari, gelişmiş İHA sistemi için en uygun yapıda olduğu belirtilmiştir. Otonom İHA'nın hiyerarşik mimarisinin üç seviyesi vardır: Yürütme Seviyesi, Koordinasyon Seviyesi ve Organizasyon Seviyesi. Yürütme Seviyesi olarak adlandırılan en düşük seviye, geleneksel kontrol algoritmalarını içermektedir. Sensörler ve aktüatörler aracılığıyla İHA'ya ara yüz sağlamaktadır. Organizasyon Düzeyi olarak adlandırılan en üst düzey; akıllı karar verme yöntemlerini, durum değerlendirmesini ve görev yönetimini içermektedir. Orta seviye olan Koordinasyon Seviyesi, diğer iki seviyenin eylemleri arasındaki arayüzü sağlayan seviyedir; geleneksel ve akıllı karar verme yöntemlerinin bir kombinasyonunu kullanmaktadır.

Cohen ve Bossert'e (2003) ait çalışmada, bulanık mantık otopilot tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan otopilot, Tower Trainer 60 İHA aracının irtifasını koruması açısından test edilmiştir. Test sonuçlarına göre minimum olmayan fazlı uçuş kontrol problemi ile mücadelede bulanık mantık ve PID kontrolörlerin ikisi de başarılıdır. Ancak bulanık mantık kontrolör, bozulmuş uçuş koşullarında daha güçlü performans sergilemektedir.

Czerniejewski ve diğerleri (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Yeni Paparazzi Simülatörünü (NPS) kullanmak için jPapaBench olarak jUAV modeli sunulmuştur. Paparazzi UAV (Paparazzi İHA), günümüzde kullanılan en popüler, açık kaynaklı İHA platformlarından biridir. PapaBench ve jPapaBench ise Paparazzi İHA tabanlı, İHA lar için gerçek zamanlı kıyaslama ortamlarıdır. Bununla birlikte hem PapaBench hem de jPapaBench, uygulamalarında işlevsel bir simülasyon kullanmayarak çok daha farklı görevleri test etmeye odaklanmaktadır. Çalışmada jPapaBench'in Paparazzi İHA'dan uygulama ve performans açısından oldukça farklı gösterilmiş ve buradan yola çıkarak, Java'da uygulanan Paparazzi İHA kodunun bir alt kümesinden oluşan jUAV modeli sunulmuştur. jUAV, Paparazzi İHA'nın çerçevesiyle çalışabilen daha kapsamlı bir jPapaBench sürümüdür. jUAV modeli, hava aracına gerçek dünya fizik simülasyonu sunarak otopilotun gerçek bir İHA'da gerektiği gibi yanıt vermesini gerektiren gerçek dağıtımlarda bulunan karmaşıklığı yeniden oluşturmayı amaçlamaktadır. Tam fizik simülasyonu ile bu entegrasyon, gerçek zamanlı Java topluluğunun, gerçek sistemlerde test edilmeden önce tasarımlarını doğrulamasına izin verecektir; burada arıza, potansiyel olarak yaşam kaybı veya pahalı ekipman anlamına gelebilmektedir.

Czerniejewski, Dantu ve Ziarek (2018) tarafından sunulan çalışmada, Paparazzi UAV adlı popüler İnsansız Hava Aracı otopilotu, Java'ya ve Java için Gerçek Zamanlı Spesifikasyon'a (RealTime Specification for Java-RTSJ) taşınmıştır. Simülasyonda, Gerçek Zamanlı İşletim Sistemi (Real Time Operating System-RTOS) zamanlaması kullanan bir Gerçek Zamanlı (RT), Java Sanal Makinesi (Java Virtual Machine-JVM) kullanılarak standart bir JVM ile karşılaştırıldığında öngörülebilir zamanlama elde edilebildiği gösterilmiştir. Zorlukları anlamak ve RT Java'da zamanında robot kontrol yazılımı tasarımını mümkün kılmak için ilk adım olarak, bir uçuş kontrol cihazının RT Java uygulamasını dahil etmek için önceki çalışmaları olan jUAV üzerine inşa edilmiştir. RT Java kullanımının, platform gereksinimleri belirtilerek ve çalışma zamanının görevleri doğru bir şekilde yürütmesine izin verilerek, zamanında manuel olarak uygulama yükünü hafifletebileceği varsayılmıştır. Daha sonra jUAV'a standart ve RT JVM'leri destekleyen Paparazzi İHA'sına dayanan bir Java İHA otopilotu sunulmuştur. Fiji VM üzerinde çalışan RT Java, gerçek zamanlı olmayan uygulamaya kıyasla RT görevlerinin yürütülmesi sırasında daha düşük sapma düzenlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Bu da mevcut algoritma uygulamalarının, zamanında spesifikasyon ve yürütmedeki statik ve çalışma zamanı desteğinden büyük ölçüde fayda sağlayabileceği hipotezlerini doğrulamıştır.

Çavuş ve Tuncer (2017) tarafından yapılan çalışmada İHA'larda rota planlama problemine çözüm getirmek amacıyla Yapay Arı Kolonisi yöntemi kullanılmıştır. Sunulan metod ile rota planlama problem için başarılı sonuçların elde edildiği yapılan deneysel çalışmalar ile gösterilmiştir.

David, Octavio, David ve Victor (2015) tarafından hazırlanan çalışmada bir otopilot mimarisi sunulmuştur. Sunulan otopilotun fonksiyonel mimarisi, hesaplama sürecini azaltarak mümkün olan minimum kontrolleri kullanmak üzere uçağın tam kontrolü için bulanık mantık kullanmaktadır. Bu sistem, uçağın tam kontrolü için 4 adet bulanık denetleyiciye sahiptir ve bu da hesaplama işlemini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca, sunulan sistemin maliyeti Micropilot veya Piccolo otomatik pilotlarla karşılaştırıldığında daha ekonomiktir. Sunulan otomatik pilot sistemi, farklı iklim koşullarında birden fazla uçuş saatinde test edilmiştir. Ayrıca, CIDFAE İHA'sında uygulanmıştır. Sistem beklenen davranışa sahiptir ve beklenen yörüngeyi izleme sürecinde uçak eksenlerinde stabilite sağlamıştır. Uçağın dış parametrelere rağmen sabit bir yüksekliği koruduğu gözlemlenmiştir. Sistemin önemli bir avantajı da sadece küçük uçaklarda test edilmiş ticari otomatik pilotların büyük çoğunluğunun aksine, önemli boyutta (4 metre kanat uzunluğu) uçaklarda uygulanmış ve test edilmiş olmasıdır.

De Bonfim Gripp ve Sampaio'ya (2014) ait çalışmada, yapısında herhangi bir değişiklik yapmadan daha basit, daha güvenilir bir dahili döngü PID Otopilotu üzerinde uygulanacak bir denetleyici, Model Tahmin Kontrol (Model Predictive Control- MPC) sistemi sunulmuştur. Önerilen sistem, kontrol taleplerinde küçük düzeltmeler yaparak ve kısıtlamalara uyum sağlayarak iç döngüye yeni yetenekler eklemiştir. Sunulan sistem, dahili otopilot durumlarını etkin bir şekilde genişleterek ve irtifa kısıtlamalarını uygulayarak birçok zorlu koşulda güvenli inişi sağlayabilmiştir.

Dubey, Singh ve Mangal (2012) çalışmalarında sabit kanatlı İHA'lar için geliştirilmiş otopilot sistemi Aves'i sunmuşlardır. Bu otopilot, boyutları ve operasyonel hızları değişen farklı hava platformlarına entegre edilmiştir. Aves'in kontrol mimarisi, birinci dereceden kontrol ve kararlılık türevleri içeren, PID'nin küçük modifikasyonundan oluşmaktadır. Bu çalışmada, doğrusal olmayan dinamik ters çevirme (Non-linear Dynamic Inversion- NDI) ve Lineer Karesel Regülatör (Linear Quadratic Regulator-LQR) kontrol mimarisi kullanılmış ve tam bir uçuşta mevcut kontrol yapısı ile karşılaştırma yapılmıştır.

İHA otopilotlarında bulanık mantık kontrolörü uygulanmış, biri istikamet değişikliğini (yatay düzlem kontrolörü) sağlamak, diğeri ise irtifa (dikey düzlem kontrolörü) değerlerini kontrol etmek için iki adet bulanık kural seti ile gerçekleştirilir. Dziuk ve Jamshidi (2011) tarafından sunulan çalışma, bulanık mantık kontrollü İHA otopilotları konusunda genel bir bakışın yanı sıra, bulanık C-Ortalama kümelemesinden (C-Means clustering) hem yatay, hem de dikey düzlem denetleyici için giriş ve çıkış üyelik işlevlerinin seçilme işlemi sunulmaktadır. Aynı zamanda, süreçlerin doğrulanması için denetleyicilerin örnek bir uygulamasını ve üyelik işlevlerinin oluşturulması için C-Ortalama kümelemesinin kullanımının iyi bir yöntem olduğunu da kanıtlamaktadır. Çalışmada sunulanlar, başarılı bir bulanık mantık otopilotunun geliştirilmesi ve uygulanması için kritik öneme sahiptir.

Elbatal, Elkhatib ve Youssef (2020) sundukları çalışmada, Aerosonde simülasyon modelini, Simulink/MATLAB yazılımı kullanarak tasarlamışlardır. Aerosonde simülasyon modelini kullanan iki uçuş kontrol yöntemi önerilmektedir. Bu yöntemlerden biri genetik algoritma kullanan, kendi kendini uyarlayan PID, diğeri ise ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Interface System) kontrolörüdür. PID, genetik algoritma tarafından kontrol edilmekte ve İHA'nın

kontrol parametrelerini optimize etmek için otopilot olarak kullanılmaktadır. ANFIS, sinir ağı kullanılarak ayarlanmış bulanık mantık kontrolörüne dayanmaktadır. Bu iki yöntem kıyaslandığında, ANFIS'in özellikle rüzgârlı hava koşullarında, daha robust (güçlü) ve sağlam bir yapıda olduğu belirtilmiştir.

Erdos ve Watkins (2008), Avustralya'da yapılan arama-kurtarma yarışması için geliştirdikleri insansız hava aracının otopilotu üzerine bir çalışma sunmuşlardır. Bu yarışma, İHA'ların arama-kurtarma faaliyetlerini otonom bir şekilde tamamlama yeteneğini ölçmek için yapılmaktadır. Bu yarışmada İHA'lardan, arazide kaybolan insanı görüntü işleme teknikleri kullanarak tespit etmesi ve bu kişiye yardım ulaştırması beklenmektedir. İHA'ların havalanma, uçuş ve tekrar yere iniş işlemlerini otonom yapması gerekmektedir. Bu çalışmada, otopilotun İHA platformunda bulunan elektronik aksam ile tam entegrasyonu amaçlanmaktadır. Yarışmada kullanılan İHA'ların teknik özellikleri verilmiştir. Bu teknik özelliklere sahip İHA'lar uzaktan uçuş denetleyicisine entegre edilmekte ve otonom bir şekilde uçuşunu gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada kullanılan İHA'dan beklenen dönüş, saha, rakım, rüzgâr hızı ve navigasyon performansı ile önceki performanslar karşılaştırılmış ve tatmin edici sonuçlara ulaşılmıştır.

Farras, Trilaksono ve Putra (2015) tarafından hazırlanan çalışmada, sabit kanatlı İHA için komut filtreli geri adımlamalı (backstepping) kontrolör kullanılarak geliştirilmiş, görsel tabanlı otomatik pilot denetleyicisi sunulmaktadır. Çalışmada, etkin denetleyici uygulamasını sağlamak için donanım ve yazılım ortamı geliştirilmiş ve yapılandırılmıştır. Mikrodenetleyici ile görüntü işleme ve HILS sistemi arasındaki veri iletimi etkin bir şekilde çalışmaktadır. Görsel tabanlı otopilot denetleyicisi, kamerayı her zaman hedefe doğru yönlendirmek, kamera dengelemesini sağlamak, ayrıca nesneyi her zaman takip etmek ve İHA'nın hareketlerini kontrol etmek üzere geliştirilmiştir.

Guanglin, Rujun ve Shi (2007), küçük İHA'ların otopilot sisteminde bulunan merkezi denetleyicinin navigasyon ve kontrol algoritmalarına çok zaman harcadığını gözlemlemiş ve buna ek olarak sensörlerden gelen bilgilerle merkezi denetleyicinin verimliliğinin iyice düştüğünü belirtmişlerdir. Bilgi işleme problemini çözmek ve sistemi etkin hale getirmek için ikinci bir yonga olarak FPGA entegre etmişlerdir. Bu otopilot sisteminde, açık kaynak kodlu, üreticiden bağımsız, güvenilirliğinin yüksek olması ve kolayca konfigüre edilmesinden dolayı Linux işletim sistemi kullanılmıştır.

Gunes, Sel ve Kasnakoğlu (2018) sundukları çalışmada sabit kanatlı bir uçak için bir Çıktı Geri Besleme Ayrık Zamanlı Kayar Mod Kontrolü (Output Feedback Discrete Time Sliding Mode Control- ODSMC) denetleyicisi geliştirmiştir. Çalışmada ilk olarak küçük sinyal modelleme kullanılarak, Apprentice S sabit kanatlı uçakları modellenmektedir. Çıktı geribildirimi, Kayar Mod Kontrolü (Sliding Mode Control-SMC)'nün etkinliği Matlab/SIMULINK ortamında gerçekleştirilen simülasyonlar aracılığıyla ölçülmüştür. Önemli ölçüde bozulma reddi elde edilmiştir.

Hirokawa ve Sato (2004) yaptıkları çalışmada, Katsayı Diyagram Yöntemi (Coefficient Diagram Method-CDM) kullanarak İHA'nın yanal otopilot dizaynını sunmuşlardır. CDM cebirsel kontrol sistem tasarımı yaklaşımıdır. Bu tasarım, sistem karakteristiğinin polinom katsayısını çizen, katsayı diyagramı ile gerçekleştirilir. CDM ile tasarlanan kontrolörün

başarısı ve performansı altı serbestlik derecesine sahip (six-degrees-of-freedom-6DoF) simülasyon ortamında onaylanmıştır.

Hoffer ve diğerleri (2014) küçük, düşük maliyetli İHA'lar için mevcut yöntemlerin ve sistem kimliği uygulamalarının araştırılmasını ve sınıflandırılmasını sunmuşlardır. Ayrıca, İHA'lar için pratik uygulamalar hakkında derinlemesine tartışmalarla birlikte, sistem kimliği süreci hakkında literatür araştırması sunulmuştur. Bu derleme çalışmasında, sistem kimliği araştırmasında İHA'lar; helikopter, sabit kanatlı, çoklu motorlu, kanat çırpma kanadı ve havadan hafif olmak üzere beş grubuna ayrılmıştır.

Jeevan, Narahari ve Sriram (2018) çalışmalarında Casper olarak adlandırılan sabit kanatlı bir İHA tasarlamışlardır. İHA ve adım kontrol otopilotunun geliştirilmesi ve simülasyonu için entegre bir yaklaşım Digital DATCOM, MATLAB ve Simulink Aerospace Blockset kullanılarak gösterilmiştir. Ayrıca, İHA'nın modelleme ve simülasyon aşamaları ve durum uzay yöntemleriyle otopilotun, perde kontrol alt sisteminin geliştirilmesi sunulmuştur.

Kitsios, Dimopoulos, Panagiotou ve Yakinthos (2020) çalışmalarında izole bölgelere ve dağınık adalara birkaç kilogram kargo ve hayat kurtarıcı malzemeyi hızlı bir şekilde teslim etmek amacı ile taktik bir İHA'nın aerodinamik tasarım prosedürünü sunmuşlardır. Sunulan tasarım, geniş bir iç hacmi yüksek aerodinamik verimlilikle birleştirdiği için Harmanlanmış Kanat-Gövde konfigürasyonuna dayanmaktadır. Harmanlanmış Kanat Gövdeli İHA'nın boyutsal uçuş dinamikleri analiz edilmiş ve H_∞ geri bildirim yöntemi kullanılarak otopilot tasarlanmıştır. Yapılan çok noktalı doğrusal analiz ile sunulan İHA otopilot tasarımının uygunluğu ve etkinliği doğrulanmıştır.

Koch, Mancuso, West ve Bestavros (2019), düzgün çevre koşullarında otopilotlar için olağanüstü performans sergileyen PID denetleyicilerin, öngörülemeyen ve zorlu ortamlar için yetersiz kalmalarından yola çıkarak bir Akıllı Uçuş Kontrol Sistemi (AUKS) önermişlerdir. Ayrıca, Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning-RL) ile eğitilmiş AUKS'nin davranış kontrolünün performans ve doğruluğunu analiz etmişlerdir. Bu çalışmayı yapabilmek için, açık kaynak ve yüksek kalitede simülasyon ortamı geliştirmişler ve uçuş kontrolü için RL yöntemini kullanmışlardır. PID denetleyicisi ve RL algoritmalarıyla geliştirilmiş AUKS performansı değerlendirildiğinde, AUKS'nin yüksek hassasiyetli kritik uçuş yeteneğine sahip olduğu gözlenmiştir.

Kortunov, Mazurenko, Gorbenko, Mohammed ve Hussein'e (2015) ait çalışmada, modern İHA otopilotlarının temel işlevsel özellikleri ve ayırt edici uygulama özellikleri tartışılmıştır. Sekiz farklı otopilot ele alınarak bunların performansları, iletişim arayüzleri, kontrollü araç türleri ve bir dizi desteklenen fonksiyonları karşılaştırılmıştır. Çalışmada, farklı üreticiler tarafından sağlanan bu modern otopilotların işlevsellikleri analiz edilmiş, teknik ve matematiksel nitelikleri üzerine tartışmalar sunulmuştur.

Li, Liao, Sun, Li ve Song (2006) yaptıkları çalışmada, çoklu İHA'ların yakın oluşum kontrolünü incelemişlerdir. Değişen uçuş koşulları altında, yakın oluşumun manevra gerçekleştirebilmesi için robust algoritmalar öne sürülmüştür. Yakın oluşum girdap meydana getirmektedir. Bu girdaptan kaynaklanan sistem belirsizliklerini ve dışsal etkileri

aşmak için Lyapunov kararlılık teorisiyle ispatlanan etkin bir otopilot kontrol koşulu önerilmiş ve simülasyon sonuçları ile bu koşulların doğruluğu gösterilmiştir.

Liu, Egan ve Santoso (2015) hazırladıkları çalışmada dümen veya yükseltici bulunmayan yükselticiler kullanılarak kontrol edilen alışılmadık bir model ölçekli İHA için modelleme, otopilot tasarımı ve nihai saha test sonuçlarını sunmuşlardır. Gerçek zamanlı uçuş verilerine dayanarak, hava hızı, yön ve yükseklik kontrolü için doğrusal modeller elde edilmiş ve bunlar daha sonra beş Orantılı Integral Türev tabanlı (Proportional Integral Derivative- PID) kontrolörü tasarlamak için kullanılmıştır. Kontrolörler, gerçek bir saha testinde İHA üzerinde simüle edilmiş ve uygulanmıştır. İnce ayar süreci sayesinde kontrolörler yön, irtifa tutma, hava hızı regülasyonu ve dönüş koordinasyonunda tatmin edici uçuş performansları göstermişlerdir.

Lu, Zhen ve Hao (2020) yaptıkları çalışmada, sabit kanatlı İHA için doğrusal olmayan, robust otopilot tasarımı sunmuşlardır. Belirsizlikler ve doğrusal olmayan durumlar ile eş zamanlı başa çıkabilmek için geri adımlamalı kontrol (backstepping control) metodu uygulanmıştır. Doğrusal olmayan temel kontrolörler, hız, irtifa, dönüş açısı komut takibi ve yan kayma açısını düzenlemek için geri adımlamalı kontrol yöntemine dayalı, yinelemeli olarak oluşturulmuştur. Doğrusal olmayan gürültü gözlemcileri, rüzgâr kaynaklı ve aerodinamik belirsizliklerin oluşturduğu toplu gürültülerin tahminlerini almak için dizayn edilmiştir. Simülasyon sonuçları, uygulanan yöntemin komut takibi hassasiyeti, ayrıca gürültülere ve belirsizliklere karşı robust olması açısından etkin olduğunu ortaya koymuştur.

Lu ve Geng (2011), İHA'ların uçuş sistemlerinin kontrol kurallarını tasarlamak ve test etmek için etkin bir yöntem sunmayı amaçlamışlardır ve gerçek zamanlı Döngüde Donanım Simülasyonu (Hardware in Loop Simulation- HILS) ortamı geliştirmişlerdir. İHA'nın matematiksel modeli baz alınarak, hiyerarşi ve modülerlik ilkesi ışığında, İHA'nın lineer olmayan modeli Matlab/Simulink ortamında tasarlanmıştır. Bütün HILS sistemi, xPC'nin hedef sistemiyle tamamlanmış ve İHA'nın verileriyle konfigüre edilmiştir. Sonuçlar, gerçek uçuş testi ile karşılaştırıldığında, simülasyonun rasyonelitesini, modelleme teorilerini ve yöntemini doğrulamaktadır. Bu simülasyon sistemi, İHA'ların kontrol kurallarının tasarlanması ve test edilmesinde önemli bir rol oynamakta ve İHA'nın kontrol kurallarının değerlendirilmesinde iyi bir etki yaratmaktadır.

Maleki, Ashenayi, Hook, Fuller ve Hutchins (2016), İHA'lardaki otopilotların fiziksel olarak kullanılmadan önce, kontrol parametrelerinin performansını doğrulamak için adaptif bir model öne sürmüşlerdir. Uçuşu modellemek için yapay sinir ağı ve PID denetleyicisini optimize etmek için ise Genetik Algoritma kullanılmıştır. Test uçuşlarının deneysel sonuçları, sunulan yöntemin uygulanabilir yapıda olduğunu göstermiştir.

Oktay, Konar, Onay, Aydın ve Mohamed (2016), İHA'ların otonom uçuş performansını geliştirmek için eş zamanlı küçük bir İHA ve otopilot sistem tasarımı üzerine çalışma yapmışlardır. Sabit kanatlı bir uçağın dinamik modellenmesi ayrıntılı olarak sunulmuştur. Üretilen İHA'nın, çeşitli uçuş koşulları altında lineerleştirilmiş durum- uzay modeli verilmiştir. Elde edilen veriler, literatürdeki verilerle doğrulanmaktadır. Bu çalışma için PID tabanlı hiyerarşik otopilot sistemi seçilmiştir. Performansı artırmak için stokastik

optimizasyon metodu seçilmiştir. Eş zamanlı tasarım fikri sayesinde, önemli ölçüde uçuş performansı elde edilmiştir.

Rasitha, Balasubramanian ve Priya'e (2015) ait çalışma dördey temelli kapalı döngü tutum kontrolünü kullanmışlardır. Uçağın yönlendirme kontrolü, dördey esaslı geribildirimle gerçekleştirilmiştir. Dördey tabanlı kapalı döngü kontrolünün kullanılmasındaki en büyük avantajlardan biri, sensörlerden kaynaklanan hatadan bağımsız olmasıdır. Çalışmanın temel amacı, Oransal İntegral (Proportional Integral-PI) kontrolör ve Kayar Mod Kontrolör (Sliding Mode Controller-SMC) ile doğrusal olmayan İHA simülasyon modeline dördey tabanlı geri besleme yaklaşımı getirmektir. Belirli bir kontrol tekniğinin seçimi genellikle İHA kategorisine ve görev gereksinimlerine bağlıdır. Bu makalede, SMC tekniği ve PI kontrolörü kullanılarak bir yanal yönlü otomatik pilot tasarımı sunulmuştur. SMC kullanmanın avantajı, parametre belirsizliklerini ve dışsal bozuklukları tolere edebilmesidir. Bulanık mantık burada SMC ve PI kazançlarını tanımlamak için kullanılmıştır. PI ve SMC gibi iki kontrolörün performansı, dördey temelli geri besleme yaklaşımı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuç analizi, SMC'nin bunlar arasında sağlam bir kontrolör olduğunu göstermektedir.

Rao ve Ghose (2014) yaptıkları çalışmada, merkezi olmayan kayan kipli mod (Sliding Mode Controller-SMC) kontrolörler, lidersiz sürü İHA'ları, rakım ve yön açısı konusunda bir uzlaşma oluşturmak için birbirine bağlanmaktadır. Sunulan teorik ve simülasyon sonuçlarına göre, önerilen algoritmalarla bütün üyeleri otonom olan, bağlantılı İHA sürüsü meydana getirmektedir. SMC tabanlı otopilot veya konsensüs denetleyicilerle, her bir İHA bozulmalara ve parametre varyasyonlarına karşı duyarsız hale gelmektedir. YF-22 uçağından alınan, birleştirilmiş doğrusal olmayan dinamik model kullanılarak, kontrolörler tasarlanmıştır. İleriki çalışmalarda denetleyicilerin, İHA sürüsünün sert rüzgârlara karşı robust olmasını sağlayacak şekilde tasarlanması gerektiğini belirtmişlerdir.

Sagahyoon, Jarah ve Hadi (2004) İHA kontrolörünün tasarımını, modellemesini, uygulanmasını ve testi üzerine çalışma yapmışlardır. Kontrolör, bağımsız gömülü sistem temelli, tek bir denetleyiciden oluşmaktadır. Sistem, irtifa, hız, yatma, dönme ve konum gibi önemli parametreleri izlemek ve raporlamak için bir sensör paketi, GPS ve RF sistemi kullanmaktadır. İstenen uçuş operasyonunu gerçekleştirmesi ve ihtiyaç duyulan otonom özeliğe sahip olması için gömülü yazılım algoritması geliştirilmiştir.

Schwarzbach, Putze, Kirchaessner ve Schoenermark (2009), uzaktan algılama konusunda bilimsel çalışma yapmak için Paparazzi otopilotunu "Stuttgarter Adler" isimli İHA'ya entegre etmişlerdir. Otopilotun özel görev ihtiyaçlarına uyarlanabilmesi için açık kaynak yaklaşımına sahip olan Paparazzi sistemi önerilmiştir. Görüntü alma esnasında, uçağın robust(güçlü) ve hassas bir şekilde kontrolünü sağlayan otopilota ihtiyaç duyulmaktadır. Bu İHA radyometrik araştırma yapmak ve tarımda uygulanan haritalandırma ve ölçüm yapmak için çevreyi uzaktan algılamaktadır. Test uçuşları, uçağı stabilize etmek ve kamera vb. araçları kontrol etmede iyi sonuçlar vermektedir.

Sharma (2014), İHA'ların navigasyonu ve kontrolünün zorlu problem olduğunu, Reinforcement Learning (RL)'nin iyi bir çözüm olabileceğini belirtmiştir. İHA'ların otopilot tasarımı için Fuzzy Q Learning (FQL) tabanlı RL önerilmiştir. FQL, İHA'nın istenen

yörüngede hareket etmesini sağlamak için doğru kontrol hareketlerini öğrenmektedir. Önerilen RL tabanlı İHA'nın, rakım kontrolü, yörünge izleme ve keşif uçuşu olmak üzere 3 aşamalı testi yapılmış ve iyi sonuçlar verdiğini rapor edilmiştir. İHA'nın otonom navigasyon ve kontrolü için FQL önerilmektedir.

Shengyi, Kunqin ve Jiao (2009) yaptıkları çalışmada, İHA'nın boylamsal hareketi için self-adaptif bulanık PID kontrolör tasarlamışlardır. PID denetleyicileri, zamanla değişen lineer olmayan sistemlerde daha az verimle çalışmaktadır. Bu kısıtı aşmak için kendi kendine uyarlanabilir (self-adaptive) bulanık PID denetleyicisi önerilmektedir. Bu kontrol yapısı, klasik PID kontrol ile bulanık PID kontrol metodunun birleşiminden oluşmaktadır. Kendi kendine uyarlanabilir bulanık PID ile klasik PID denetleyicisi kıyaslandığında, bu yöntemin sistemin adaptif kapasitesini geliştirdiği ve daha dinamik bir performans sergilediği görülmüştür. Simülasyon sonuçlarına göre adaptif bulanık kontrol metodu sistemin adaptif kapasitesini etkili bir şekilde artırdığı ve daha iyi dinamik performans sergilediğini göstermiştir. Aynı zamanda, bu geliştirilmiş kontrolör, klasik PID kontrolörünün sahip olduğu basit yapısı ve kullanım kolaylığını miras almaktadır. Bu kontrolör, İHA'nın karmaşık çevre şartlarına ve görevlerine, daha kolay uyum sağlamasını gerçekleştirmektedir.

Shim, Kim, Chung ve Sastry (2001) yaptıkları çalışmada, işbirlikçi çok ajanlı senaryolar için rotor tabanlı İHA'ların (rotorcraft-based unmanned aerial vehicles-RUAVs) tasarımında hiyerarşik kılavuz ve kontrol sistemini önermişlerdir. Çok ajanlı sistemin problemleri, dağıtılmış hiyerarşik yapı ile çözülmektedir. Bu yapı, birden çok ajan için, soyut görev komutlarını gerçek zamanlı kontrol sinyallerine dönüştürmektedir. Sunulan bu tasarım Berkeley UAV, Ursa Magna 2 ve farklı dört adet İHA üzerinde denenmiş, yol noktası takibi ve peşinden koşma oyunları gibi kapsamlı testlerden başarı ile geçtiği gösterilmiştir.

Stilwell (2001) çalışmasında durum uzayının enterpolasyonu için bir prosedür ve doğrusal zamanda değişmeyen kazanç planlı sentez kontrolör sunmuştur. Enterpolasyon yöntemi, durum uzayının Youla parametreleştirilmesine dayanmaktadır ve doğrusal olmayan bir sistemin her bir çalışma noktasında lokal olarak stabilize eden kazanç programlı kontrolör üretmektedir. Enterpolasyon yöntemi aynı zamanda, doğrusal zamanda değişmeyen kontrolörlerin tasarımı için gerekli olan çalışma noktalarının seçiminde rehberlik etmektedir.

Stojcsics ve Molnar (2011), İHA'larda navigasyon kontrolörlerin ayarlanmasının nispeten uzun bir süreç olduğunu belirtmişlerdir. Ayarlama işleminin, sakin havalardan başlatılması ve İHA'nın verilen hava limitlerine ulaşıncaya kadar rüzgâr seviyesinin artırılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışma, küçük boyutlu İHA'lar için uzun ayarlama zamanını düşüren bir yöntem geliştirmeyi amaçlamaktadır. Döngüde Donanım Simülasyonu (Hardware in Loop Simulation- HILS) ortamında doğrulama işlemi yapılmaktadır. Test ile simülasyon ortamında yapılan uçuşlar kıyaslanmakta ve sonuçlar sunulmaktadır. HILS uygulanabilir bir yöntem olduğunu ve bu sayede zaman tasarrufu yapılabileceğini, olası bir çarpışma durumunda İHA'nın zarar görmesinin engellenebileceğini belirtmişlerdir.

Theile, Dantsker, Nai, Caccamo ve Yu, (2020) yaptıkları çalışmada İHA'lar için güvenilir ve modüler bir otopilot yazılımı sunmuşlardır. Bir otopilotun görevi, basit yol takibi görevinden, karmaşık manevralara veya uyarlanabilir görev izlemeye kadar değişebilmektedir. Çalışmada sunulan uavAP otopilotu, C++'da nesne yönelimli bir tasarım

benimsenerek, merkezi olmayan bir şekilde tamamen modüler olmayı hedeflemektedir. Bu otopilot, global ve lokal planlayıcı ve kontrolörden oluşan kontrol yığını görevlerini uygulamaktadır.

Tu ve Du (2010), birçok ülkede küçük İHA'lara uygun otopilot üretildiğini ve bu otopilotların piyasaya sürüldüğünü belirtmişlerdir. Bu otopilotları üreten firmaların çoğu, ARM, SCM veya ikisinin kombinasyonundan oluşan işlemcileri tercih etmekte ve çok azı DSP işlemcileri kullanmaktadır. Bu çalışmada, küçük bir İHA için tasarlanan otopilot sistemi için DSP işlemcisi tercih edilmektedir. Bütün işlem aşamaları detaylıca ve yazılım hata ayıklama işlemleri ise özet olarak anlatılmaktadır.

Xie, Flores-Abad, Martinez ve Ma (2011) yaptıkları çalışmada, gövde olarak Raptor 90 RC helikopter, uçuş kontrol sisteminin çekirdeği olarak MP2128^{HEIL} otopilot kartı kullanarak otonom bir İHA geliştirdiler. Helikopter ve otopilot birbirine uyumlu olacak şekilde tasarlanmadığından dolayı, bu iki cihazın entegrasyonu çok büyük çaba gerektirmiştir. Helikopter gövdesinin titreşimlerinden tümleşik bileşenleri izole edebilmek için önemli mekanik ve elektronik parçalar tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bu çalışmada, elektro manyetik parazit azaltılmış, istasyon ile helikopter arasında iletişim sağlanmış ve bu sayede güvenli otonom uçuşlar gerçekleştirilmiştir.

Yadav ve Gaur (2014) yaptıkları çalışmada, elektronik valf kontrol sistemi (EVKS) kullanarak hızı ve rakımı kontrol eden İHA'nın otopilotunun tasarımı üzerinde durmuşlardır. EVKS, uygun miktarda hava akışını sağlamaktadır. Hava miktarının kontrolünü sağlamak için valfin pozisyonun kontrol eden DC Servo motor kullanılmaktadır. Kararlı bir otopilot sistemi için Yapay Zekâ (YZ) denetleyiciler tasarlanmıştır ve en çok kullanılan (Proportional Integral-PI) denetleyicilerle kıyaslanmıştır. Yakıtı ve enerjiyi verimli kullanmak, hava kirliliğini azaltmak EVKS'nin hedefleri arasında yer almaktadır ve bu çalışmada İHA'nın hızına bağlı olarak hesaplanan enerji verimliliği sunulmaktadır.

Yamasaki, Balakrishnan ve Takano (2012) entegre kılavuz ve kontrol yaklaşımlarından faydalanarak otopilot şeması önermişlerdir. Entegre kılavuz ve otopilot şemasını geliştirmek, belirsiz kayan yüzeyleri tahmin etmek için yüksek dereceli kayan mod (high-order sliding mode- HOSM) gözlemcisi içeren ikinci dereceden kayan mod (second-order sliding mode -SOSM) seçilmiştir. Önerilen yöntemin potansiyeli, gerçek uçuş ile simülasyon performansı kıyaslanarak gösterilmiştir.

Yang, Lin ve Chen (2016), İHA'lardan olan multikopterlerin sahip olduğu otopilotların performanslarını incelemişlerdir. Basit yapıları ve düşük maliyetleri ve kullanım kolaylığından dolayı multikopterlerin popüleritesinin yükseldiğini ve bu araçların, akademik çalışmalar ve ticari faaliyetlerde sıklıkla kullanıldığını belirtmişlerdir. İHA'ların temel bileşenlerinden olan otopilotlar, platform sabitleme, uçuş ve görev planını oluşturma gibi görevleri otonom bir şekilde gerçekleştirmektedir. Öncelikle, otopilotların gelişimi ve konfigürasyonu anlatılmaktadır. Sonrasında ise, piyasada kullanılan popüler otopilotlar analiz edilmekte ve performansları karşılaştırılmaktadır. Multikopterler, otopilotların robust oluşunu ve güvenilirliğini test etmek için farklı ortamlarda kullanılmışlardır.

Yardımcı (2019) tarafından hazırlanan çalışmada, Türk Sivil Havacılığı yönünden İHA'lara ilişkin genel düzenlemelerin ulusal mevzuat kapsamında hukuki açıdan bir değerlendirilmesi sunulmuştur. Ortaya konan bu literatür araştırmasında, İHA'ların ortaya çıkışı ve tanımı, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün bu konudaki görev ve yetkileri, İHA'ların sınıflandırılması, İHA'ların lisanslandırılması ve İHA kayıt sistemi konuları ele alınmıştır.

Yu, Xu ve Zhi (2011) tarafından hazırlanan çalışmada Terminal kaydırma modu (Terminal Sliding Mode -TSM) kontrolüne dayanan bazı İHA'lara yönelik entegre otopilot tasarımı için bir şema önerilmiş, sapma düzleminde İHA'ya entegre otopilot tasarımı için bir plan dikkate alınmıştır. Sapma düzleminin entegre bir otopilot modeli, geri adımlama fikrine ve terminal kaydırma modu kontrolüne dayanarak formüle edildiğinde, yönlendirme/kontrol yasası tasarlanmaktadır. Entegre tasarım şemasının etkinliğini ve doğruluğunu göstermek için, manevra hedeflerine karşı bazı İHA simülasyonları yapılmış, simülasyon sonuçlarına göre, isabetin yüksek oranda gerçekleştiği gösterilmiştir.

Zareb, Nouibat, Bestaoui, Ayad ve Bouzid (2020) yaptıkları çalışmada, Micro Quadrotor İHA'nın akıllı otopilotunun çevrim dışı tasarım stratejisini sunmuşlardır. Bu otopilot, x ve y hareketleri için iki bulanık kontrolörün hibridleştirilmesinden ve davranış/irtifa hareketleri için dört adet klasik PID kontrolöründen oluşmaktadır. Genetik algoritmalar, altı adet kontrolörün parametrelerini uyarlamak ve optimize etmek için kullanılmaktadır. Bu sayede, enerji tüketimi azaltılmakta ve en iyi performansın sergilenmesi sağlanmaktadır. Ayrıca global optimum parametreleri sağlamak için BI-GA adlı genetik algoritma kullanılmaktadır. Bu tasarım stratejisi, farklı Quadrotor araçlarda kullanılabilir. Başlangıçta, kontrolör parametrelerini almak için simülasyon testleri AR. Drone V2 adlı ticari quadrotor üzerinde yapılmıştır. Son olarak, bu parametreler, robot işletim sistemi kullanan bir deney üzerinde test edilmiştir. Deneylerin sonuçlarına göre, akıllı PID otopilotu tasarımında kullanılan genetik algoritmaların etkinliği onaylanmıştır.

2. BULGULAR

Çalışmada ele alan yayınların basım yıllarına göre sayıları, yayın isimleri ve referans numaraları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yıllara Göre Yayın Sayıları, Referans Numaraları ve Yayın İsimleri

Yıl	Yayın Sayısı	Referans No ve Yayın İsmi
2001	2	[46] "Multi-functional autopilot design and experiments for rotorcraft-based unmanned aerial vehicles"
		[47] "State-Space Interpolation for a Gain-Scheduled Autopilot"
2002	1	[5] "Combined adaptive autopilot for an UAV flight control"
2003	2	[9] "Reconfigurable Nonlinear Autopilot"
		[14] "Fuzzy Logic Non-Minimum Phase Autopilot Design"
2004	2	[27] "Lateral Autopilot Design For A Uav Using Coefficient Diagram Method"
		[42] "Design and implementation of a low cost UAV controller"
2005	1	[10] "Advances in Intelligent Autopilot Systems for Unmanned Aerial Vehicles"
2006	1	[34] "Robust autopilot for close formation flight of multi-UAVs"
2007	2	[12] "Autopilots for Small Fixed-Wing Unmanned Air Vehicles: A Survey"
		[25] "Application of FPGA in Small UAV Autopilot Based on Embedded Linux System"
2008	2	[4] "Flight-Testing of a UAV Aircraft for Autonomous Operation using Piccolo II Autopilot"

		[23] "UAV Autopilot Integration and Testing"
2009	3	[13] "A Survey of Autonomous Control for UAV"
		[43] "Acquisition of High Quality Remote Sensing Data Using a UAV Controlled by an Open Source Autopilot"
		[45] "Design and Simulation of the Longitudinal Autopilot of UAV Based on Self-Adaptive Fuzzy PID Control"
2010	1	[50] "The Design of Small UAV Autopilot Hardware System Based on DSP"
2011	5	[17] "Fuzzy Logic Controlled UAV Autopilot Using C-Mean Clustering"
		[37] "Real-time Simulation System for UAV Based on Matlab/Simulink"
		[48] "Fixed-wing small-size UAV navigation methods with HIL simulation for AERObot autopilot"
		[51] "Development of a Small UAV with Autopilot Capability"
		[56] "A TSM Control Scheme of Integrated Guidance/Autopilot Design for UAV"
2012	3	[6] "Fuzzy-Genetic Autopilot Design for Nonminimum Phase and Nonlinear Unmanned Aerial Vehicles"
		[20] "Design and Comparison of Control Schemes for UAV Autopilot"
		[53] "Integrated guidance and autopilot design for a chasing UAV via high-order sliding modes"
2013	2	[3] "Preliminary UAV Autopilot Integration and In-Flight Testing"
		[28] "Small Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle System Identification: A Survey and Categorization"
2014	5	[1] "Autopilot Fusion with External Pilot Inputs for Enhancing Flight Safety of UAVs"
		[19] "Automatic Landing of a UAV using Model Predictive Control for the surveillance of Internal Autopilot's Controls"
		[40] "Sliding Mode Control-Based Autopilots for Leaderless Consensus of Unmanned Aerial Vehicles"
		[44] "Fuzzy Q learning based UAV autopilot"
		[52] "AI-based adaptive control and design of autopilot system for nonlinear UAV"
2015	5	[18] "Analysis, Design and Implementation of an Autopilot for Unmanned Aircraft - UAV's Based on Fuzzy Logic"
		[24] "Implementation of Image-Based Autopilot Controller using Command Filtered Backstepping for Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle"
		[33] "Review and Comparative Analysis of Mini and Micro UAV Autopilots"
		[35] "Modeling, Autopilot Design, and Field Tuning of a UAV With Minimum Control Surfaces"
		[41] "Lateral-Directional Autopilot Design of Unmanned Aerial Vehicles Using Quaternion Feedback Sliding Mode Approach"
2016	5	[7] "An Intelligent Autopilot System that Learns Piloting Skills from Human Pilots by Imitations"
		[15] "jUAV: A Java Based System for Unmanned Aerial Vehicles"
		[38] "A reliable system design for nondeterministic adaptive controllers in small UAV autopilots"
		[39] "Simultaneous small UAV and autopilot system design"
		[54] "Survey of autopilot for multi-rotor unmanned aerial vehicles"
2017	4	[8] "Improved Modular UAV Autopilot Simulator for Pinguin BE Aircraft"
		[11] "Guidance and control algorithms for mini UAV autopilots"
		[17] "İnsansız Hava Araçları İçin Yapay Arı Kolonisi Algoritması Kullanarak Rota Planlama"
		[23] "İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu"??? (bu kaynak sadece giriş kısmında yer alıyor)
2018	4	[2] "İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Sanal Gerçeklik Yazılımı ile Modellenmesi ve Farklı Kullanıcılar için Performans Analizleri"
		[16] "jUAV: a Real-Time Java UAV Autopilot"
		[26] "Stabilizer Autopilot Design For Fixed Wing UAV Using ODSMC"
		[29] "Development of Pitch Control Subsystem of Autopilot for a Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle"
2019	2	[32] "Reinforcement Learning for UAV Attitude Control"
		[55] "İnsansız Hava Araçlarına Türk Mevzuatından Bir Bakış"

2020	5	[22] “Intelligent Autopilot Design Based on Adaptive Neuro -Fuzzy Technique and Genetic Algorithm”
		[31] “Longitudinal Dynamics Analysis and Autopilot Design for a fixed-wing, tactical Blended-Wing-Body UAV”
		[36] “Nonlinear Autopilot Design for Fixed-Wing UAV Using Disturbance Observer Based Backstepping”
		[49] “uavAP: A Modular Autopilot Framework for UAVs”
		[57] “Evolutionary Autopilot Design Approach for UAV Quadrotor by Using GA”

Tablo 2’de, İHA’lardaki otopilot sistemleri konusunda yapılmış ele alınan yayınların kapsamları doğrultusunda bir analiz sunulmuştur. Bu analize göre, incelenen yayınların konu kapsamları kategorize edilmiş ve o kategorideki yayınların referans numaraları verilmiştir.

Tablo 2. Konu Kategorileri ve Referans Numaraları

Kategoriler	Referans Numaraları
Test Çalışmaları	[1], [2], [3], [4], [23], [42], [51]
Dizayn ve Modelleme Çalışmaları	[1], [2], [6], [11], [14], [18], [20], [23], [24], [25], [26], [27], [31], [35], [36], [38], [39], [40], [41], [42], [45], [46], [47], [49], [50], [51], [52], [53], [56], [57]
Survey Çalışmaları	[10], [12], [13], [28], [33], [54], [55]
Tuning Çalışmaları	[3], [35], [48]
Simülasyon Çalışmaları	[8], [15], [16], [37], [48]
Kontrol Çalışmaları	[5], [7], [8], [9], [11], [14], [15], [16], [18], [19], [20], [21], [24], [29], [32], [34], [35], [36], [38], [40], [43], [44], [45], [52], [53], [56]

İHA’lardaki otopilot sistemlerinin kontrolü, otopilot sistemleri üzerinde yapılmış çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır. Ele alınan yayınlarda kullanılmış kontrol yöntemlerinin analizi Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Kontrol Yöntemleri ve Referans Numaraları

Yöntem	Referans Numaraları
Adaptif Controllers	[1], [5], [11], [38]
PID (Proportional Integral Derivative)	[3]
ANN (Artificial Neural Network)	[7]
Feedback Linearization	[8]
jUAV: A Java Based System	[15], [16]
Fuzzy Logic	[6], [14], [18], [21]
MPC (Model Predictive Control)	[19]
Backstepping Control Method	[24], [36],
ODSMC (Output Feedback Discrete	[26]

Time Sliding Mode Control)	
Reinforcement Learning	[32]
LQR (Linear Quadratic Regulator)	[20], [29]
Sliding Mode Controller (SMC)	[40], [41]
Paparazzi	[43]
Fuzzy Q Learning	[44]
Adaptive Fuzzy PID	[45]
AI based Adaptive Control	[52]
Non-linear Dynamic Inversion (NDI)	[20]
Adaptive Neuro-fuzzy Inference System (ANFIS)	[22]
Genetic Algorithm	[6], [22], [57]
Coefficient Diagram Method (CDM)	[27]
H_∞ Control Method	[31]
High Order Sliding Mode (HOSM)	[53]
Terminal Sliding Mode (TSM)	[56]

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Birçok alanda kullanılan İHA'ların kullanım sahasının daha da genişleyeceği tahmin edilmektedir. Düşük emisyon ve daha az gürültü seviyesine sahip olduklarından çevre dostu olarak kabul edilen İHA'lar, ekonomik yönden üretim, bakım, yakıt, hangar masrafı da olmayan araçlardır. Öte yandan, gözetleme ve keşif uygulamalarında fark edilebilme olasılıkları daha düşük olan İHA'ların insana bağlı yorgunluk ya da çalışma saati gibi sınırlamaları da yoktur. İHA'lar insanlı hava araçlarıyla kıyaslandığında yapı ve maliyet açısından daha avantajlı araçlardır.

İnsansız hava araçlarında yer alan İHA otopilot sistemi, İHA'lara bir referans yolunu izlemeleri veya bazı geçiş noktalarında gezinmeleri için sürekli rehberlik etmektedir. İHA'ların ana kontrol bileşenlerinden olan otopilotlar ile ilgili yapılmış çalışmalar büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, literatürde yer alan otopilot sistemlerini içeren yayınların bir derlemesi yapılmıştır. Bu amaçla, 2001-2020 yılları arasında yayınlanmış elliden fazla çalışma incelenmiş ve analiz edilmiştir. Derlenen çalışmaların yayınlanma senelerine göre ve konu kapsamına göre analizleri verilmiştir. Ayrıca, otopilot sistemlerin kontrolü konusunda yapılmış çalışmalarda kullanılan yöntemlere göre bir analiz de sunulmuştur. Ortaya konan çalışmanın İHA'larda yer alan otopilot sistemleri alanında yapılacak araştırmalara ışık tutacağı ve yön vereceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Ahsun, U., Badar, T., Tahir, S., & Aldosari, S. (2014). Autopilot fusion with external pilot inputs for enhancing flight safety of UAVs. *53rd IEEE Conference on Decision and Control*, (s. 236-241).
- [2] ALTIN, C., & ER, O. (2018). İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Sanal Gerçeklik Yazılımı ile Modellenmesi ve Farklı Kullanıcılar için Performans Analizleri. *Sakarya University Journal of Computer And Information Sciences* , 1-13.
- [3] Ambroziak, L., & Gosiewski, Z. (2013). Preliminary UAV Autopilot Integration and In-Flight Testing. *Solid State Phenomena 198* , 232-237.
- [4] Anderson, N., Hagenauer, B., Erickson, R., & Bhandari, S. (2008). Flight-Testing of a UAV Aircraft for Autonomous Operation using Piccolo II Autopilot. *AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference and Exhibit*, (Paper: 2008-6568).
- [5] Andrievsky, B., & Fradkov, A. (2002). Combined adaptive autopilot for an UAV flight control. *Proceedings of the International Conference on Control Applications*, (s. 290-291).
- [6] Babaei, A. R., Mortazavi, M., & Moradi, M. H. (2012). Fuzzy-Genetic Autopilot Design for Nonminimum Phase and Nonlinear Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Aerospace Engineering*, 25(1) , 1-9.
- [7] Baomar, H., & Bentley, P. J. (2016). An Intelligent Autopilot System that Learns Piloting Skills from Human Pilots by Imitations. *Unmanned Aircraft Systems(ICUAS)*, (s. 1023-1031).
- [8] Bhar, A., Sayadi, M., & Fnaiech, F. (2017). Improved modular UAV autopilot simulator for Pinguin BE aircraft. *2017 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD)*, (s. 125-129).
- [9] Bodson, M. (2003). Reconfigurable Nonlinear Autopilot. *JOURNAL OF GUIDANCE, CONTROL, AND DYNAMICS* 26(5) , 719-727.
- [10] Borys, D. N., & Colgren, R. (2005). Advances in Intelligent Autopilot Systems for Unmanned Aerial Vehicles. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*, (Paper: 2005-6482).
- [11] Capello, E., Guglieri, G., & Ristorto, G. (2017). Guidance and control algorithms for mini UAV autopilots. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology Vol. 89 No. 1* , 133-144.
- [12] Chao, H., Cao, Y., & Chen, Y. (2007). Autopilots for Small Fixed-Wing Unmanned Air Vehicles: A Survey. *International Conference on Mechatronics and Automation*, (s. 3144-3149).
- [13] Chen, H., Wang, X.-m., & Li, Y. (2009). A Survey of Autonomous Control for UAV. *2009 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, (s. 267-271).
- [14] Cohen, K., & Bossert, D. E. (2003). Fuzzy Logic Non-Minimum Phase Autopilot Design. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*, (Paper: 2003-5550).

- [15] Czerniejewski, A., Cosgrove, S., Yan, Y., Dantu, K., Ko, S. Y., & Ziarek, L. (2016). jUAV: A Java Based System for Unmanned Aerial Vehicles. *Proceedings of the 14th International Workshop on Java Technologies for Real-Time and Embedded Systems*, (s. 1-10).
- [16] Czerniejewski, A., Dantu, K., & Ziarek, L. (2018). jUAV: A Real-Time Java UAV Autopilot. *2018 Second IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)*, (s. 258-261).
- [17] Çavuş, V., & Tuncer, A. (2017). İnsansız Hava Araçları İçin Yapay Arı Kolonisi Algoritması Kullanarak Rota Planlama. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi 7(1)* , 259-265.
- [18] David, V.-R., Octavio, G.-R., David, B.-M., & Victor, E.-C. (2015). Analysis, Design, and Implementation of an Autopilot for Unmanned Aircraft - UAV's Based on Fuzzy Logic. *2015 Asia-Pacific Conference on Computer Aided System Engineering*, (s. 196-201).
- [19] De Bonfim Gripp, J. A., & Sampaio, U. P. (2014). Automatic landing of a UAV using Model Predictive Control for the surveillance of internal autopilot's controls. *2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, (s. 1219-1224).
- [20] Dubey, P., Singh, V., & Mangal, M. (2012). Design and Comparison of Control Schemes for UAV Autopilot. *IFAC Proceedings Volumes, 45(1)* , 103-108.
- [21] Dziuk, M. A., & Jamshidi, M. (2011). Fuzzy logic controlled UAV autopilot using C-Mean clustering. *2011 6th International Conference on System of Systems Engineering*, (s. 305-310).
- [22] Elbatal, A., Elkhatib, M. M., & Youssef, A. M. (2020). Intelligent Autopilot Design Based on Adaptive Neuro -Fuzzy Technique and Genetic Algorithm. *2020 12th International Conference on Electrical Engineering (ICEENG)*, (s. 377-382).
- [23] Erdos, D., & Watkins, S. E. (2008). UAV Autopilot Integration and Testing. *2008 IEEE Region 5 Conference*, (s. 1-6).
- [24] Farras, A. W., Trilaksono, R. B., & Putra, F. R. (2015). Implementation of image-based autopilot controller using command filtered backstepping for fixed wing unmanned aerial vehicle. *2015 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, (s. 235-240).
- [25] Guanglin, H., Rujun, G., & Shi, Y. (2007). Application of FPGA in Small UAV Autopilot Based on Embedded Linux System. *IECON 2007 - 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, (s. 731-734).
- [26] GUNES, U., SEL, A., & KASNAKOGLU, C. (2018). Stabilizer Autopilot Design For Fixed Wing UAV Using ODSMC. *2018 22nd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*, (s. 740-746).
- [27] Hirokawa, R., & Sato, K. (2004). Lateral Autopilot Design For A Uav Using Coefficient Diagram Method. *24th International Congress Of The Aeronautical Sciences*, (s. 1-6).
- [28] Hoffer, N. V., Coopmans, C., Jensen, A. M., & Chen, Y. (2013). Small low-cost unmanned aerial vehicle system identification: A survey and categorization. *2013 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, (s. 897-904).

- [29] Jeevan, H. L., Narahari, H. K., & Sriram, A. T. (2018). Development of pitch control subsystem of autopilot for a fixed wing unmanned aerial vehicle. *2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, (s. 1233-1238).
- [30] Kahveci, M., & Can, N. (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada Ve Türkiye'deki Yasal Durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi* 5(4) , 511 - 535.
- [31] Kitsios, I., Dimopoulos, T., Panagiotou, P., & Yakinthos, K. (2020). Longitudinal Dynamics Analysis and Autopilot Design for a fixed-wing, tactical Blended-Wing-Body UAV. *2020 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, (s. 149-157).
- [32] Koch, W., Mancuso, R., West, R., & Bestavros, A. (2019). Reinforcement Learning for UAV Attitude Control. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems* 3(2) Article:22 .
- [33] Kortunov, V. I., Mazurenko, O. V., Gorbenko, A. V., Mohammed, W., & Hussein, A. (2015). Review and comparative analysis of mini- and micro-UAV autopilots. *2015 IEEE International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)*, (s. 284-289).
- [34] Li, B., Liao, X. H., Sun, Z., Li, Y. H., & Song, Y. D. (2006). Robust autopilot for close formation flight of multi-UAVs. *2006 Proceeding of the Thirty-Eighth Southeastern Symposium on System Theory*, (s. 294-298).
- [35] Liu, M., Egan, G. K., & Santoso, F. (2015). Modeling, Autopilot Design, and Field Tuning of a UAV With Minimum Control Surfaces. *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 23(6) , 2353-2360.
- [36] Lu, H., Zhen, Y., & Hao, M. (2020). Nonlinear Autopilot Design for Fixed-Wing UAV Using Disturbance Observer Based Backstepping. *2020 Chinese Automation Congress (CAC)*, (s. 4423-4428).
- [37] Lu, P., & Geng, Q. (2011). Real-time Simulation System for UAV Based on Matlab/Simulink. *2011 IEEE 2nd International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering*, (s. 399-404).
- [38] Maleki, K. N., Ashenayi, K., Hook, L. R., Fuller, J. G., & Hutchins, N. (2016). A reliable system design for nondeterministic adaptive controllers in small UAV autopilots. *2016 IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, (s. 1-5).
- [39] Oktay, T., Konar, M., Onay, M., Aydin, M., & Mohamed, M. A. (2016). Simultaneous small UAV and autopilot system design. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology Vol. 88 No. 6* , 818-834.
- [40] Rao, S., & Ghose, D. (2014). Sliding Mode Control-Based Autopilots for Leaderless Consensus of Unmanned Aerial Vehicles. *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 22(5) , 1964-1972.
- [41] Rasitha, R., Balasubramanian, S., & Priya, N. (2015). Lateral-directional autopilot design of Unmanned Aerial Vehicles using quaternion feedback sliding mode approach. *2015 International Conference on Control Communication & Computing India (ICCC)*, (s. 125-130).

- [42] Sagahyoon, A., Jarah, M. A., & Hadi, A. -A. (2004). Design and implementation of a low cost UAV controller. *2004 IEEE International Conference on Industrial Technology, 2004. IEEE ICIT '04*, (s. 1394-1397).
- [43] Schwarzbach, M., Putze, U., Kirchgassner, U., & Schoenermark, M. v. (2009). Acquisition of High Quality Remote Sensing Data Using a UAV Controlled by an Open Source Autopilot. *ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, (s. 595-601).
- [44] Sharma, R. (2014). Fuzzy Q learning based UAV autopilot. *014 Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their impact on Humanity (CIPECH)*, (s. 29-33).
- [45] Shengyi, Y., Kunqin, L., & Jiao, S. (2009). Design and Simulation of the Longitudinal Autopilot of UAV Based on Self-Adaptive Fuzzy PID Control. *2009 International Conference on Computational Intelligence and Security*, (s. 634-638).
- [46] Shim, D. H., Kim, J. H., Chung, H., & Sastry, S. (2001). Multi-functional autopilot design and experiments for rotorcraft-based unmanned aerial vehicles. *20th DASC. 20th Digital Avionics Systems Conference*, (s. 3C4/1-3C4/8).
- [47] Stilwell, D. J. (2001). State-Space Interpolation for a Gain-Scheduled Autopilot. *JOURNAL OF GUIDANCE, CONTROL, AND DYNAMICS* 24(3) , 460-465.
- [48] Stojcsics, D., & Molnar, A. (2011). Fixed-wing small-size UAV navigation methods with HIL simulation for AERObot autopilot. *2011 IEEE 9th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*, (s. 241-245).
- [49] Theile, M., Dantsker, O., Nai, R., Caccamo, M., & Yu, S. (2020). uavAP: A Modular Autopilot Framework for UAVs. *AVIATION 2020 FORUM*, (Paper: 2020-3268).
- [50] Tu, H., & Du, X. (2010). The Design of Small UAV Autopilot Hardware System Based on DSP. *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, (s. 780-783).
- [51] Xie, P., Flores-Abad, A., Martinez, G., & Ma, O. (2011). Development of a Small UAV with Autopilot Capability. *AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference*, (Paper: 2011-6449).
- [52] Yadav, A. K., & Gaur, P. (2014). AI-based adaptive control and design of autopilot system for nonlinear UAV. *Sadhana* 39 , 765-783.
- [53] Yamasaki, T., Balakrishnan, S. N., & Takano, H. (2012). Integrated guidance and autopilot design for a chasing UAV via high-order sliding modes. *Journal of the Franklin Institute* 349 , 531-558.
- [54] Yang, Z., Lin, F., & Chen, B. M. (2016). Survey of autopilot for multi-rotor unmanned aerial vehicles. *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, (s. 6122-6127).
- [55] Yardımcı, G. (2019). İnsansız Hava Araçlarına Türk Mevzuatından Bir Bakış. *Journal of Aviation* 3(1) , 61-80.
- [56] Yu, J., Xu, Q., & Zhi, Y. (2011). A TSM control scheme of integrated guidance/autopilot design for UAV. *2011 3rd International Conference on Computer Research and Development*, (s. 431-435).

- [57] Zareb, M., Nouibat, W., Bestaoui, Y., Ayad, R., & Bouzid, Y. (2020). Evolutionary Autopilot Design Approach for UAV Quadrotor by Using GA. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering* 44 , 347-375.



Bu eser [Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası Lisansı](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) ile lisanslanmıştır.