

İnsansız Hava Aracı Tasarımı

Temel Bilgilerin İncelenmesi



ER/MP Gray Eagle: Enhanced MQ-1C Predator



© Copyright 2022

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.

Orijinal ISBN

978-16-817-3168-1

ISBN

978-625-8259-64-3

Orijinal Adı

Unmanned Aircraft Design
A Review of Fundamentals

Kitap Adı

İnsansız Hava Aracı Tasarımı
Temel Bilgilerin İncelenmesi

Editör

Mohammad SADRAEY

Çeviri Editörü

Doç. Dr. Hacı SOĞUKPINAR
ORCID iD: 0000-0002-9467-2005

Yayın Koordinatörü

Yasin DİLMEN

Sayfa ve Kapak Tasarımı

Akademisyen Dizgi Ünitesi

Yayıncı Sertifika No

47518

Baskı ve Cilt

Vadi Matbaacılık

Orijinal DOI

10.2200/S00789ED1V01Y201707MEC004

Bisac Code

SCI055000

DOI

10.37609/akya.2248

GENEL DAĞITIM

Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara

Tel: 0312 431 16 33

siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

İnsansız Hava Aracı Tasarımı

Temel Bilgilerin İncelenmesi

Mohammad SADRAEY

Southern New Hampshire Üniversitesi

Çeviri Editörü

Doç. Dr. Hacı SOĞUKPINAR

*Bu kitap ilk olarak İngilizce dilinde Mohammad Sadraey'in editörlüğünde Unmanned Aircraft Design A Review of Fundamentals (Edition: 1) başlığı ile yayınlanmıştır. Copyright © John Wiley & Sons, Inc., 2017
Bu edisyon John Wiley & Sons, Inc., lisansı altında tercüme edilmiş ve yayınlanmıştır.
John Wiley & Sons, Inc., çeviri ile ilgili herhangi bir sorumluluk üstlenmez ve çeviri hatalarından sorumlu tutulamaz.*

Ön Söz

İnsansız Hava Aracı (İHA), kameraları, sensörleri, iletişim ekipmanlarını veya diğer yükleri taşıyabilen uzaktan kumandalı veya kendi kendine pilotlu bir uçaktır. Tüm uçuş operasyonları (kalkış ve iniş dahil) uçakta insan pilotu olmadan gerçekleştirilir. Bazı DOD (ABD savunma bakanlığı) raporlarında İnsansız Hava Aracı Sistemi (UAS) tercih edilmektedir. Basında çıkan haberlerde Dron tercih ediliyor. Misyon, kritik görevleri personel açısından risksiz ve benzer insanlı sistemden daha uygun maliyetli bir şekilde gerçekleştirmektedir.

İnsansız uçakların sortiler, saatler ve genişletilmiş rollerdeki katkıları artmaya devam etmektedir. Eylül 2004 itibarı ile, irili ufaklı 20 çeşit koalisyon İHA'sı, Sonsuz Özgürlük Operasyonu veya Irak Özgürlüğü Operasyonu'nu desteklemek için toplam 100.000 uçuş saatinin üzerinde sorti yapmıştır. Bir zamanlar keşifle ilgili tek rolleri artık saldırı, güç koruması ve bilgi toplama ile devam etmektedir. Bu çeşitli sistemlerin maliyeti birkaç yüz dolardan (Amazon çeşitleri satar) on milyonlarca dolara kadar değişir. Bir pound'dan çok daha hafif olan Mikro Hava Araçlarından (MAV) 40.000 pound'un üzerindeki uçaklara kadar kapasite aralığı bulunmaktadır. İHA sistemi dört unsur içerir: (1) hava aracı; (2) yer kontrol istasyonu; (3) faydalı yük ve (4) bakım / destek sistemi. İnsanlı uçakların tasarımı ile İHA'ların tasarımının bazı benzerlikleri ve farklılıkları vardır. Farklılıklar şunları içerir: (1) tasarım süreci; (2) kısıtlamalar (örneğin, g-yükü, basınçlandırma ve (3) İHA ana bileşenleri (otopilot, yer istasyonu, iletişim sistemi, sensörler ve faydalı yük) Bir İHA tasarımcısı aşağıdakilerden haberdar olmalıdır: (a) en son İHA gelişmeleri; (b) mevcut teknolojiler; (c) geçmiş başarısızlıklardan öğrenilen ve bilinen dersler ve (d) tasarımcı, İHA tasarım seçeneklerinin genişliğini takdir etmelidir. Bir tasarım süreci hem entegrasyon hem de yineleme gerektirir. Bir tasarım süreci şunları içerir: (1) Sentez: Bilinen şeyleri yeni ve daha yararlı kombinasyonlarda bir araya getirmenin yaratıcı süreci; (2) Analiz: bir tasarım adayının performansını veya davranışını tahmin etme süreci ve (3) Değerlendirme: performans hesaplama ve her birinin tahmin edilen performansını karşılaştırma süreci eksiklikleri belirlemek için uygun tasarım adayı. Bir tasarımcının karmaşık, çok disiplinli sistemleri nasıl entegre edeceğini ve ortamı, gereksinimleri ve tasarım zorluklarını nasıl anlayacağını bilmesi gerekir. Bu kitabın hedefleri bunları gözden geçirmektir. İnsansız Hava Araçlarının tasarım temelleri üç ana bölüm başlığı altında on bölüme ayrılmıştır. Bölüm I (Bölüm 1 ve 2) "İHA Tasarımı" üzerinedir ve tasarım temellerini ve tasarım disiplinlerini kapsar. Bu bölüm, İHA sınıflandırmaları, tasarım proje planlaması, karar verme, fizibilite analizi, sistem mühendisliği yaklaşımı, tasarım grupları, tasarım aşamaları, tasarım incelemeleri, değerlendirme, geri bildirim, aerodinamik tasarım,

yapısal tasarım, tahrik sistemi tasarımı, iniş takımı tasarımı, mekanik sistem tasarımını ve kontrol yüzeyleri tasarımını kapsamaktadır.

Kısım II (Bölüm 3-7) otopilot tasarımına ayrılmıştır. Dinamik modelleme, kontrol sistemi tasarımı, navigasyon sistemi tasarımı, kılavuz sistemi tasarımı ve mikro denetleyiciyi kapsayacaktır. Bu bölüm, uçak aerodinamik kuvvetleri ve momentleri, kararlılık ve kontrol türevleri, transfer fonksiyonu modeli, durum-uzay modeli, uçak dinamikleri, doğrusallaştırma, kontrol sistemlerinin temelleri, kontrol yasaları, geleneksel tasarım teknikleri, optimum kontrol, sağlamlık gibi konuları tartışacaktır. Kontrol, dijital kontrol, kararlılık artırma, koordinat sistemleri, eylemsizlik navigasyonu, yol noktası navigasyonu, sensörler, aviyonikler, jiroskoplar, GPS, navigasyon yasaları, kılavuzluk yasaları, orantılı navigasyon kılavuzluğu, görüş hattı kılavuzluğu, yönlendirme açısı, bir komut izleme, uçuş yolu stabilizasyonu, dönüş koordinasyonu, komuta sistemleri, modüller/bileşenler, uçuş yazılımı, entegrasyon ve tam özerklikten oluşmaktadır. Algı ve kaçın, otomatik kurtarma, hata izleme, akıllı uçuş planlama ve insanlı-insansız ekip oluşturma gibi birkaç gelişmiş konu da bu bölümde gözden geçirilecektir.

Bölüm III'te (Bölüm 8, 9 ve 10), yer kontrol istasyonu iletişim sistemlerini, yükleri, fırlatma ve indirmeyi içeren ekipman tasarımı sunulmuştur. Aşağıdaki konular tartışılacaktır: yer elemanı tipleri, taşınabilir yer istasyonu, görev kontrol elemanları, uzaktan kumanda personeli, destek ekipmanları, ulaşım, koordinasyon, donanım ve yazılım, radyo frekansları, iletişim sisteminin elemanları, iletişim teknikleri, vericiler, alıcılar, telemetri, ölçüm cihazları, antenler, radar, sivil yükler, askeri yükler, tek kullanımlık yükler, görüntü ekipmanı, yük taşıma, yük yönetimi, yük yapısı entegrasyonu, geleneksel fırlatma, demiryolu rampaları, elle fırlatma, havadan fırlatma ve indirme sistemleri yer almaktadır. Bu kitabın sınırlı uzunluğu nedeniyle, birçok konu kısaca incelenmiştir. Bir kitabı bir araya getirmek birçok insanın yeteneklerini birleştiren Morgan & Claypool Publishers'da çok sayıda uzman personel bulunmaktadır. En içten minnettarlığım Mühendislik Bölümü Genel Yayın Yönetmeni Paul Petralia'ya ve kompozisyon için Deb Gabriel'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Hatasız bir metin oluşturmak için gerekli olan seçkin kopya düzenleyicisine ve prova okuyucusuna özel teşekkürlerimi sunarım. Özellikle öğrencilerime ve bu metni değerlendirip öneriler sunanlara büyük bir şükran borçluyum. Soruları, önerileri ve eleştirileri, daha net ve doğru yazmama yardımcı oldu ve bu kitabın gelişimini önemli ölçüde etkiledi.

Mohammad Sadraey
2017 Temmuz

Not: İlişkilendirilmemiş rakamlar kamu malı olarak tutulur ve ABD Hükümet Departmanlarından veya Wikipedia'dan alınmıştır.

Çeviri Ön Söz

İnsanlığın uçakla ilk tanışması ve ilk resmi uçuş Wright kardeşlerin girişimi ile 1903 yılında başlamıştır. Hemen 7 yıl sonra uçak, ilk defa savaş aracı olarak 1911 yılında İtalyanların Osmanlı topraklarını işgali sırasında Trablusgarp savaşında kullanılmıştır. İlk savaş uçağı yine Osmanlı askerleri tarafından düşürülmüştür. Hemen aynı yıl 2 Türk subayı Fransa'ya pilot okuluna gönderilerek eğitim alması sağlanmış ve önden iki uçak siparişi verilmiştir. 1912 yılı itibariyle İstanbul'da 10 uçaktan oluşan bir filo kurulup bir uçuş okulu açılmıştır. Bu uçaklar ilk Balkan Harbi sırasında kullanılmış olup devamında yenileri Almanya ve Fransa'dan satın alınmıştır. Osmanlı devletinin 1. Dünya savaşına Almanya ile birlikte katılması sahip olduğumuz uçak sayısı artarak önce 50, savaş sonuna kadar 450 rakamına ulaşmıştır. İlk defa 1914 yılında İstanbul-İskenderiye arası 2000 km'lik yolculuk farklı şehirlerde ikmaller yapılarak askeri pilotlar tarafından gerçekleştirilmiştir. İlk yerli uçak yapma girişimi 1914 yılında gerçekleşmiş ancak teknik eksikliklerden dolayı ilk uçuşu yapılamamıştır.

Cumhuriyet tarihinde Atatürk'ün emriyle 15 Mart 1925 tarihinde Türk Tayyare Cemiyeti kurulmuş ve Vecihi Hürkuş ilk Türk tipi uçağı Vecihi K-6'yı inşa etmiştir. 1925 tarihinde Kayseri'de Tayyare ve Motor Türk Anonim Şirketi (TOMTAŞ) ve fabrikası kurulmuş ve Alman Junkers Uçak fabrikası lisansı ile Milli Savunma Bakanlığı ortak üretim yapmaya başlamıştır. 1930 yılında Vecihi Hürkuş Vecihi-14 tipi uçağını yapmıştır. 1935 yılında Türk Kuşu kurulmuş ve ilk eğitimi alanlar arasında Sabiha Gökçen de bulunmaktadır. 1936 yılında İstanbul'da ilk defa Hava Harp Akademisi kurulmuştur. Bu süreçte Kayseri'deki uçak üretimi devam etmektedir. 1938 yılına kadar envantere toplamda 215 uçak girmiştir. Nuri Demirağ 1936 yılında ilk defa "Büyük Gök Okulu" nu kurmuş ve bu okulda teknik eleman yetiştirmeye başlamıştır. Nuri Demirağ bu süreçte uçak ve planör üretimine başlamış ve Türk Hava Kurumu tarafından siparişler almış ve Nuri Demirağ'ın fabrikasında üretilen ilk uçak 1941 yılında ilk uçuşunu gerçekleştirmiştir.

1984 yılında Otomotiv Yan Sanayisi olarak Baykar Makine kurulmuş, 2000 yılında İnsansız Hava Aracı Sistem ve Alt Sistem Bileşenleri Ar-Ge çalışmalarına başlamıştır. 2007 yılında Bayraktar Mini İHA'nın İlk Teslimatı gerçekleşmiş olup 2014 yılında Bayraktar TB2 İlk Seri üretim teslimatı gerçekleşmiştir. 2019 yılında Bayraktar Akıncı İlk Uçuşunu gerçekleştirmiştir. Bayraktar, ülkemizde insansız uçan sistemler üzerine öncü bir kurum haline gelmiştir.

Türk Uçak Sanayii Anonim Ortaklığı (TUSAŞ), 28 Haziran 1973 tarihinde kurulmuş ve ilk defa F16 uçaklarının Türkiye'de üretim/montajına öncülük etmiştir. Bugün itibari ile Yapısal Grubu, Uçak Grubu, Helikopter Grubu, İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemleri

Grubu, Uzay Sistemleri Grubu, ve Milli Muharip Uçak (MMU) Grubu olmak üzere pek çok alanda ARGE ve üretim yapmaktadır. Atak ve Gökbey helikopteri, Hürjet ve Hürkuş uçakları, Anka ve Aksungur İHA sistemleri, Göktürk uydusu ve MMU savaş uçağı öne çıkan projelerden bazılarıdır. TUSAŞ Havacılığın her alanında üretim yapan dünyaca önemli bir kurum haline gelmiştir.

Bu kitabın çevirisi, Türk gençlerine havacılığı tanıtmak, teknik bilgi sağlamak, sevdirmek ve genç beyinleri bu alana teşvik etmek amacı ile gerçekleştirilmiştir.

Hacı SOĞUKPINAR
Adıyaman Üniversitesi

TEŞEKKÜR

Bu kitabın Türkçeye çevrilmesinden yayınlanmasına kadar tüm süreçleri titizlikle takip ederek desteklerini esirgemeyen Adıyaman Üniversitesi Rektörü
Sayın Prof. Dr. Mehmet TURGUT'a

VE

Kişiliği, duruşu ve eğitime her zaman verdiği destekler ile gelecek nesillere ışık tutan
örnek iş insanı, Erdemoğlu Holding Yönetim Kurulu Başkan Yardımcısı

Sayın Ali ERDEMOĞLU Beyefendiye,

Kitabın sizlere ulaşması için verdiği maddi veya manevi değerli desteklerinden dolayı
şükranlarımızı sunarız.

ÖZET

Bu kitap, İHA tasarımı, otopilot tasarımı ve yer sistemi tasarımına odaklanan üç bölümle insansız hava araçları (İHA) için temel ilkeleri, tasarım prosedürlerini ve tasarım araçlarını içerir. İnsanlı uçakların tasarımı ve İHA'ların tasarımı bazı benzerlikler ve farklılıklar içermektedir. Tasarım sürecini, kısıtlamaları (ör. g-yükü, basınçlandırma) ve İHA ana bileşenlerini (otomatik pilot, yer istasyonu, iletişim, sensörler ve yük) içerir. Bir İHA tasarımcısı en son İHA gelişmelerinden haberdar olmalıdır; güncel teknolojiler, geçmiş başarısızlıklardan çıkarılan dersleri bilmek ve İHA tasarım seçeneklerinin genişliğini takdir etmeleri gerekir. İnsansız uçakların katkısı her geçen gün artmaya devam etmekte ve 20'den fazla ülke hem askeri hem de bilimsel amaçlarla İHA'lar geliştirip kullanmaktadır. Bir İHA sistemi, yeniden kullanılabilir bir hava aracı veya araçlarından çok daha fazlasıdır. İHA'lar hava araçlarıdır, uçak gibi uçarlar ve uçakla ilgili ortamlarda çalışırlar. Hava araçları gibi tasarlanmışlardır ve uçuş açısından kritik hava aracı gereksinimlerini karşılamaları gerekir. Bir tasarımcının karmaşık, çok disiplinli sistemleri nasıl entegre edeceğini ve ortamı, gereksinimleri ve tasarım zorluklarını nasıl anlayacağını bilmesi gerekir ve bu kitap, mühendislik perspektifinden temellere mükemmel bir genel bakış niteliğindedir. Bu kitap, İHA dünyasına yeni gelenlerin ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlamaktadır. Malzemeler, her alanda yeterli bilgi sağlamayı ve eksiksiz bir İHA tasarımını desteklemek için hepsinin birlikte nasıl rol oynadığını göstermeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle, bu kitap hem alana giren mühendisler için bir referans olarak hem de her bir özel konu için sistem düzeyinde katkı sağlamak açısından bir İHA tasarım kursu için ek bir metin olarak kullanılabilir.

ANAHTAR KELİMELER

İnsansız hava araçları, tasarım, otomatik uçuş kontrol sistemi, otopilot, dron, uzaktan kumandalı araç

İçindekiler

Ön Söz	v
Çeviri Ön Söz	vii
Teşekkür	ix
Özet	xi
Kısım I	xix
1 Tasarım Temelleri	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 İHA'nın Sınıflandırılması.....	3
1.3 Tasarım Proje Planlaması	6
1.4 Karar Verme	6
1.5 Tasarım Kriterleri, Hedefleri ve Öncelikleri	7
1.6 Fizibilite Analizi.....	9
1.7 Tasarım Grupları	10
1.8 Tasarım Süreci.....	11
1.9 Sistem Mühendisliği Yaklaşımı.....	12
1.10 Kavramsal Tasarım	15
1.11 Ön Tasarım.....	20
1.12 Detay Tasarımı.....	21
1.13 Tasarımı İnceleme, Değerlendirme ve Geri Bildirim	23
1.14 Sorular.....	24
2 Tasarım Dalları	27
2.1 Giriş.....	27
2.2 Aerodinamik Tasarım	28
2.3 Yapısal Tasarım	30
2.4 Tahrik Sistemi Tasarımı.....	32
2.5 İniş Takımı Tasarımı	33
2.6 Mekanik / Güç İletim Sistemleri Tasarımı	35
2.7 Kontrol Yüzey Tasarımı	37
2.8 Sorular.....	44
Kısım II	47

3 Otomatik Pilotun Temelleri	49
3.1 Giriş.....	49
3.2 Bir Otopilotun Birincil Alt Sistemleri.....	49
3.3 Dinamik Modelleme	50
3.4 İHA Dinamiği	53
3.5 Aerodinamik Kuvvetler Ve Torklar	54
3.6 Kararlılık ve Kontrol Türevleri.....	56
3.7 Transfer Fonksiyonu	57
3.8 Durum Uzay Modeli	58
3.9 Doğrusallaştırma	58
3.10 Otopilot Tasarım Süreci.....	60
3.11 Sorular.....	61
4 Kontrol Sistemi Tasarımı.....	63
4.2 Kontrol Sistemlerinin Temelleri	64
4.3 İha Kontrol Mimarisi	67
4.3.1 Kontrol Kategorileri	67
4.3.2 Hız Kontrolü	69
4.4 Uçuş Kontrol Gereksinimleri.....	70
4.4.1 Boyuna Kontrol Gereksinimleri.....	70
4.4.2 Yuvarlanma (X Eksen Etrafında) Kontrol Gereksinimleri	72
4.4.3 Yönlü Kontrol Gereksinimleri	72
4.5 Pıd Kontrolörü.....	73
4.6 Optimal Kontrol-Doğrusal Kadratik Regülatör (LQR).....	73
4.7 Sağlamlık Kontrol.....	74
4.8 Dijital Kontrol	75
4.9 Kararlılık Artırımı	76
4.10 Özerklik	79
4.10.1 Sınıflandırma	79
4.10.2 Algıla ve Kaçınma	80
4.10.3 Otomatik Kurtarma	81
4.10.4 Hata İzleme	81
4.10.5 Akıllı Uçuş Planlaması.....	82
4.10.6 İnsansız Takım	82
4.11 Kontrol Sistemi Tasarım Süreci	82
4.12 Sorular.....	85
4.13 Problemler	86

5 Navigasyon Sistem Tasarımı.....	91
5.1 Giriş.....	91
5.2 Navigasyon Sistemi Tasarımı.....	92
5.3 Koordinat Sistemleri.....	92
5.4 Ataletsel Navigasyon Sistemi.....	92
5.5 Küresel Konumlandırma Sistemi.....	95
5.6 Konum Sabitleme Navigasyonu.....	96
5.6.1 Harita Okuma.....	96
5.6.2 Göksel Navigasyon.....	97
5.7 Ataletsel Navigasyon Sensörleri.....	97
5.7.1 İvmeölçer.....	98
5.7.2 Jiroskop.....	99
5.7.3 Hava Hızı Sensörü.....	101
5.7.4 Yükseklik Sensörü.....	102
5.8 Tasarım Hususları.....	103
5.9 Sorular.....	105
6 Kılavuz Sistem Tasarımı.....	107
6.1 Giriş.....	107
6.2 Kılavuz Sistemin Elemanları.....	109
6.3 Kılavuzluk Kanunları.....	111
6.4 Görüş Hattı Rehberlik Kanunu.....	112
6.5 Formasyon Uçuşu.....	113
6.6 Oransal Seyir Rehberlik Kanunu.....	116
6.7 Arama Kılavuzluk Kanunu.....	116
6.8 Ara Nokta Kılavuzu.....	117
6.9 Takipçi.....	118
6.10 Sorular.....	120
7 Mikrodenetleyici.....	123
7.1 Giriş.....	123
7.2 Temel Bilgiler.....	124
7.3 Modüller / Bileşenler.....	127
7.4 Uçuş Yazılımı.....	130
7.4.1 Yazılım Geliştirme.....	130
7.4.2 İşletim Sistemi.....	131
7.4.3 Yönetim Yazılımı.....	131
7.4.4 Mikrodenetleyici Programlama.....	131
7.4.5 Yazılım Entegrasyonu.....	133

7.4.6 C Dili.....	133
7.4.7 Derleyici	134
7.4.8 Ardupilot	134
7.4.9 Hata Ayıklama	135
7.4.10 Tasarım Prosedürü.....	135
7.5 Sorular.....	135
Kısım III	139
8 Yer Kontrol İstasyonu	141
8.1 Giriş.....	141
8.2 Gcs Alt Sistemleri	142
8.3 Yer İstasyonundaki İnsan Operatörü	143
8.4 Yer İstasyonu Türleri	145
8.4.1 El Kontrol Cihazı.....	145
8.4.2 Taşınabilir Gcs	145
8.4.3 Mobil Kamyon	146
8.4.4 Merkezi Komuta İstasyonu	149
8.5 İletişim Sistemi.....	150
8.6 Tasarım Hususları.....	154
8.7 Sorular.....	155
9 Fırlatma/Havalanma ve Güvenli İniş Sistemleri.....	157
9.1 Giriş.....	157
9.2 Lansmanın Temelleri	158
9.3 Fırlatıcı Ekipmanları	159
9.4 İndirme Teknikleri	161
9.5 Kurtarma Temelleri.....	162
9.5.1 Paraşüt	162
9.5.2 Darbesiz İniş	164
9.6 Havadan Fırlatma	165
9.7 El İle Fırlatma.....	165
9.8 Fırlatma ve İniş Sistemleri Tasarımı.....	166
9.9 Sorular.....	167
9.10 Problemler	168
10 Yük Seçimi / Tasarımı	171
10.1 Giriş.....	171
10.2 Faydalı Yük Tanımı.....	172

10.3 Kargo veya Kargo Yüğü	172
10.4 Keşif / Gözetim Yüğü	173
10.4.1 Kamera	174
10.4.2 Radar	176
10.5 Bilimsel Yüğü	178
10.6 Askeri Faydalı Yüğü (Silah)	179
10.7 Faydalı Yüğü Kurulumu	180
10.7.1 Faydalı Yüğü Konumu	180
10.7.2 Faydalı Yüğü Aerodinamiğı	181
10.7.3 Faydalı Yüğü-Yapısı Ve Entegrasyonu	181
10.7.4 Faydalı Yüğü Stabilizasyonu	182
10.8 Faydalı Yüğü Kontrolü Ve Yönetimi	183
10.9 Faydalı Yüğü Seçimi / Tasarım Hususları	183
10.10 Sorular	184
10.11 Problemler	186
Kaynaklar	189
Yazar Biyografisi	193

Kaynaklar

1. Roskam, J. *Airplane Flight Dynamics and Automatic Flight Controls*, 1997, DARCO. 54, 71
2. Stevens, B. L., Lewis, F. L., and Johnson, E. N. *Aircraft Control and Simulation*, 3rd ed., John Wiley, 2016. 53, 94
3. Federal Aviation Regulations, Part 23, Airworthiness Standards: Normal, Utility, Aerobatic, and Commuter Category Airplanes, Federal Aviation Administration, Department of Transportation, Washington DC. 63
4. Federal Aviation Regulations, Part 25, Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes, Federal Aviation Administration, Department of Transportation, Washington DC. 63
5. MIL-STD-1797, Flying Qualities of Piloted Aircraft, Department of Defense, Washington DC, 1997. 63
6. MIL-F-8785C, Military Specification: Flying Qualities of Piloted Airplanes, Department of Defense, Washington DC, 1980. 72
7. Mclean, D. *Automatic Flight Control Systems*, Prentice-Hall, 1990.
8. Nelson, R. *Flight Stability and Automatic Control*, McGraw Hill, 1989.
9. Hoak, D. E., Ellison D. E., et al, "USAF Stability and Control DATCOM," Flight Control Division, Air Force Flight Dynamics Laboratory, Wright-Patterson AFB, Ohio, 1978.
10. Jackson, P., Jane's All the World's Aircraft, Jane's information group, Various years.
11. Dorf, R. C., Bishop R. H. ., *Modern Control Systems*, 13th ed., Pearson, 2017. 64, 65, 73
12. Ogata, K., *Modern Control Engineering*, 5th edition, Prentice Hall, 2010. 64, 65, 73
13. Doyle, J. C. and Glover, K., State-space solution to standard H₂ and H_∞ control problems, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 34, No. 8, August 1989. 74
14. Anderson, B. D. O. and J. B. Moore, *Optimal Control: Linear Quadratic Methods*, Dover, 2007. 51, 73
15. Phillips, C. L, Nagle T., and A. Chakraborty, *Digital Control System Analysis & Design*, 4th ed., Pearson, 2014. 51
16. Blakelock, J. H., *Automatic Control of Aircraft and Missiles*, 2nd ed., John Wiley, 1991. 112
17. <http://manuals.hobbico.com/snn/snna1051-manual.pdf>.

18. Pastrick, H.L., S.M. Seltzer, and M.E. Warren. Guidance laws for short-range tactical missiles, *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 4, No. 2 (1981), pp. 98-108. DOI: 10.2514/3.56060. 107
19. Siouris, G. M., *Missile Guidance and Control Systems*, Springer, 2004.
20. Manley Butler, C., Jr. and Troy Loney, Design, Development and Testing of a Recovery System for the Predator UAV, *13th AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference*, May 15-19, 1995, Clearwater Beach, FL.
21. Ben-Asher, J. Z. and Yaesh, I., *Advances in Missile Guidance Theory*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, VA, 1998. 119
22. Zarchan, P., *Tactical and Strategic Missile Guidance*, 6th ed., American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, VA, 2013. 119
23. Palumbo, N., F., Blauwkamp, R. A., and Lloyd, J. M. Basic Principles of Homing Guidance, *Johns Hopkins APL Technical Digest*, Vol. 29, No. 1, 2010.119
24. Grewal M. S., Andrews, A. P., and Bartone C. G., *Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration*, 3rd ed., Wiley, 2013. 95
25. Toolev M. and Wyatt D., *Aircraft Communications and Navigation Systems: Principles, Maintenance and Operation*, Routledge, 2007.
26. Ahmed El-Rabbany, *Introduction to GPS: The Global Positioning System*, 2nd ed., by 2006, Artech House Publishers.
27. Federal Aviation Regulations, Part 107, Operation and Certification of Small Unmanned Aircraft Systems, Federal Aviation Administration, Department of Transportation, Washington DC, 2016.
28. Tso, K. S., Tharp, G. K., Tai, A. T., Draper, M. H., Calhoun, G. L., and Ruff, H. A., Human Factors Testbed for Command and Control of Unmanned Air Vehicles, *22nd Digital Avionics Systems Conference*, Indianapolis, IN, October 2003. 144
29. Salyendy, G., *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, 3rd ed., Wiley, 2006. 144
30. Berger, A. S., *Embedded Systems Design*, CMP Books, 2002. 125
31. Cady, F. M., *Microcontrollers and Microcomputers*, Oxford University Press, 1997. 124, 125
32. Ball, S., *Analog Interfacing to Embedded Microprocessors*, Newnes, 2001. 133
33. Miller, G. H., *Microcomputer Engineering*, Pearson Prentice Hall, 3rd ed., 2004. 126
34. Graham, D. L., *C Programming Language: A Step by Step Beginner's Guide to Learn C Programming in 7 Days*, 2016. 131, 134

35. Wilmshurst, T., *Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers, Principles and Applications*, 2nd ed., Newnes, 2009. 127
36. ArduPilot 2.x manual, ArduPilot Development Team, <http://ardupilot.org>, 2003. 134
37. Sadraey, M., *Aircraft Design; A Systems Engineering Approach*, Wiley, 2012. DOI: 10.1002/9781118352700. 27, 157, 181
38. Sadraey, M., *Aircraft Performance Analysis*, CRC Press, 2017. 159, 181
39. Frenzel, L., *Principles of Electronic Communication Systems*, 4th ed., McGraw-Hill. 153
40. CNN, Washington, December 14, 2016, <http://money.cnn.com>. 173
41. Kharchenko, V. and Prusov, D., Analysis of unmanned aircraft systems application in the civil field, in *Transport*, Taylor and Francis, 2012. DOI: 10.3846/16484142.2012.721395. 173
42. Peters, J. E., Seong, S., Bower, A., Dogo, H., Martin, A. L., and Pernin, C. G., *Unmanned Aircraft Systems for Logistics Applications*, RAND, 2012.
43. Richards, M. A., Scheer J. A., and Hilm W. A., *Principles of Modern Radar: Basic Principles*, SciTech Publishing, 2010. DOI: 10.1049/SBRA021E. 178
44. Anderson, J. D., *Fundamentals of Aerodynamics*, McGraw-Hill, 5th ed., 2010. 30, 181
45. Shevell, R. S., *Fundamentals of Flight*, Prentice Hall, 2nd ed., 1989. 30, 181
46. Jackson, P., *Jane's All the World's Aircraft*, Jane's information group, Various years. 4
47. Megson, T., *Aircraft Structures for Engineering Students*, 5th ed., 2012. 32, 182
48. Roskam, J., *Lessons Learned in Aircraft Design*, 2007, DAR Corporation.
49. Roskam, J., *Roskam's Airplane War Stories*, 2006, DAR Corporation.
50. Sadraey, M., *Robust Nonlinear Controller Design for Complete UAV Mission*, VDM Verlag Dr. Muller, 2009. 51
51. Anonymous, Literature Review on Detect, Sense, and Avoid Technology for Unmanned Aircraft Systems, DOT/FAA/AR-08/41, National Technical Information Service, 2009. 81
52. Dalamagkidis, K., Valavanis, K. P., and Piegl, L. A., *On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System: Issues, Challenges, Operational Restrictions, Certification and Recommendations*, International Series on Intelligent Systems, Control, and Automation: Science and Engineering, Springer-Verlag, 2009, vol. 26. 81
53. Schwartz, C.E., Bryant, T.G., Cosgrove, J.H., Morse, G.B., and Noonan, J. K., A radar for unmanned air vehicles, *The Lincoln Laboratory Journal*, Vol. 3. No. 1, 1990. 119
54. *Unmanned Systems*, May/June 2004. 3

55. Butler, M. C. and Loney, T., Design, Development and Testing of a Recovery System for the Predator UAV, AIAA 95-1573, *13th AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference*, May 15-19, 1995, Clearwater Beach, FL. 167