



**BİR İNSANSIZ HAVA ARACI GERÇEKLEŞTİRME VE HAREKETLİ
NESNELERİN TESPİT VE TAKİBİNDE KULLANIMI**

Elif Ece ELMAS

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2019

Elif Ece ELMAS tarafından hazırlanan “BİR İNSANSIZ HAVA ARACI GERÇEKLEŞTİRME VE HAREKETLİ NESNELERİN TESPİT VE TAKİBİNDE KULLANIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ALKAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Hamit ERDEM

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Başkent Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 05/02/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Elif Ece ELMAS

05/02/2019

**BİR İNSANSIZ HAVA ARACI GERÇEKLEŞTİRME VE HAREKETLİ NESNELERİN
TESPİT VE TAKİBİNDE KULLANIMI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Elif Ece Elmas

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Şubat 2019

ÖZET

Teknolojide elde edilen gelişmelerle birlikte İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemlerinin kullanım alanları yaygınlaşmakta ve çeşitlenmektedir. Günümüzde İHA'lar uzaktan algılama, fotogrametri, trafik denetimi ve büyük tesislerin gözetimi gibi birçok farklı amaçla kullanılmaktadırlar. Uzaktan algılama ve fotogrametri amaçlı kullanılan İHA'lara kullanım amaçlarına göre farklı algılayıcı sistemler yerleştirilebilmektedir. Bu algılayıcı sistemler, video, dijital, termal ve kızıl ötesi kamera sistemleri şeklinde olabilmektedir. Bu tezde Uçan bir İHA'da bulunan kamerayla elde edilen görüntülerle hareketli nesnelerin tespiti ve takibi için bir Optik Akış yöntemi önerilmiştir. Uçan bir İHA'dan hareket eden nesneleri tespit etmeye çalışırken çözülmesi gereken asıl problem, aracın hareketinin neden olduğu görüntüdeki değişiklikleri hareketli nesnelerden ayırmaktır. Tezde, İHA olarak bir dördüçer seçilmiştir. Bu dördüçerin teorik çalışmaları ve performans özelliklerini çıkarmak için "eCalc" programı kullanılmıştır. eCalc'te tasarım süreci ve benzetim işlemleri etkileşimli olup, mümkün olduğunca gerçek elemanların özelliklerinin kullanıldığı gerçeğe çok yakın ortamlar oluşturulabilmektedir. eCalc ile elde edilen sonuçlar MATLAB uygulamalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak, bir İHA genel sistemin ve alt sistemlerin için gerekli olan donanım ve yazılım mimarileri tasarlanarak uygulamada kullanılacak dördüçer gerçekleştirilmiştir. Mobil yer kontrol istasyonu, olarak Mission Planner kullanılmıştır. Bu tez çalışmasının kapsamında, bir çokluuçarın kameralarından alınan anlık görüntülerden hareketli nesnelerin gerçek zamanlı olarak tespit ve takip edilmesi için MATLAB Grafiksel Kullanıcı Arayüzü ortamında geliştirilen Optik Akış yöntemlerinin kullanıldığı bir yazılım ile yapılmıştır. En uygun Optik Akış algoritmasının seçilebilmesi için Optik Akış yöntemlerinde kullanılan; fark teknikleri, alan tabanlı teknikler, enerji tabanlı teknikler ve faz tabanlı teknikler ana sınıfları altında toplanan yöntemler MATLAB ortamında uygulanarak, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu : 90521
 Anahtar Kelimeler : İnsansız Hava Aracı, Çokluuçar, Multikopter, Dördüçer, Quadkopter, Görüntü İşleme, Optik Akış, Hareket Tespiti, Nesne Takibi
 Sayfa Adedi : 122
 Danışman : Prof. Dr. Mustafa ALKAN

AN UNMANNED AERIAL VEHICLE REALIZATION AND ITS USE IN DETECTING
AND TRACKING MOVING OBJECTS
(M.Sc Thesis)

Elif Ece Elmas

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2019

ABSTRACT

With the developments in technology, the usage areas of Unmanned Air Vehicle (UAV) systems become widespread and diversify. Nowadays, UAVs are used for many different purposes such as remote sensing, photogrammetry, traffic control and monitoring of large facilities. UAVs used for remote sensing and photogrammetry can be equipped with different sensor systems according to their intended use. These sensor systems can be in the form of video, digital, thermal and infrared camera systems. In this thesis, an Optical Flow method is proposed for the detection and tracking of moving objects with the images obtained with the camera found in a Flying UAV. The main problem to be solved when trying to detect objects moving from a flying UAV is to separate the changes in the image caused by the movement of the vehicle from moving objects. In the thesis, a quadcopter was chosen as UAV. The eCalc program was used to extract the performance characteristics of this quadcopter. eCalc's design process and simulation processes are interactive. With the eCalc, the real elements can be created which are very close to the reality. The results obtained with eCalc were compared with the results obtained from MATLAB applications, and the hardware and software architectures required for an UAV general system and subsystems were designed and the quadcopter to be used in practice was realized. Mission Planner was used as a mobile ground control station. Within the scope of this thesis, a software developed in MATLAB Graphical User Interface to use Optical Flow methods for real-time detection and tracking of moving objects from snapshots taken from a quadcopter camera. Field-based techniques, energy-based techniques and phase-based techniques used in Optical Flow methods were tested in MATLAB and the results obtained were compared in order to select the most suitable Optical Flow algorithm.

Science Code : 90521
Key Words : Unmanned Aerial Vehicle, Multirotor, Multicopter, Quadcopter, Image Processing, Optical Flow, Motion Detection, Object Tracking
Page Number : 122
Supervisor : Prof. Dr. Mustafa ALKAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren Hocam Prof. Dr. Mustafa ALKAN'a ve kıymetli bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım hocalarım Prof. Dr. Ömer Faruk BAY ve Prof. Dr. Hamit ERDEM'e teşekkür ederim. Her zaman yanımda bulunan anneme, babama ve kardeşlerime borcumu hiçbir zaman ödeyemem. İyi ki varsınız, iyi ki benim ailemsiniz.

Bu tez, G.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 07/2017-02 kodu ile desteklenmiştir.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇOKLUUÇAR YAPILARI.....	9
2.1. Nadir Kullanılan Çokluuçar Yapıları.....	14
2.2. Çokluuçarların Hareket Yeteneği.....	16
2.2.1. Artı sınıfı dörtuçarların hareketleri	16
2.2.2. Çapraz sınıfı dörtuçarların hareketleri	20
2.2.3. Artı sınıfı altıuçarların hareketleri.....	23
2.2.4. Çapraz sınıfı altıuçarların hareketleri.....	26
2.2.5. Artı sınıfı sekizuçarların hareketleri.....	28
2.2.6. Çapraz sınıfı sekizuçarların hareketleri.....	31
3. ÇOKLUUÇARLARIN MODELLENMESİ.....	35
3.1. Eksenler ve Dönüşüm Matrisleri.....	35
3.2. Çokluuçarların Matematiksel Denklemleri	37
3.2.1. Pervanelerin itki kuvveti ve torku	39
3.2.2. Fırçasız DA motor yapıları	42
3.2.3. Yerçekimi ivmesi.....	45
3.2.4. Kararlı devinim etkisi	45

	Sayfa
3.2.5. Farklı yapıdaki çokluuçarların açısai tork ve atalet matrisi.....	46
3.3. Çokluuçarlar için PD denetleyici	52
4. ÇOKLUUÇARIN TASARIM VE DİNAMİK BENZETİM ÇALIŞMALARI.....	57
4.1. Çokluuçarın Çerçevesinin Boyut ve Ağırlığı.....	59
4.1.1. Toplam ağırlık.....	59
4.1.2. İtke gereksinimi	60
4.1.3. Ağırlık itke oranı.....	60
4.1.4. Verimlilik ve akım	60
4.1.5. Pervane seçimi	62
4.2. Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Benzetim Çalışmaları.....	62
4.2.1. Motor ve sürücü benzetim sonuçları	64
4.3. Çokluuçarın Benzetim Çalışmaları	67
4.3.1. Çokluuçarın benzetim sonuçları.....	68
5. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMİNİN YAZILIM VE DONANIMI	73
5.1. İnsansız Hava Aracı	73
5.1.1. Uçuş denetleyicisi	74
5.1.2. Çokluuçar çerçevesinin boyut ve ağırlığı.....	75
5.1.3. Motor seçimi	76
5.1.4. Pervane seçimi	79
5.1.5. Elektronik hız denetleyici (ESC)	81
5.1.6. Batarya seçimi.....	82
5.2. Görev Sistemleri.....	84
5.2.1. Faydalı yük.....	84
5.3. Yer Sistemleri.....	87
5.3.1. Taşınabilir yer kontrol istasyonu.....	89

	Sayfa
5.3.2. Mobil yer kontrol istasyonu	91
5.3.3. Yer kontrol istasyonu yazılımları.....	95
6. HAREKETLİ NESNELERİN TESPİT VE TAKİP EDİLMESİ.....	97
6.1. Optik Akış	97
6.1.1. Optik akış hesaplamaları	99
6.1.2. Optik akış algoritmaları.....	101
6.1.3. Farklı optik akış algoritmalarının karşılaştırması	102
6.2. MATLAB Simulink Uygulaması.....	108
6.3. MATLAB Grafiksel Kullanıcı Arayüzü Tabanlı Uygulama Tasarımı	112
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	115
KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	122

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Çokluuçar yapıları anlatılırken kullanılan şekiller ve anlamları.....	9
Çizelge 4.1. Çokluuçarın çerçevesinin özellikleri	59
Çizelge 4.2. eCalc ile elde edilen toplam ağırlık, itki-ağırlık verileri.....	60
Çizelge 4.3. Çokluuçarın motorlarının özellikleri	61
Çizelge 5.1.Çokluuçarın çerçevesinin özellikleri	76
Çizelge 5.2. Çokluuçarın motorlarının özellikleri	79
Çizelge 5.3. Çokluuçarın pervanelerinin özellikleri	81
Çizelge 5.4. Çokluuçarın ESC'lerinin özellikleri	82
Çizelge 5.5. Çokluuçarın bataryasının özellikleri.....	84
Çizelge 5.6. Radyo Data Modemlerin özellikleri	86
Çizelge 5.7. Kameranın özellikleri	87
Çizelge 6.1. Laplasyen hesaplamasında kullanılan maske	101

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. İHA sistemi ve alt sistemler	2
Şekil 1.2. SSM'ye göre hava aracını oluşturan birimler	3
Şekil 1.3. SSM'ye göre görev sistemleri.....	4
Şekil 1.4. SSM'ye göre hava-yer tümleşik sistemleri	4
Şekil 1.5. SSM'ye göre yer sistemleri.....	5
Şekil 1.6. SSM'ye göre taşınabilir yer kontrol istasyonu.....	5
Şekil 1.7. SSM'ye göre mobil yer kontrol istasyonu	5
Şekil 1.8. SSM'ye göre yer kontrol istasyonu sistem yazılımları	6
Şekil 1.9. İHA sistemleri sınıflandırması	6
Şekil 1.10. Hareketli nesnelerin bir İHA ile tespit ve takip işleminin genel yapısı	7
Şekil 2.1. Çeşitli dörtüçar yapıları.....	10
Şekil 2.2. Altıuçar yapıları	11
Şekil 2.3. Dikdörtgen altıuçar yapıları	11
Şekil 2.4. Sekizüçar yapıları.....	12
Şekil 2.5. Kare sekizüçar yapıları.....	12
Şekil 2.6. Sıralı sekizüçar yapıları.....	13
Şekil 2.7. Çiftli sekizüçar yapıları.....	13
Şekil 2.8. İkiüçar yapıları	14
Şekil 2.9. Üçüçar yapıları.....	14
Şekil 2.10. Çiftli üçüçar yapıları	15
Şekil 2.11. Açılı sekizüçar yapıları	15
Şekil 2.12. Bir dörtüçarın hareketli eksen takımına göre irtifa, yunuslama, yalpa ve sapma hareketleri	16
Şekil 2.13. Artı sınıfı bir dörtüçar (4I)'nın kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları.....	17

Şekil	Sayfa
Şekil 2.14. Artı sınıfı bir dörtüçar (4I)'nın yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları	18
Şekil 2.15. Artı sınıfı bir dörtüçar (4I)'nın yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları	19
Şekil 2.16. Artı sınıfı bir dörtüçar (4I)'nın sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları	20
Şekil 2.17. Çapraz sınıfı bir dörtüçar (4x)'in kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları	20
Şekil 2.18. Çapraz sınıfı bir dörtüçar (4x)'in yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları	21
Şekil 2.19. Çapraz sınıfı bir dörtüçar (4x)'in yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları	22
Şekil 2.20. Çapraz sınıfı bir dörtüçar (4x)'nin sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları	22
Şekil 2.21. Artı sınıfı bir altıuçar (6I)'nın kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları	23
Şekil 2.22. Artı sınıfı bir altıuçar (6I)'nın yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları	24
Şekil 2.23. Artı sınıfı bir altıuçar (6I)'nın yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları	24
Şekil 2.24. Artı sınıfı bir altıuçar (6I)'nın sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları	25
Şekil 2.25. Çapraz sınıfı bir altıuçar (6x)'in kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları	26
Şekil 2.26. Çapraz sınıfı bir altıuçar (6x)'in yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları	27
Şekil 2.27. Çapraz sınıfı bir altıuçar (6x)'in yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları	277
Şekil 2.28. Çapraz sınıfı bir altıuçar (6x)'in sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları	28
Şekil 2.29. Artı sınıfı bir sekizuçar (8I)'nın kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları	29
Şekil 2.30. Artı sınıfı bir sekizuçar (8I)'nın yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları	30

Şekil	Sayfa
Şekil 2.31. Artı sınıfı bir sekizuçar (8I)'nın yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları	30
Şekil 2.32. Artı sınıfı bir sekizuçar (8I)'nın sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları	31
Şekil 2.33. Çapraz sınıfı bir sekizuçar (8x)'in kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları.....	32
Şekil 2.34. Çapraz sınıfı bir sekizuçar (8x)'in yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları	33
Şekil 2.35. Çapraz sınıfı bir sekizuçar (8x)'in yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları	33
Şekil 2.36. Çapraz sınıfı bir sekizuçar (8x)'in sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları	34
Şekil 3.1. Koordinat eksen takımları ve Euler açıları	36
Şekil 3.2. Dörtuçarın itki kuvvetleri ve kullanılan koordinat eksen takımları	38
Şekil 3.3. a) Toplam motor torku b) Sürüklenme torku c) İtke kuvvetinin hıza göre değişimleri.....	41
Şekil 3.4. a) İç rotorlu FDAM b) Dış rotorlu FDAM mekanik yapısı	43
Şekil 3.5. Bir Fırçasız DA Motor eşdeğer devresi	43
Şekil 3.6. Bir çapraz sınıfı dörtuçarın denetim çevrimi	53
Şekil 3.7. PD denetleyicinin blok diyagramı.....	54
Şekil 4.1. Çokluuçarın parametreleri, seçilen elamanları, performans değerleri	58
Şekil 4.2. Çokluuçarın uçabileceği menzil ve süre	58
Şekil 4.3. Tam itki durumunda çokluuçarın performans eğrileri	59
Şekil 4.4. eCalc ile elde edilen verilere göre seçilen motorlara ait veriler.....	65
Şekil 4.5. Çokluuçarın pervanelerinin özellikleri.....	66
Şekil 4.6. Motor ve sürücü alt sistemine ait komple blok.....	63
Şekil 4.7. Motorun dq dönüşümleri ve Elektromekanik hesaplamaları bloğu.....	64
Şekil 4.8. Motorun üç faz akımları.....	64
Şekil 4.9. Motorun üç faz gerilimi	65

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. Motorun üç faz Zıt EMK'sı	65
Şekil 4.11. Motorun çektiği toplam akım.....	66
Şekil 4.12. Motorun elektromanyetik torku	66
Şekil 4.13. Motorun hızı.....	66
Şekil 4.14. Manevra planlama bloğu.....	67
Şekil 4.15. Planlanan manevra hareketleri.....	68
Şekil 4.16. Gerçekleşen ve istenen gövde yalpa, yunuslama ve sapma oranları	69
Şekil 4.17. Yalpa, yunuslama ve sapma açıları	69
Şekil 4.18. X, Y ve Z yönlerinde ataletsel pozisyonlar	70
Şekil 4.19. X, Y ve Z yönlerinde ataletsel hızlar	70
Şekil 4.20. Gerçekleşen ve istenen motor hızı	71
Şekil 5.1. Bir dörtüçarın denetim sistemi genel yapısı	73
Şekil 5.2. Çokluuçarda kullanılan uçuş denetleyicisinin bileşenleri.....	75
Şekil 5.3. Çokluuçarda kullanılan çerçeve.....	76
Şekil 5.4. Çokluuçarda kullanılan motorlar	78
Şekil 5.5. a) küçük hatveli pervanenin itkisi, b) büyük hatveli pervanenin itkisi.....	79
Şekil 5.6. Çokluuçarda kullanılan pervaneler	80
Şekil 5.7. Çokluuçarda kullanılan ESC.....	82
Şekil 5.8. Çokluuçarda kullanılan batarya	84
Şekil 5.9. Faydalı yükün işlevsel yapısı.....	85
Şekil 5.10. Radyo Data Modemleri.....	85
Şekil 5.11. Çokluuçarda uzaktan görüntü almak için kullanılan kamera	87
Şekil 5.12. Bir taşınabilir yer kontrol istasyonu	90
Şekil 5.13. Tezde kullanılan taşınabilir yer kontrol istasyonu.....	90
Şekil 5.14. Taşınabilir bir yer kontrol istasyonunun işlevsel yapısı	91

Şekil	Sayfa
Şekil 5.15. Bir mobil yer kontrol istasyonu	92
Şekil 5.16. Tezde kullanılan mobil yer kontrol istasyonu	93
Şekil 5.17. Mobil yer kontrol istasyonunun işlevsel yapısı	94
Şekil 5.18. Denetim telemetri modemleri	94
Şekil 5.19. Görüntü telemetri modemleri	95
Şekil 5.20. Mission Planner uygulamasının ekran görünümü	96
Şekil 6.1. a), b) ve c)'de otomobilin hareketi görülmektedir. d'de a'dan b'ye, e'de b'den c'ye ilerleyişte hareketin yönü ve şiddeti vektörel olarak görülmektedir	98
Şekil 6.2. Sekizli ardışık ölçüme sahip küpün merkezindeki görüntünün x, y, t deki türevleri	99
Şekil 6.3. Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisinin birkaç imge örneği görülmektedir	103
Şekil 6.4. Adelson Bergen algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi	103
Şekil 6.5. Farnebaeck algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi ..	104
Şekil 6.6. FleetJepson algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi .	104
Şekil 6.7. HornSchunck algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi	105
Şekil 6.8. LucasKanade algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi	105
Şekil 6.9. MotaEtAl algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi	106
Şekil 6.10. Nagel algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi	106
Şekil 6.11. OtteNagel algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi	107
Şekil 6.12. UrasEtAl algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi	107
Şekil 6.13. Heeger algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi	108
Şekil 6.14. Optik Akış Kullanarak Otomobil Takip Etme uygulamasına ait bir Simulink modeli	108
Şekil 6.15. Hareketli Bölgelerin Saptanması Bloku Simulink modeli	109
Şekil 6.16. Sonuçlar Bloku'nun Simulink modeli	109

Şekil	Sayfa
Şekil 6.17. 3,237'ci saniyedeki özgün görüntü	110
Şekil 6.18. 3,237'ci saniyedeki hareketli araçların vektörel yön ve hızları	111
Şekil 6.19. 3,237'ci saniyedeki hareketli araçların ikili sayı özellik görüntüleri.....	111
Şekil 6.20. 3,237'ci saniyedeki hareketli araçlar	112
Şekil 6.21. Hareketli nesne tespiti ve takibi için geliştirilen MATLAB GUI arayüzü ..	113



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
R	Pervanenin yarıçapı
P_i	i . Pervanenin ürettiği güç
τ_L	Yük momenti
X_e	Yerkürenin kuzeyini gösteren sabit koordinat eksen
$\dot{\omega}$	Pervanenin açısal ivmesi
ρ	Hava yoğunluğu
$[\tau_\phi, \tau_\theta, \tau_\psi]$	Tork vektörü bileşenleri
p_m	Motor kutup sayısı
$\bar{u}$ ve $\bar{v}$	Lokal ortalamalar
$\dot{\phi}_{ref}$	Arzu edilen yalpa açısının değişim oranı
ϕ_{ref}	Arzu edilen yalpa açısı
$\dot{\theta}_{ref}$	Arzu edilen yunuslama açısının değişim oranı
R_e^b	Dönüşüm matrisi
$\tau_{bdevinim}$	Kararlı devinim etkisi torku (Gyroscopic Effect Torque)
$f_A(\theta), f_B(\theta), f_C(\theta)$	A, B ve C fazlarına ait θ 'ya göre değişen zıt emk dalga şekillerinin fonksiyonları
A	Pervanenin süpürdüğü alanı
θ_{ref}	Arzu edilen yunuslama açısı
B	Sürtünmeyi temsil etmektedir.
z_b	Çokluuçarın gövdesine dik açıyla gelen eksen
y_b	Çokluuçarın sağ tarafını gösteren eksen
$D(t)$	Türevsel hata

Simgeler	Açıklamalar
E	Toplam zıt emk
$e(t)$	PD denetleyicide hata
e_A, e_B, e_C	Zıt emk
τ_e	Fırçasız DA Motorlarının elektromanyetik torku
I	Çokluuçarın atalet momenti
ω_i	i . motorunun hızı
τ_i	i .ci motorun torku
i_A, i_B, i_C	Faz akımları
F_i	İtke kuvveti
J	Atalet momenti
K_d	Türevsel katsayı
K_p	Oransal katsayı
K_V	Zıt emk sabiti
L_m	Karşılıklı endüktans
L_s	Öz endüktans
I_{zz}	Motor z-ekseni etrafındaki atalet momenti
n	Toplam motor sayısı
O_b	Gövde üzerindeki (hareketli) koordinat sistemi (body frame)
O_e	Dünya üzerindeki (sabit) koordinat sistemi (earth frame)
P	Fırçasız DA Motorlardan alınan güç
p	Yalpa hızı
$P(t)$	Oransal hata
ω	Pervanenin açısal hızı
q	Yunuslama hızı
R	Faz dirençler

Simgeler	Açıklamalar
r	Sapma hızı
F_D	Sürüklenme kuvveti
b	Sürüklenme katsayısı
I_T	Toplam atalet momenti
$u(t)$	Denetleyici
u_b	Boylamsal hız
v_A, v_B, v_C	Faz gerilimleri
v_b	Enlemsel hız
x	Boylam konumu
x_b	Çokluuçarın burnunu gösteren eksen
y	Enlem konumu
Y_e	Yerkürenin doğusunu gösteren sabit koordinat eksen
Z_e	Yerkürenin merkezini gösteren sabit koordinat eksen
y_h	Hava akış hızı
$K_{p,z}$	Yükselti
$K_{d,z}$	Yükseltinin değişim oranı
z	Yükseklik konumu
θ	Yunuslama açısı
τ_z	z eksenindeki torkun denklemi;
τ_θ	θ açısıyla yapılan sapma hareketi için her pervanenin ürettiği torkların toplamı
τ_ϕ	ϕ açısıyla yapılan sapma hareketi için her pervanenin ürettiği torkların toplamı
τ_ψ	ψ açısıyla yapılan sapma hareketi için her pervanenin ürettiği torkların toplamı
ϕ	Yalpa açısı

Simgeler Açıklamalar

ψ	Sapma açısı
ω	Açısal hız
ω	Rotor hızı

Kısaltmalar Açıklamalar

APM	AutoPilot Mega
Birotor/Bicopter	İkiuçar (Bir kola yerleştirilmiş iki motor ve komşusuna göre ters yöne dönen iki pervaneden oluşmaktadır.)
CCW	Saat yönünün tersi dönüş
Computer vision	Bilgisayarlı görü
CW	Saat yönünde dönüş
Drone	Çokluuçar (helikopterlerdeki ana rotor/lar (döner kanatlar) ve bir kuyruk rotoru yerine çok pervane ile kaldırma kuvveti sağlayarak dikine iniş kalkış yapabilen, üç ekseninde hareket yeteneğine sahip uçan hava araçlarıdır.)
eCalc	Uçak, çokluuçar, İHA ve helikopter sürücülerinin benzetimini yapmak, hesaplamak, değerlendirmek ve tasarlamak için geliştirilmiş web tabanlı bir program
EO	Electro-Optical (Elektro Optik)
ESC	Elektronik Hız Denetleyici (Electronic Speed Controller)
FDAM	Fırçasız DA Motoru
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
GUI	Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (Graphical User Interface)
Gyro	Gyroscope (Dönü Ölçer)
Hexarotor/Hexacopter	Altıuçar
IMU	Inertial Measurement Unit (Ölçüm Ünitesi -Sensörler)
IR	Kızılötesi kameralar
İHA	İnsansız Hava Aracı
İHAS	İnsansız hava aracı sistemi

Kısaltmalar	Açıklamalar
KBRN	Kimyasal, biyolojik radyolojik ve nükleer
LIDAR	(Light Detection and Ranging; veya Laser Imaging Detection and Ranging)
LiPo Battery	LiPo (Lithium Polymer) Batarya
Multicopter	Çokluuçar
Multirotor	Çokluuçar
Octorotor/Octocopter	Sekizuçar
Optical Flow	Optik Akış
PD denetleyici	Oransal Türevsel Denetleyici (Proportional Derivative Controller)
Quadrotor/Quadcopter	Dörtuçar
RPM	Revolution Per Minute (1 Dakikadaki devir sayısı) (d/d) (devir/dakika)
S	Batarya hücre sayısı
SAR	Sentetik Açıklıklı Radar
SSM	Savunma Sanayi Müsteşarlığı
SHGM	Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
Trirotor/Tricopter	Üçuçar
UGT	Uzak Görüntü Terminali
UYT	Uydu Yer Terminali
YKİ	Yer Kontrol İstasyonu
YVT	Yer Veri Terminali

1. GİRİŞ

Teknolojide elde edilen gelişmelerle birlikte İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemlerinin kullanım alanları yaygınlaşmakta ve çeşitlenmektedir. 20. Yüzyılın başlarından beri kullanılan İHA'lar, iki binli yılların başlarından günümüze dek hızla yayılmış, sistemlerin sayısı ve çeşitleri ile birlikte günlük hayatta kullanım alanı artmıştır. İHA'ların bugün kat ettiği gelişmeler Archibald Montgomery Low, Elmer Ambrose Sperry, Peter Cooper Hewitt'in 1.Dünya savaşı öncesi ve sırasındaki çalışmalarına dayanmaktadır [1].

Radyo İle Güdüm Sistemleri (radio guidance systems)"nin babası sayılan İngiliz bilim adamı Low, 1. Dünya savaşı sırasında güdümlü roketler, uçaklar ve torpidolar geliştirmiştir. Aynı yıllarda, Hewitt ve Sperry, hedefine patlayıcı taşıma kabiliyeti olan bir pilotsuz uçak ya da otomatik uçak olarak adlandırılan bir hava torpidosu geliştirmişlerdir.

İHA'larla ilgili çalışmalar İkinci Dünya Savaşı ve sonrasında da devam etmiş, Vietnam, Afganistan ve Irak Savaşları dahil günümüze kadar birçok askeri operasyonda kullanılmış ve halen de kullanılmaya devam etmektedirler.

1960'lı ve 1970'li yıllarda, Amerikan Hava Kuvvetleri için insansız hava araçları geliştirilmeye devam edilmiştir. 1980'li ve 1990'lı yıllarda yetenekleri artırılmış ve küçülmüş İHA'lar özellikle silahlı kuvvetlerinde yaygınlaşmış, silahlı İHA'lar da kullanılmaya başlanmıştır. 2000'li yıllardan sonra, İHA sistemlerinin gelişimi, teknolojik ilerlemelerin etkisiyle büyük bir ivme kazanmış ve sivil amaçlı uygulamalarda İHA kullanımı günlük yaşantımıza girmiştir. İHA'lar özellikle son yıllarda tüm sektörlerde büyük ilgi görmüş olup, kullanım alanları her geçen gün artmaktadır.

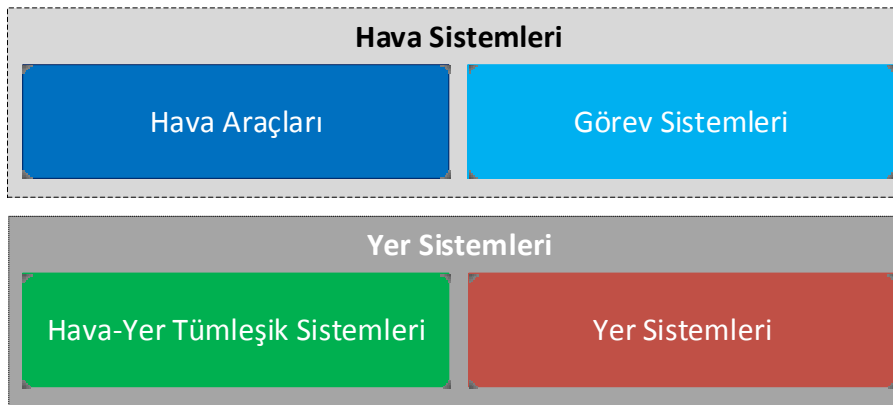
İHA'ların kullanım alanlarına örnek olarak; uzaktan algılama, istihbarat ve güvenlik amaçlı kullanım, kıyı ve sahil şeridinin gözlenmesi, hassas bölgelerin gözlenmesi (havaalanları, yollar, tren rayları, nehirler, barajlar, boru hatları, vb.) gözlenmesi, haritacılık, arama/kurtarma çalışmaları, çevresel gözlemler, kirlilik tespiti, hava durumu izleme, yangın izleme, tarımsal uygulamalar, kentsel dönüşüm çalışmaları, doğal afetlerin izlenmesi, arkeolojik çalışmalar vb. alanlar sayılabilir.

Uluslararası araştırma şirketi Gartner’ın yaptığı araştırmalar sonucunda yayınladığı rapora göre drone pazarının dünya çapında 2020 yılında 11,2 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir [2]. Bir diğer araştırmaya göre ise İHA pazarının dünya çapında 2025 yılında 50 milyar doları aşacağı tahmin edilmektedir [3].

İnsansız Hava Araçları Sistemleri Tanımları

Dünya genelinde bu sistemler için Drone, İHA, İHA Sistemi ve Uzaktan Kontrol Edilen Hava Aracı Sistemi gibi çok farklı ifadeler kullanılmaktadır. Bu kavram karmaşasını gidermek için, “Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİNİN TESCİL, OPERASYON, SEYRÜSEFER, BAKIM VE UÇUŞA ELVERİŞLİLİK USUL VE ESASLARINA İLİŞKİN TALİMAT (SHT-İHA [4])”ve Savunma Sanayi Müsteşarlığı tarafından 2011-2030 yıllarını kapsayan 2011 yılında yayınlanmış “Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası [5]”ndaki tanımlar kullanılmıştır.

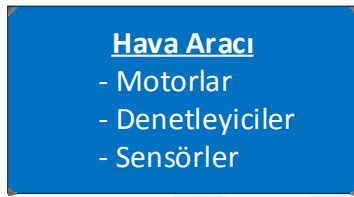
SSM’nin Yol Haritasında İnsansız Hava Aracı Sistemi (İHA Sistemi), “hava aracı, görev sistemleri, yer sistemleri ve hava-yer tümleşik sistemlerinin bileşiminden oluşan ve görevin icrasına yönelik gerekli tüm bileşenleri kapayan” sistem olarak tanımlanmaktadır. Şekil 1.1’de SSM’ye göre İHA sistemi ve alt sistemler görülmektedir.



Şekil 1.1. İHA sistemi ve alt sistemler

SHT-İHA talimatında ise “İnsansız hava aracı sistemi (İHA Sistemi): İHA ile kontrol istasyonu, komuta ve kontrol veri bağı, kalkış ve iniş sistemi gibi uçuşun sağlanması için gerekli olan, birbirinden ayrı sistem elemanlarının bütünü” olarak tanımlanmaktadır.

SSM'nin Yol Haritasında “İnsansız Hava Aracı (İHA), kendisini kullanan insanı taşımayan, kaldırma kuvveti oluşturmak için aerodinamik kuvvetleri kullanan, kendi başına uçabilen veya uzaktan kumanda edilebilen, sarf edilebilir veya yeniden kullanılabilir ve öldürücü veya öldürücü olmayan faydalı yük taşıyabilen motorlu hava aracıdır.” şeklinde tanımlanmaktadır. SSM'nin Yol Haritasında, balistik veya yarı balistik araçlar, seyir füzeleri ve top mermilerini İHA olarak kabul etmemektedir. Yol haritasında “Platform”, Hava Aracı ile eş anlamlı olarak kullanılmıştır. Şekil 1.2’de SSM’ye göre Hava Aracını oluşturan birimler görülmektedir.



Şekil 1.2. SSM’ye göre hava aracını oluşturan birimler

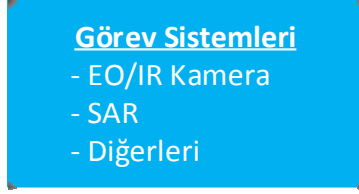
İnsansız hava aracı, göreve ve haberleşmeye yönelik sistemler dışında kalan ve uçuşla ilgili tüm sistemleri (itki, iniş/kalkış, elektrik, buzdan koruma, aviyonik sistemler, vb) ve hava aracı yapısını (gövde, kanatlar vb.) kapsamaktadır.

SHT-İHA talimatında ise “İnsansız hava aracı (İHA): İHAS’ın bir bileşeni olarak işletilen hava aracı; aerodinamik kuvvetler aracılığıyla sürekli uçuş yapma yeteneğinde olan, üzerinde (insan) pilot bulunmaksızın uzaktan İHA pilotu tarafından kontrol edilerek veya otonom operasyonu İHA pilotu tarafından planlanarak uçurulan ya da havada kalabilen hava aracı” olarak tanımlanmaktadır.

Her iki tanımda da hava araçlarına karşılık olarak sıklıkla kullanılan “Drone” kelimesinin Türkçe karşılığı verilmemiştir. Bu tezde drone’nin Türkçe karşılığı olarak “Çokluuçar” kullanılmıştır.

SSM'nin Yol Haritasında Görev Sistemleri, “İHA’lar tarafından gerçekleştirilecek olan göreve yönelik olarak taşınan her türlü görüntüleme, veri toplama, ölçüm yapma, vb. işleve yönelik sistemler, hedef tespit, işaretleme, algılayıcı sistemleri, mühimmatlar ve kendini koruma sistemleri ile her türlü iz azaltıcı/artırıcı sistemlerden oluşmaktadır” diye

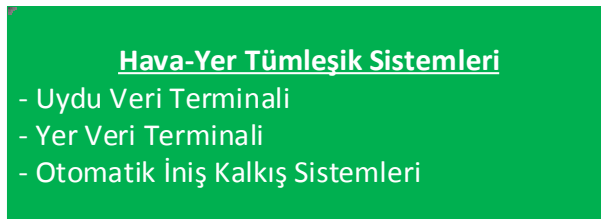
tanımlanmaktadır. Yol haritasında “Faydalı Yük”, Görev Sistemleri ile eş anlamlı olarak kullanılmıştır. Şekil 1.3’te SSM’ye göre Görev Sistemleri görülmektedir.



Şekil 1.3. SSM’ye göre görev sistemleri

Günümüzün görev sistemlerinin büyük bir çoğunluğu görüntü sensörleridir. Bunlardan en başta gelenler, Elektro Optik (EO) ve Kızılötesi (IR) kameralar ile Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) sistemleridir. Ayrıca, Hiperspektral ve Multispektral kameralar da son dönemde askeri uygulamalar kapsamında kullanılmaya başlanmıştır. Lazer mesafe bulucu ve lazer işaretleyici sistemlerle hedeflerin anlık mesafe ve hız bilgisi hassas doğrulukta elde edilebilmekte ve ayrıca lazer güdümlü mühimmatlar için hedefler işaretlenebilmektedir. Sinyal istihbaratı kapsamında haberleşme ve elektronik istihbarat faydalı yükleri ile yön belirleme (D/F) sistemleri, oldukça yoğun bir çizelgede kullanılmaktadır. Kimyasal, biyolojik radyolojik ve nükleer (KBRN) tespit sensörleri, çeşitli manyometreler ile karbondioksit, metan ve hidrokarbon tespit eden sensörler de İHA’larda kullanılabilmektedir. Aktif uzaktan algılama sistemi olan LIDAR (Light Detection and Ranging) ile arazinin ve yerdeki nesnelerin hassas üç boyutlu görüntüsü elde edilebilmektedir. Haberleşme faydalı yükleri sayesinde ses ve veri, daha uzak veya normal yöntemlerle kapsanamayan bölgelere götürülebilir. Hâlihazırda uydularla gerçekleştirilen TV, veri, GPS yayını gibi bazı uygulamalara ilave olarak internet hizmeti verilmiştir [5].

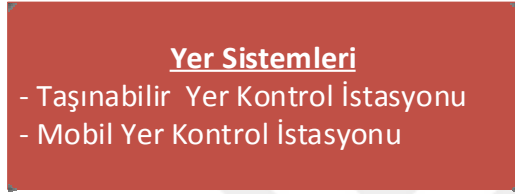
SSM’nin Yol Haritasında Hava-Yer Tümleşik Sistemleri, “İşlevleri itibarı ile karşılıklı olarak hem hava aracında hem de yerde çeşitli alt sistemlere ayrılmış her türlü haberleşme, veri linki, otomatik iniş/kalkış sistemi gibi sistemlerden oluşmaktadır” şeklinde tanımlanmaktadır. Şekil 1.4’te SSM’ye göre Hava-Yer Tümleşik Sistemleri görülmektedir.



Şekil 1.4. SSM’ye göre hava-yer tümleşik sistemleri

Otomatik kalkış ve iniş sistemi (OKİS), İHA pilotunun doğrudan müdahalesi olmadan, İHA'nın otomatik olarak kalkış ve inişini gerçekleştiren sistemdir.

SSM'nin Yol Haritasında Yer Sistemleri, "İHA'nın ve görev sistemlerinin çeşitli birimler (sabit, taşınabilir, portatif yapılar/istasyonlar/terminaller) üzerinden komuta kontrolünü gerçekleştiren, bu sistemlerden gelen görüntüleri/verileri kıymetlendiren, arşivleyen, veri dağıtımını gerçekleştiren ve göreve yönelik planlama/analiz/takip işlevlerini yerine getiren sistemlerden oluşmaktadır" şeklinde tanımlanmaktadır. Şekil 1.5'te SSM'ye göre Yer Sistemleri görülmektedir.



Şekil 1.5. SSM'ye göre yer sistemleri

Şekil 1.6'da SSM'ye göre Taşınabilir Yer Kontrol İstasyonu, Şekil 1.7'de ise SSM'ye göre Mobil Yer Kontrol İstasyonu görülmektedir.

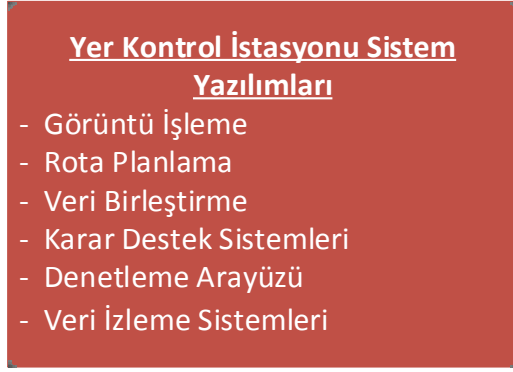


Şekil 1.6. SSM'ye göre taşınabilir yer kontrol istasyonu



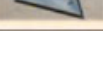
Şekil 1.7. SSM'ye göre mobil yer kontrol istasyonu

SSM'ye göre Yer Kontrol İstasyonlarında bulunması gereken Sistem Yazılımları Şekil 1.8'de görülmektedir.



Şekil 1.8. SSM'ye göre yer kontrol istasyonu sistem yazılımları

İHA'lar çok genel olarak; teknik özelliklerine göre (ağırlıklarına göre, yakıt/enerji kaynağına göre, kanat yapısına göre, otomatik veya uzaktan kumandalı olmasına göre, vb.), kullanım amaçlarına göre (askeri amaçlı (keşif, silah, saldırı vb.) ve sivil (hobi, bilimsel ve ticari)) ve uçuş menzil ve irtifalarına göre sınıflandırılmaktadır. İHA'ların sınıflandırması konusunda dünya genelinde henüz uzlaşılmış bir yaklaşım yoktur. Bu konuda en kabul edilen sınıflandırma NATO'ya aittir. İngiltere Savunma Bakanlığı tarafından hazırlanan "Müşterek Doktrin 2/11" dokümanında, NATO sınıflandırmasına sivil İHA kategorileri de eklenmiştir. Bu iki doküman dikkate alınarak hazırlanan İHA sınıflandırması Şekil 1.9'da verilmiştir [6].

Sınıfı	Kategorisi	Görev Yüksekliği (ft)	Görev Yarıçapı (km)	Sivil Kategori	Örnek Platform
Sınıf I (150 kg.dan hafif)	Mikro (<2 kg)	<200 (AGL)	5 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 1 Küçük İHA (<20 kg)	Black Widow 
	Mini (2-20 kg)	<3.000 (AGL)	25 (LOS)		Bayraktar, Malazgirt, Scan Eagle 
	Küçük (>20 kg)	<5.000 (AGL)	50 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 2 Hafif İHA (20-150 kg)	Hermes 90 
Sınıf II (150-600 kg)	Taktik	<10.000 (AGL)	200 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 3 İHA (>150 kg)	Bayraktar Taktik, Karayel, Aerostar 
Sınıf III (600 kg.dan ağır)	Orta İrtifa Uzun Havada Kalış (MALE)	<45.000 (MSL)	Limitsiz (BLOS)		ANKA, Heron, Predator, Reaper 
	Yüksek İrtifa Uzun Havada Kalış (HALE)	<65.000	Limitsiz (BLOS)		Global Hawk 
	Saldırı / Muharebe	<65.000	Limitsiz (BLOS)		X-47B, Phantom Ray 

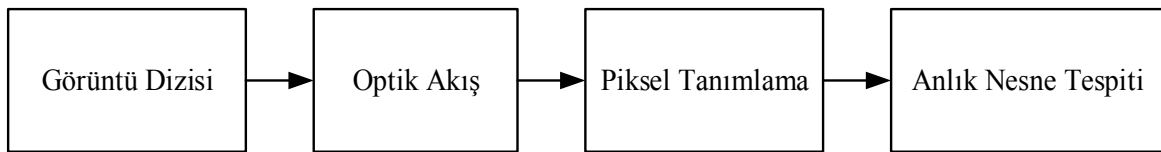
Şekil 1.9. İHA sistemleri sınıflandırması

Araştırmanın Amacı

Günümüzde İHA'lar sıklıkla uzaktan algılama, fotogrametri, trafik denetimi ve büyük tesislerin gözetimi gibi birçok farklı amaçla kullanılmaktadırlar. Uzaktan algılama ve fotogrametri amaçlı kullanılan İHA'lara kullanım amaçlarına göre farklı algılayıcı sistemler yerleştirilebilmektedir. Bu algılayıcı sistemler, video, dijital, termal, kızıl ötesi kamera sistemleri ve LİDAR sistemlerin birleşimi şeklinde olabilmektedir [7].

Bu tezde Uçan bir İHA'da bulunan kamerayla elde edilen görüntülerle hareketli nesnelerin tespiti ve takibi ele alınmıştır. İHA uçuğu için üzerinde bulunan kamerada hareket etmektedir. Bu durumda problem hareketli kamerayla hareketli nesnelerin tespiti gibi çözülmesi çok daha zor bir hal almaktadır [8-11].

Uçan bir İHA'dan hareket eden nesneleri tespit etmeye çalışırken çözülmesi gereken asıl problem, aracın hareketinin neden olduğu görüntüdeki değişiklikleri hareketli nesnelerden ayırmaktır. Bu tezde, bir çokluuçarda bulunan normal bir kameradan alınan anlık görüntülerden hareketli nesnelerin gerçek zamanlı olarak tespit ve takip edilmesi için bir Optik Akış yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem, kameradan alınan görüntü çerçevelerinin bir optik akış algoritması ile karşılaştırılarak değişikliklerin izlenmesine dayanmaktadır [12]. Şekil 1.10'da hareketli nesnelerin bir İHA ile tespit ve takip işleminin genel yapısı görülmektedir.



Şekil 1.10. Hareketli nesnelerin bir İHA ile tespit ve takip işleminin genel yapısı

Görüntü dizilerinin işlenmesindeki temel problem Optik Akışının veya görüntü hızlarının ölçülmesi zorluğudur. Optik Akış, iki boyutlu hareket alanına yaklaşık bir hesaplama yapmaktadır[13-21]. Şekil 1.10'da görülen tespit ve takip işleminde bir görüntü dizisinden hareketli nesnelerin, konum, boyut ve hız gibi özellikleri elde edilmektedir.

Bunun için öncelikle, multicopter, multirotor veya drone diye adlandırılan 'çokluuçar' ya da 'çokluuçar'ların çalışma ilkeleri ele alınmıştır. Daha sonra bir dörtüçarı modellemek için hareket denklemleri çıkarılmış, eksen takımları arasındaki ilişki matematiksel olarak

gösterilerek ve Newton'un genelleştirilmiş ikinci yasasından yararlanılarak serbestlik açılarıyla ilişkili eşitlikler elde edilmiştir.

Tezde İHA olarak bir dörtüçar kullanılmıştır. Bu dörtüçarın teorik çalışmaları ve performans özellikleri çıkarılmıştır. Daha sonra, bir İHA genel sistemin ve alt sistemlerin için gerekli olan donanım ve yazılım mimarileri tasarlanarak uygulamada kullanılacak dörtüçar gerçekleştirilmiştir.



2. ÇOKLUUÇAR YAPILARI

Multicopter, multirotor veya drone diye adlandırılan ‘çokluuçar’ son zamanlarda gittikçe artan şekilde ilgi çekmektedirler. Çokluuçarlar, helikopterlerdeki ana rotor/lar (döner kanatlar) ve bir kuyruk rotörü yerine çok pervane ile kaldırma kuvveti sağlayarak dikine iniş kalkış yapabilen, üç eksenle hareket yeteneğine sahip uçan hava araçlarıdır. Çokluuçar yapıları anlatılırken kullanılan şekiller ve anlamları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

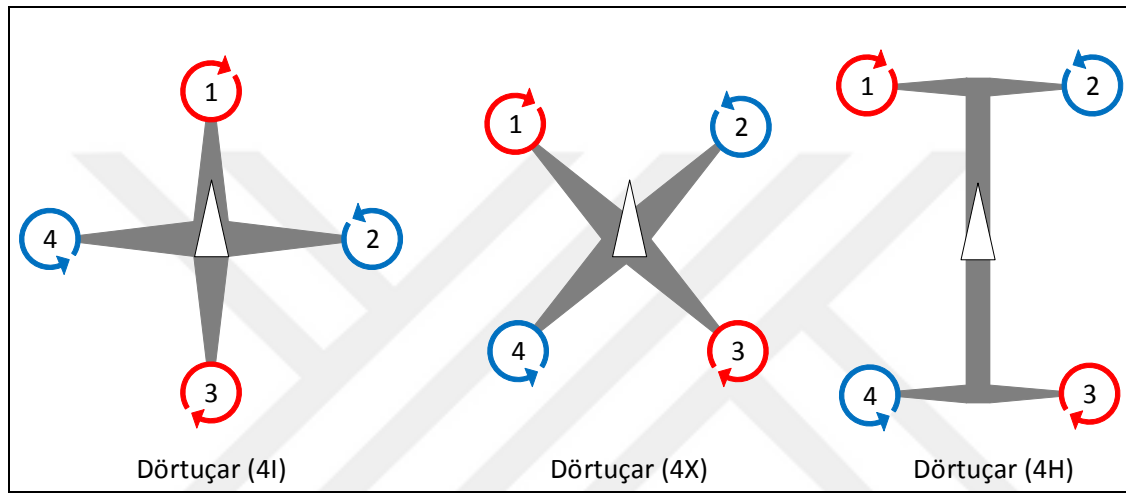
Çizelge 2.1. Çokluuçar yapıları anlatılırken kullanılan şekiller ve anlamları

	Saat yönünde dönüş
	Saat tersi yönde dönüş
	Çokluuçarın kalkış/yukarı yönde hareketi
	Çokluuçarın iniş/aşağı yönde hareketi
	Çokluuçarın ileri yönde yunuslama hareketi
	Çokluuçarın geri yönde yunuslama hareketi
	Çokluuçarın sağa yalpa hareketi
	Çokluuçarın sola yalpa hareketi
	Çokluuçarın saatin yönünde dönüş sapma hareketi
	Çokluuçarın saatin tersi yönde sapma hareketi
	Yüksek dönüş hızı
	Orta dönüş hızı
	Düşük dönüş hızı

Çokluuçarlar, kullanılan motor ya da pervane sayısına ve bunların düzenlenme şekillerine göre adlandırılırlar. Çokluuçarlarda, artı (+), çapraz (x) ve H şekillerinde simetrik olarak düzenlenmiş 3, 4, 6 ve 8’li motor ve pervaneler kullanılmaktadır [22]. Değişken açılı

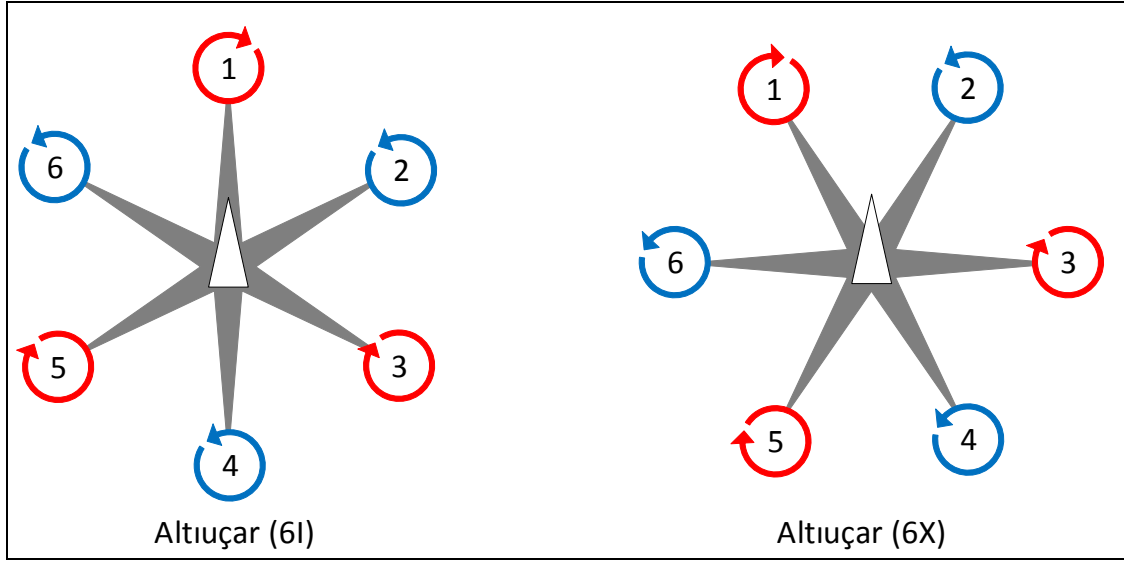
pervanelere ya da fan tipi pervanelere sahip çeşitleri de bulunmaktadır. Şekiller 2.1-2.11’de farklı yapılara sahip çokluuçarlar gösterilmiştir.

Şekil 2.1. Çeşitli dörtuçar yapıları gösterilmiştir. Dörtuçarlar, artı, çapraz ve H şekillerinde düzenlenmiş kollara yerleştirilmiş dört motor ve komşularına göre ters yöne dönen dört pervaneden oluşmaktadır. Daha kolay denetlenmesi ve daha fazla hızlanma özellikleri nedeniyle genellikle çapraz (x) sınıfı yapılar tercih edilmektedir [22].

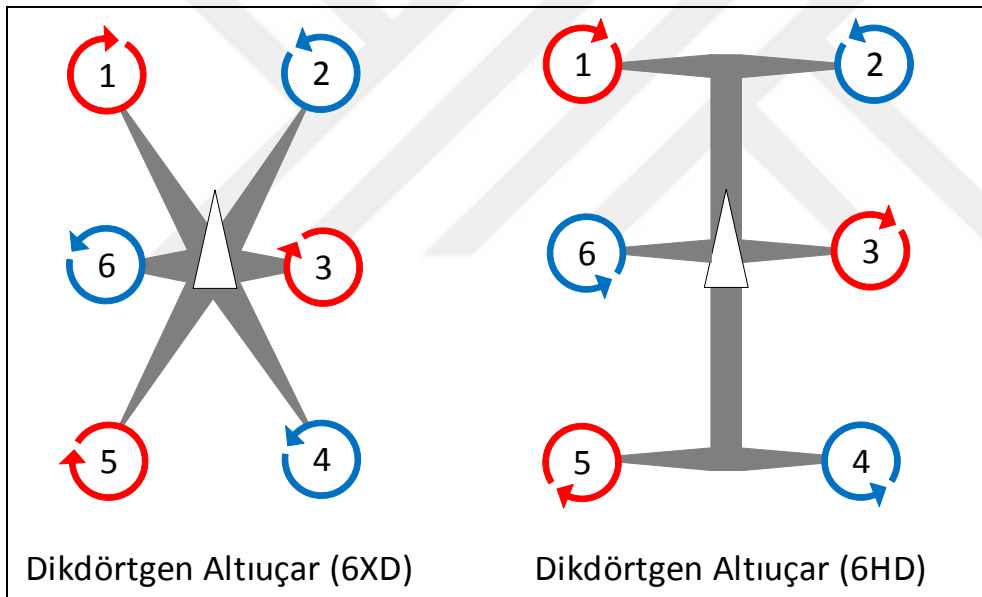


Şekil 2.1. Çeşitli dörtuçar yapıları

Altıuçarlar, çapraz, artı ve H şekillerinde düzenlenmiş kollara yerleştirilmiş altı motor ve komşularına göre ters yöne dönen altı pervaneden oluşmaktadır. Altıuçarlar, dörtuçarlara çok benzemekle birlikte daha fazla motor ve pervane kullanıldığından yapıları daha büyüktür ve daha fazla yük kaldırabilmektedirler. Şekil 2.2’de artı ve çapraz altıuçar yapıları, Şekil 2.3’te dikdörtgen altıuçar yapıları gösterilmiştir. Bu çokluuçarlar, motorun birisinde ya da ikisinde bir arıza oluştuğu zaman güvenli bir şekilde iniş yapabildikleri için dörtuçarlara göre daha güvenli uçuş sağlayabilmektedirler.

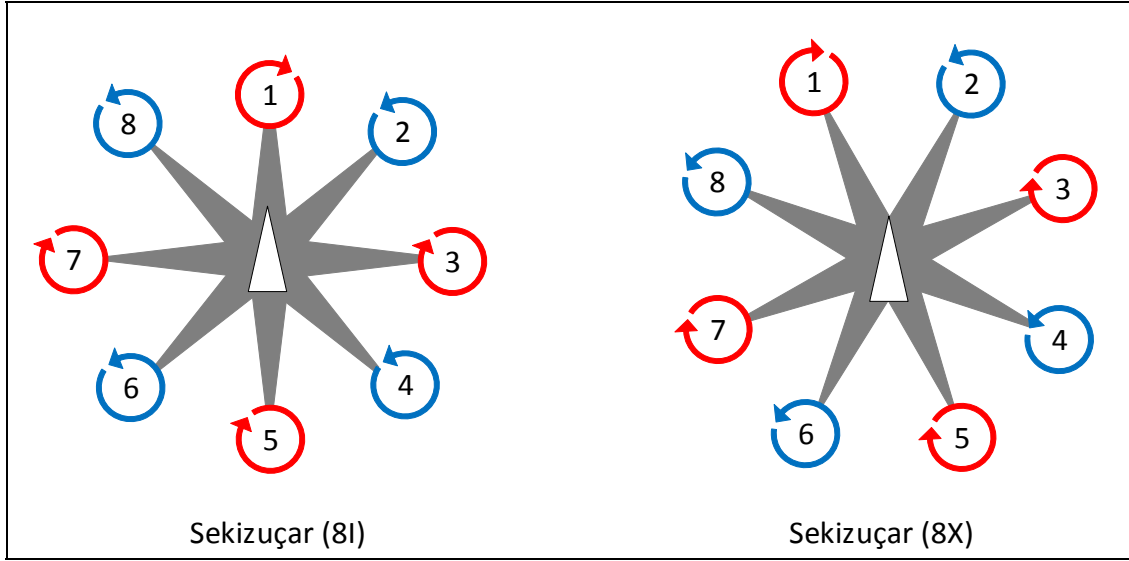


Şekil 2.2. Altıuçar yapıları



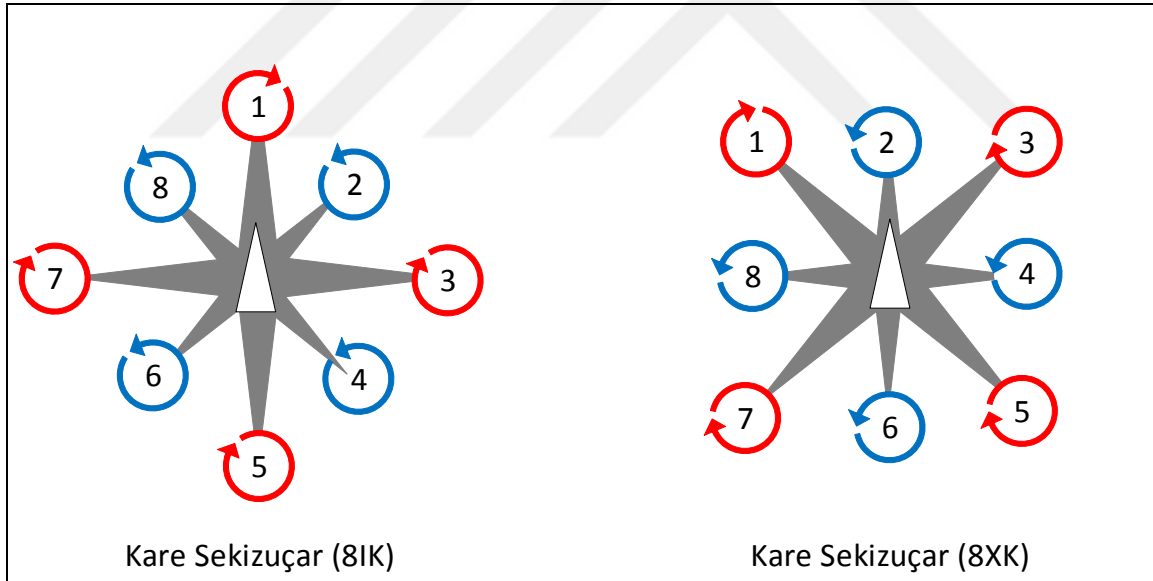
Şekil 2.3. Dikdörtgen altıuçar yapıları

Sekizuçarlar, çapraz, artı ve H şekillerinde düzenlenmiş sıralı ve çiftli kollara yerleştirilmiş sekiz motor ve komşularına göre ters yöne dönen sekiz pervaneden oluşmaktadır. Sekizuçarlar, altıuçarlar ve dörtuçarlara çok benzemekle onlara göre daha fazla yük kaldırmaktadırlar. Sekiz uçarlar, motorun birisinde ya da ikisinde bir arıza oluştuğu zaman güvenli bir şekilde iniş yapabildikleri için dörtuçarlara veya altıuçarlara göre daha güvenli uçuş sağlayabilmektedirler. Şekil 2.4'te artı ve çapraz sekizuçar yapıları görülmektedir.



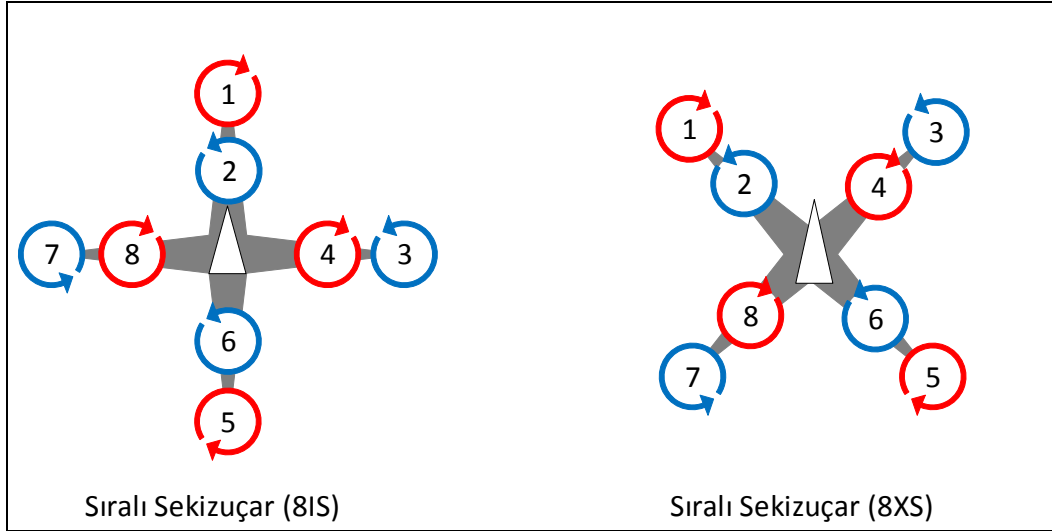
Şekil 2.4. Sekizuçar yapıları

Şekil 2.5'te artı ve çapraz kare sekizuçar yapıları görülmektedir.



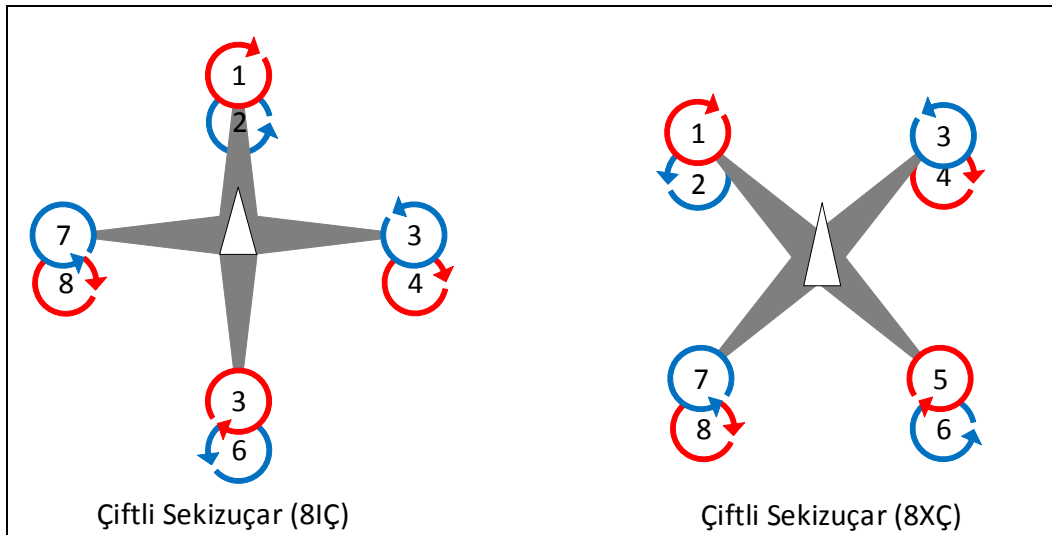
Şekil 2.5. Kare sekizuçar yapıları

Şekil 2.6'da artı ve çapraz sıralı sekizuçar yapıları görülmektedir. Bu yapılarda sekiz motor ve pervane kullanılmasına rağmen daha az kol bulunmaktadır.



Şekil 2.6. Sıralı sekizuçar yapıları

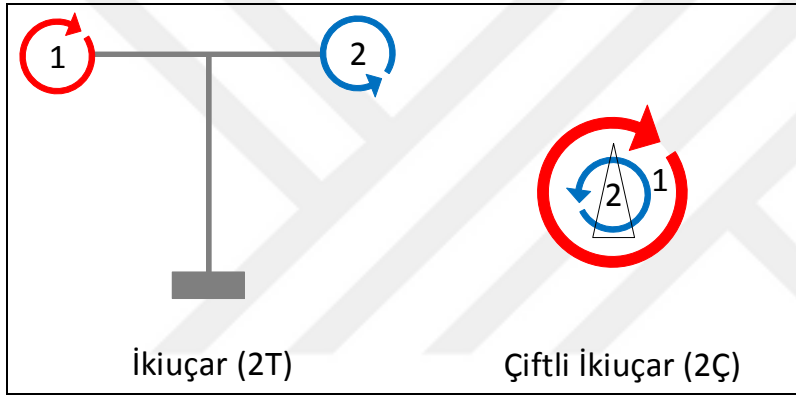
Şekil 2.7’de çiftli sekizuçar yapıları gösterilmiştir. Diğer sekizuçarlar gibi sekiz motor ve pervaneye sahip olmalarına karşın her bir kola, biri üstte ve biri aşağıda olmak üzere iki motor yerleştirilmiştir. Bu yapılar diğer sekizuçarlara ile benzer kaldırma yeteneği için daha kompakt olmaktadır. Bununla birlikte, çift motor düzeninden dolayı alttaki motor zaten hızlanmış havanın içinde döneceğinden verimleri diğerlerine göre %10-20 oranında düşük olmaktadır. Bu sorun alttaki motorlar için daha yüksek devirli bir motor kullanarak ya da pervane açılarını üstekine göre daha yükselterek hafifletilebilmektedir.



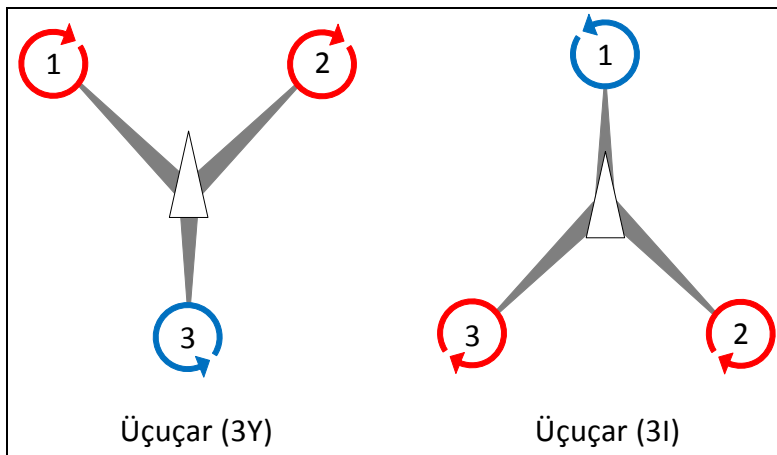
Şekil 2.7. Çiftli sekizuçar yapıları

2.1. Nadir Kullanılan Çokluuçar Yapıları

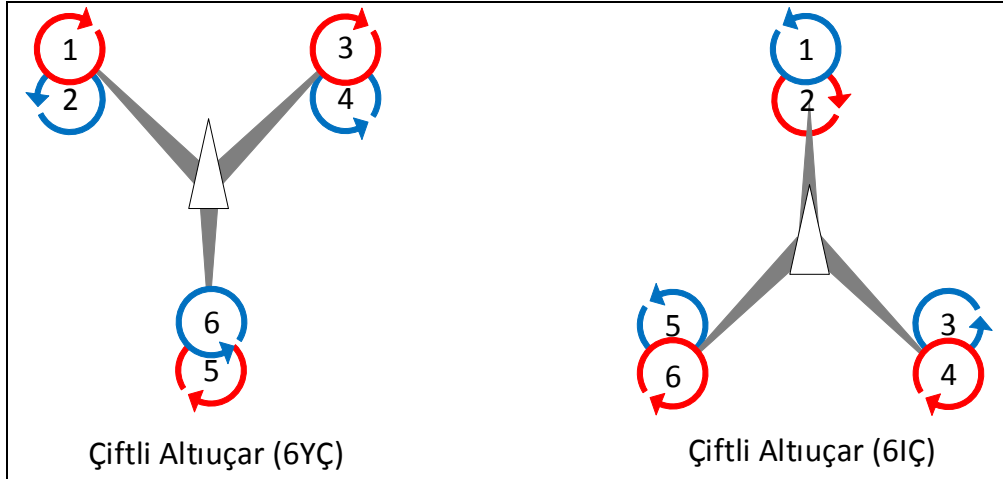
İkiuar, iftli İkiuar, Üuar ve iftli Altıuçar gibi nadir kullanılan Çokluuçar yapıları da bulunmaktadır. Kullanılan nadir Çokluuçar yapıları Şekil 2.8-2.11’de görölmektedir. İkiuar ve iftli İkiuarlar, yunuslama, yalpa, yuvarlanma ve sapma hareketleri için bağımsız olarak ileri ve geriye eğilebilen sadece iki pervane kullanılmaktadırlar. Bu yapılar, sarkaç etkisi nedeniyle kararsız olabilmektedirler. Üuarlar, sadece üç pervane kullandıklarından saat yönünde ve saatin tersi yönünde eşit olmayan sayıda pervaneye sahiptirler. Bu nedenle manevra hareketleri için pervanenin birinin servo aktüatör kullanılarak bir tarafa eğilmesi gerekmektedir. Uçuşları çok kararlı olmayabilmektedir.



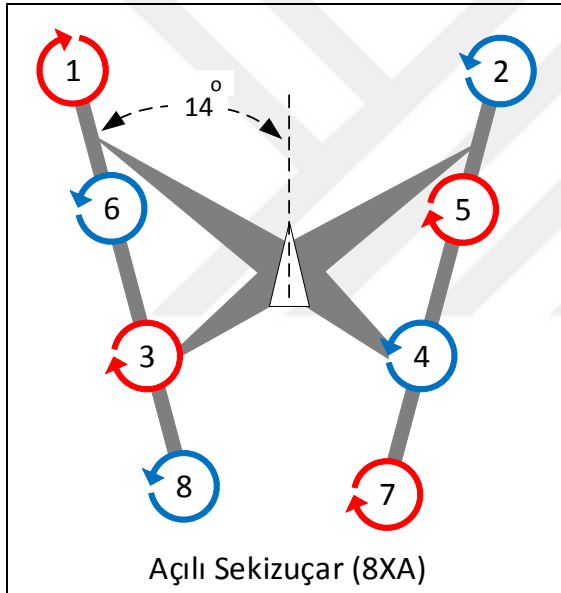
Şekil 2.8. İkiuar yapıları



Şekil 2.9. Üuar yapıları



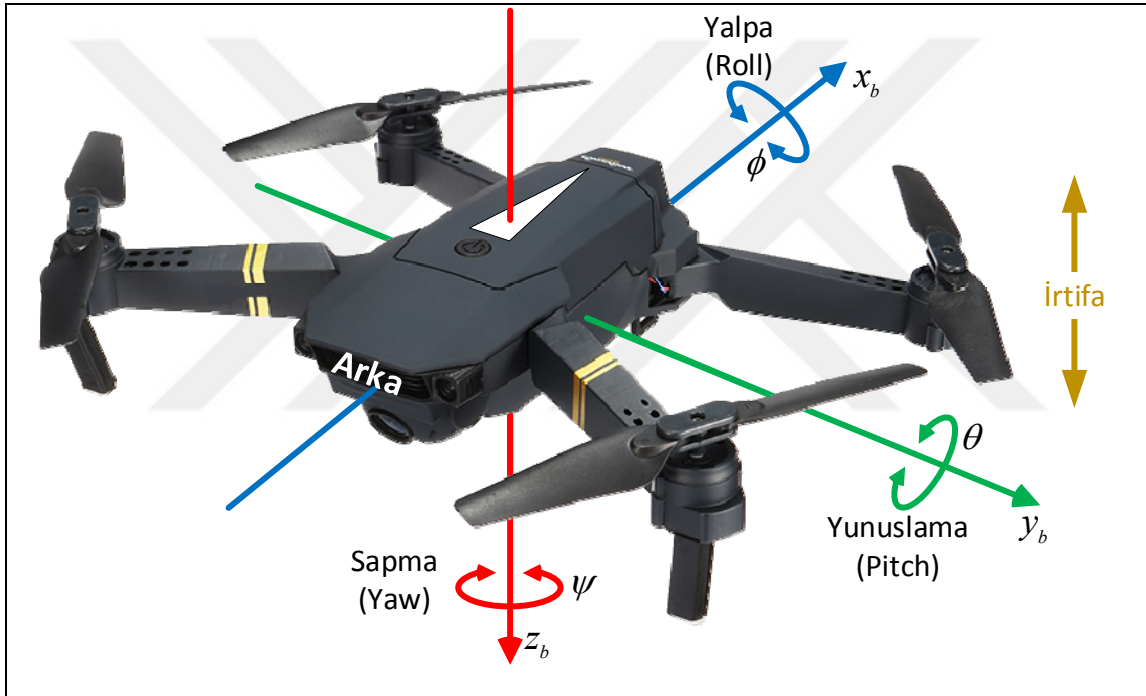
Şekil 2.10. Çiftli üçüçar yapıları



Şekil 2.11. Açılı sekizüçar yapıları

2.2. Çokluuçarların Hareket Yeteneği

Çokluuçarlar motor ve pervanelerin her birinin hızını bağımsız olarak ayarlayarak, uçuş, asılı kalma ve diğer hareketlerini denetlemektedirler. Çokluuçarların, irtifa (altitude), yunuslama (pitch), yalpa (roll) ve sapma (yaw) olmak üzere dört temel hareket yeteneği vardır. Şekil 2.12.'de bir dörтуçarın x_b , y_b ve z_b eksenleri etrafında yaptığı irtifa, yunuslama, yalpa ve sapma hareketleri görülmektedir. Burada x_b , y_b ve z_b çokluuçarın gövdesine sabitlenmiş (boyd-fixed frame) açısıl hareketleri tanımlamak için kullanılan hareketli eksen takımıdır.

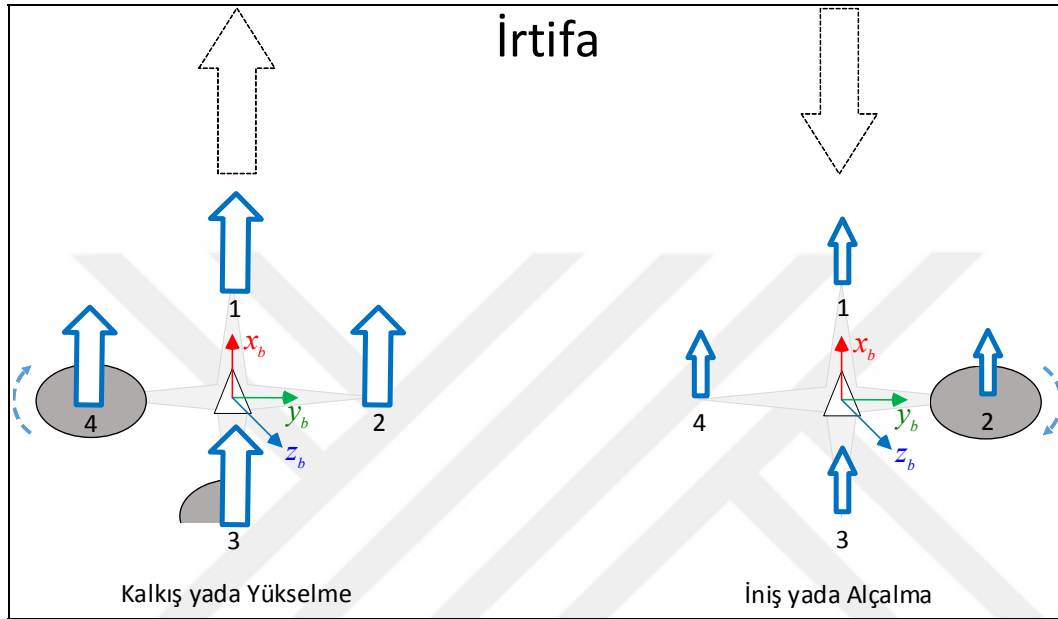


Şekil 2.12. Bir dörтуçarın hareketli eksen takımına göre irtifa, yunuslama, yalpa ve sapma hareketleri

2.2.1. Artı sınıfı dörтуçarların hareketleri

Tüm pervanelerinin aynı hızda dönmesiyle oluşan eşit aerodinamik taşıma kuvveti ve sürükleme (drag), dörтуçarlara dikey düzlemde iniş, kalkış, alçalma, yükselme ve asılı kalma hareketleri yeteneği kazandırılmaktadır. Dörтуçarlarda bulunan tüm motorların hızları eşit olarak artırılması pervanelerin ürettiği itiş gücü ve torkun artmasına ve dolayısıyla yerçekiminin yenilmesine yol açarak, aracın kalkış yapması ya da zaten havada ise yükselmesi sağlar. Pervanelerin ürettiği itiş gücü, yerçekimi kuvvetinin altına

indirilerek aracın alçalması ya da iniş yapması sağlanır. Pervanelerin ürettiği toplam itiş gücü yerçekimi kuvveti ile eşitlendiğinde dördüçar havada asılı kalır. Şekil 2.13-2.16 artı sınıfı bir dördüçar (4I)'nın irtifa, yunuslama, yalpa ve sapma hareketlerini göstermektedir. Şekil 2.13'te artı sınıfı bir dördüçar (4I)'nın kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir [23].

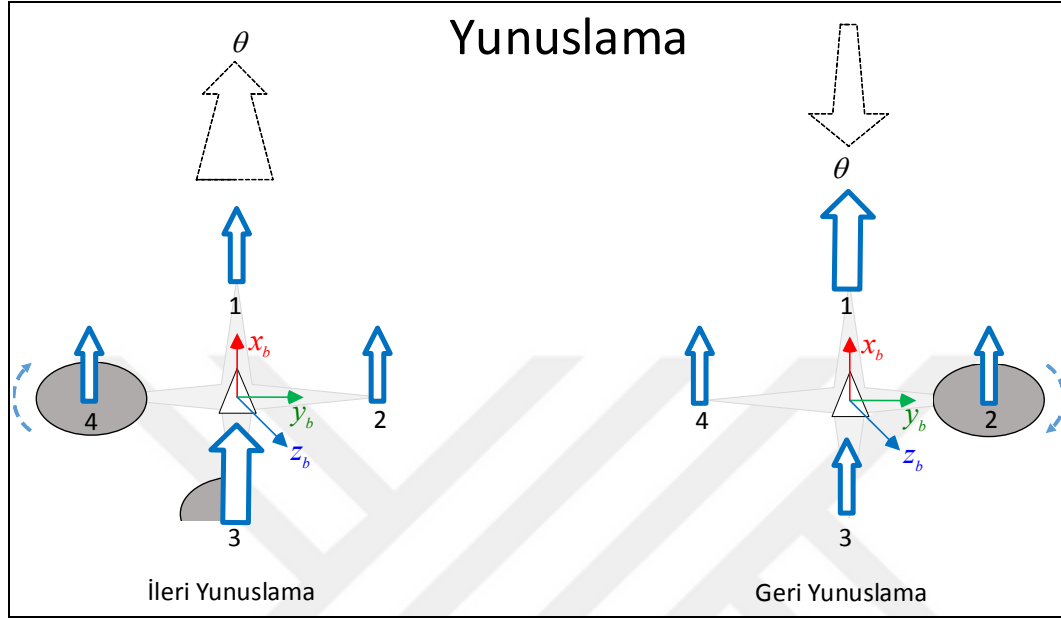


Şekil 2.13. Artı sınıfı bir dördüçar (4I)'nın kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları

Dördüçarın, y_b eksenini etrafında dönerek ileri ve geri gitmesi yunuslama (Pitch) olarak tanımlanmaktadır. Artı sınıfı bir dördüçarda yunuslama hareketi için 1. ve 3. pervaneleri farklı hızlarda döndürerek, itiş güçleri arasında bir fark oluşturmak gerekmektedir. Araçta, daha yavaş dönen pervanenin bulunduğu taraf aracın ağırlık merkezinin altına doğru yönelirken, hızlı dönen taraf yukarı doğru kalkarak dördüçarın ön ve arka tarafları arasında bir açı oluşacaktır. Oluşan bu açı arka tarafa doğru ise dördüçar öne, ön tarafa doğru ise arkaya gidecektir. Bu durumda;

- İleri yönde yunuslama için, $\omega_3 > \omega_1 = \omega_2 = \omega_4$ olmalıdır.
- Geri yönde yunuslama için, $\omega_1 > \omega_2 = \omega_3 = \omega_4$ olmalıdır.

Burada, ω_1 , ω_2 , ω_3 ve ω_4 sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü pervanenin hızlarını göstermektedir. Şekil 2.14'te artı sınıfı bir dörtüçar (4I)'nın yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

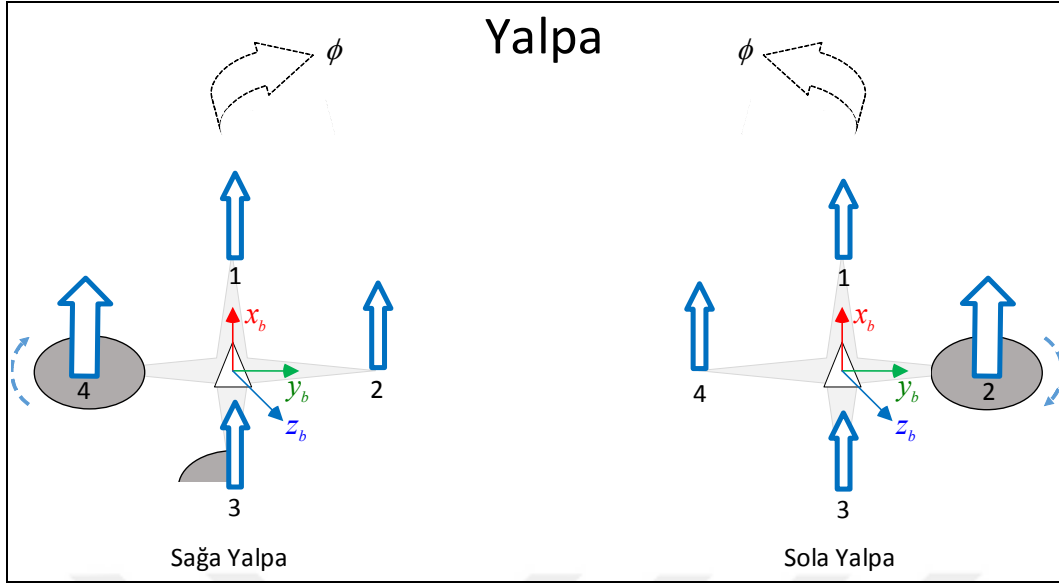


Şekil 2.14. Artı sınıfı bir dörtüçar (4I)'nın yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları

Dörtüçarın, x_b eksenini etrafında dönerek sağa ve sola gitmesi yalpalama (Roll) olarak tanımlanmaktadır. Artı sınıfı bir dörtuçarda yalpa hareketi için 2. ve 4. pervanelerini farklı hızlarda döndürerek, itiş güçleri arasında bir fark oluşturmak gerekmektedir. Araçta, daha yavaş dönen pervanenin bulunduğu taraf aracın ağırlık merkezinin altına doğru yönelirken, hızlı dönen taraf yukarı doğru kalkarak dörtüçarın sağ ve sol tarafları arasında bir açı oluşacaktır. Oluşan bu açı dörtüçara yalpa hareketi yaptıracaktır. Bu durumda;

- Sağa yalpa için, $\omega_4 > \omega_1 = \omega_2 = \omega_3$ olmalıdır.
- Sola yalpa için, $\omega_2 > \omega_1 = \omega_3 = \omega_4$ olmalıdır.

Şekil 2.15'te artı sınıfı bir dörtüçar (4I)'nın yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

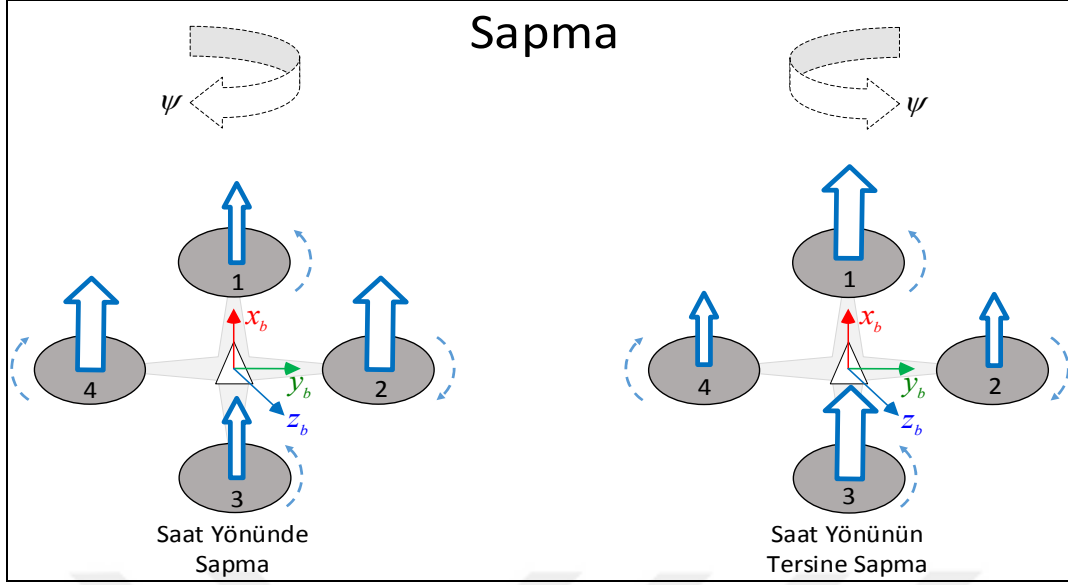


Şekil 2.15. Artı sınıfı bir dörtüçar (4I)'nın yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları

Dörtüçarın, z_b eksenini etrafında dönerek kendi eksenini etrafında yaptığı dönme hareketine sapma ya da yuvarlama (yaw) olarak tanımlanmaktadır. Artı sınıfı bir dörtüçarda sapma hareketi için 1. ve 3. pervaneleri ile 2. ve 4. pervanelerini farklı hızlarda döndürerek, itiş güçleri ya da oluşan torklar arasında bir fark oluşturmak gerekmektedir. Bu durumda;

- Saat yönünde sapma için, $\omega_2 = \omega_4 > \omega_1 = \omega_3$ olmalıdır.
- Saat yönünün tersine sapma için, $\omega_1 = \omega_3 > \omega_2 = \omega_4$ olmalıdır.

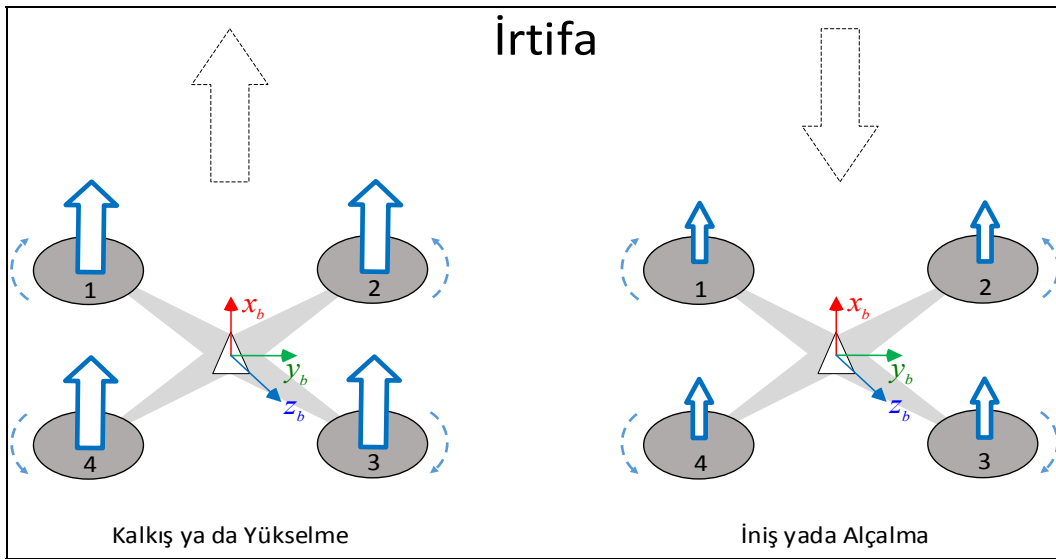
Şekil 2.16'da artı sınıfı bir dörtüçar (4I)'nın sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Artı sınıfı bir dörtüçar (4I)'nın sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları

2.2.2. Çapraz sınıfı dörtüçarların hareketleri

Tüm pervanelerinin aynı hızda dönmesiyle dörtüçarlara dikey düzlemde iniş, kalkış, alçalma, yükselme ve asılı kalma hareketleri yaptırılmaktadır. Şekil 2.17-2.20 çapraz sınıfı bir dörtüçar (4x)'in irtifa, yunuslama, yalpa ve sapma hareketlerini göstermektedir. Şekil 2.17'da çapraz sınıfı bir dörtüçar (4x)'in kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

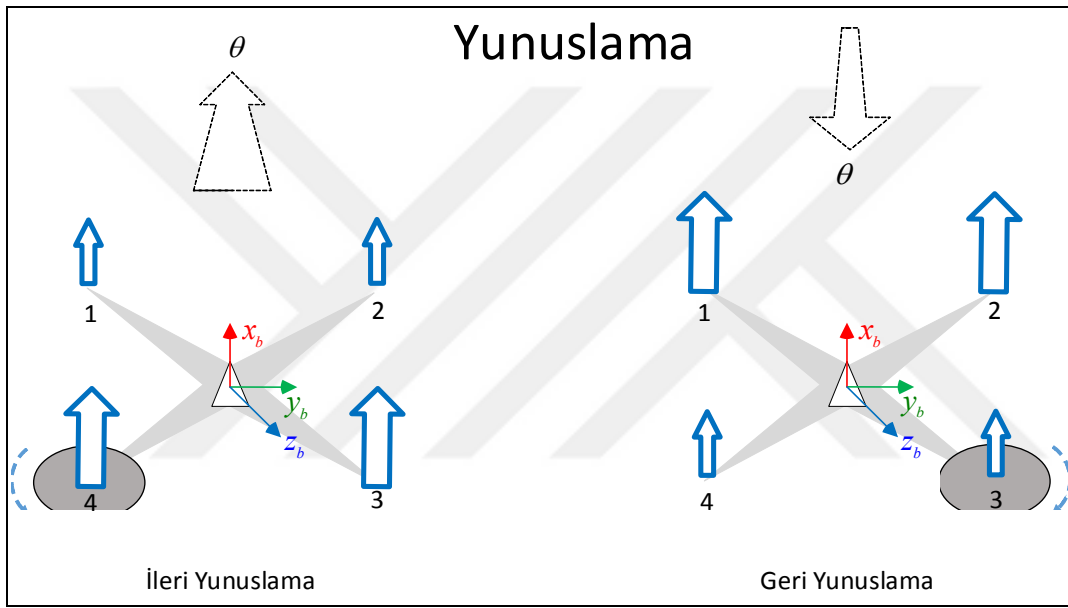


Şekil 2.17. Çapraz sınıfı bir dörtüçar (4x)'in kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları

Çapraz sınıfı bir dörtuçarda, 1. ve 2. pervaneler ile 3. ve 4. pervaneleri farklı hızlarda döndürülerek yunuslama hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- İleri yönde yunuslama için, $\omega_3 = \omega_4 > \omega_1 = \omega_2$ olmalıdır.
- Geri yönde yunuslama için, $\omega_1 = \omega_2 > \omega_3 = \omega_4$ olmalıdır.

Şekil 2.18’de çapraz sınıfı bir dörtuçar (4x)’in yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

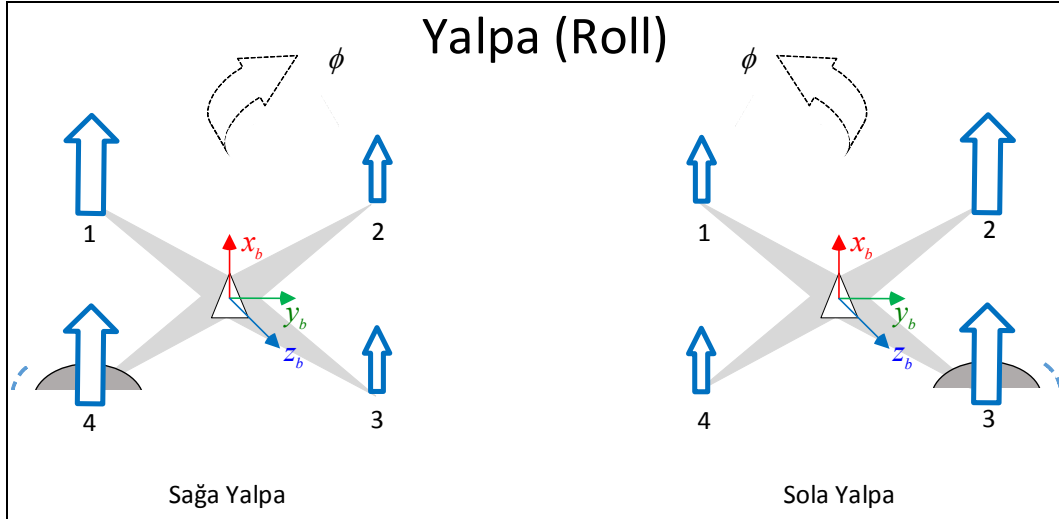


Şekil 2.18. Çapraz sınıfı bir dörtuçar (4x)’in yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları

Çapraz sınıfı bir dörtuçarda, 1. ve 4. pervaneler ile 2. ve 3. pervaneleri farklı hızlarda döndürülerek yalpa hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- Sağa yalpa için, $\omega_1 = \omega_4 > \omega_2 = \omega_3$ olmalıdır.
- Sola yalpa için, $\omega_2 = \omega_3 > \omega_1 = \omega_4$ olmalıdır.

Şekil 2.19’de çapraz sınıfı bir dörtuçar (4x)’in yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

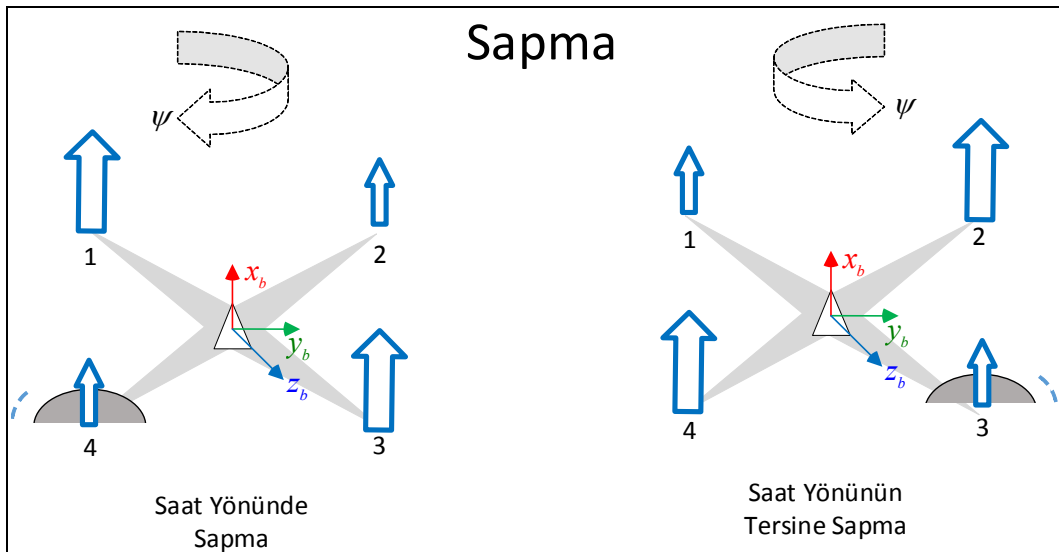


Şekil 2.19. Çapraz sınıfı bir dörtüçar (4x)'in yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları

Çapraz sınıfı bir dörtüçarda, 1. ve 3. pervaneler ile 2. ve 4. pervanelerini farklı hızlarda döndürülerek sapma hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- Saat yönünün tersine sapma için, $\omega_2 = \omega_4 > \omega_1 = \omega_3$ olmalıdır.
- Saat yönünde sapma için, $\omega_1 = \omega_3 > \omega_2 = \omega_4$ olmalıdır.

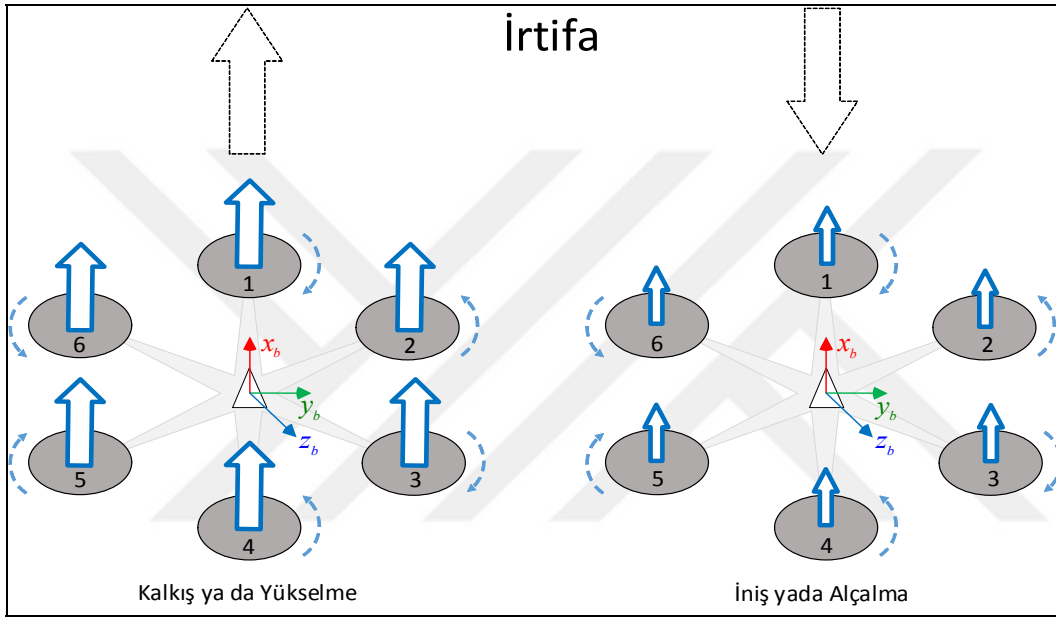
Şekil 2.20'da çapraz sınıfı bir dörtüçar (4x)'in sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Çapraz sınıfı bir dörtüçar (4x)'in sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları

2.2.3. Artı sınıfı altıuçarların hareketleri

Tüm pervanelerinin aynı hızda dönmesiyle altıuçarlara dikey düzlemde iniş, kalkış, alçalma, yükselme ve asılı kalma hareketleri yaptırılmaktadır. Şekil 2.21-2.23 artı sınıfı bir altıuçar (6I)'nın irtifa, yunuslama, yalpa ve sapma hareketlerini göstermektedir. Şekil 2.21'de artı sınıfı bir altıuçar (6I)'nın kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

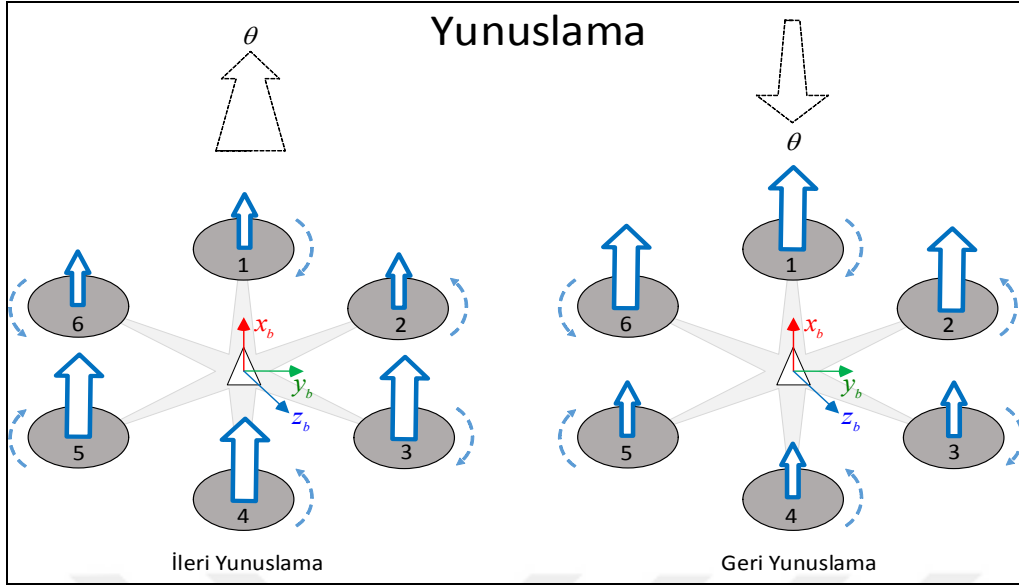


Şekil 2.21. Artı sınıfı bir altıuçar (6I)'nın kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları

Artı sınıfı bir altıuçarda, 1., 2. ve 6. pervaneleri ile 3., 4. ve 5. pervaneleri farklı hızlarda döndürülerek yunuslama hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- İleri yönde yunuslama için, $\omega_3 = \omega_4 = \omega_5 > \omega_1 = \omega_2 = \omega_6$ olmalıdır.
- Geri yönde yunuslama için, $\omega_1 = \omega_2 = \omega_6 > \omega_3 = \omega_4 = \omega_5$ olmalıdır.

Burada , $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5$ ve ω_6 sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci ve altıncı pervanenin hızlarını göstermektedir. Şekil 2.22'de artı sınıfı bir altıuçar (6I)'nın yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

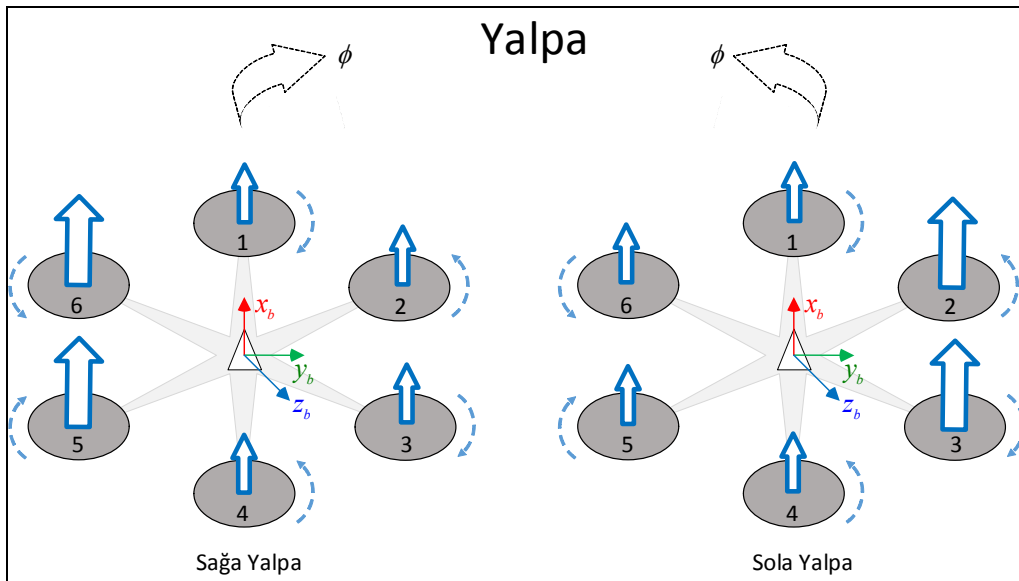


Şekil 2.22. Artı sınıfı bir altıuçar (6I)'nın yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları

Artı sınıfı bir altıuçarda, 2. ve 3. pervaneler ile 5. ve 6. pervaneleri farklı hızlarda döndürülerek yalpa hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- Sağa yalpa için, $\omega_5 = \omega_6 > \omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4$ olmalıdır.
- Sola yalpa için, $\omega_2 = \omega_3 > \omega_1 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_6$ olmalıdır.

Şekil 2.23'de artı sınıfı bir altıuçar (6I)'nın yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

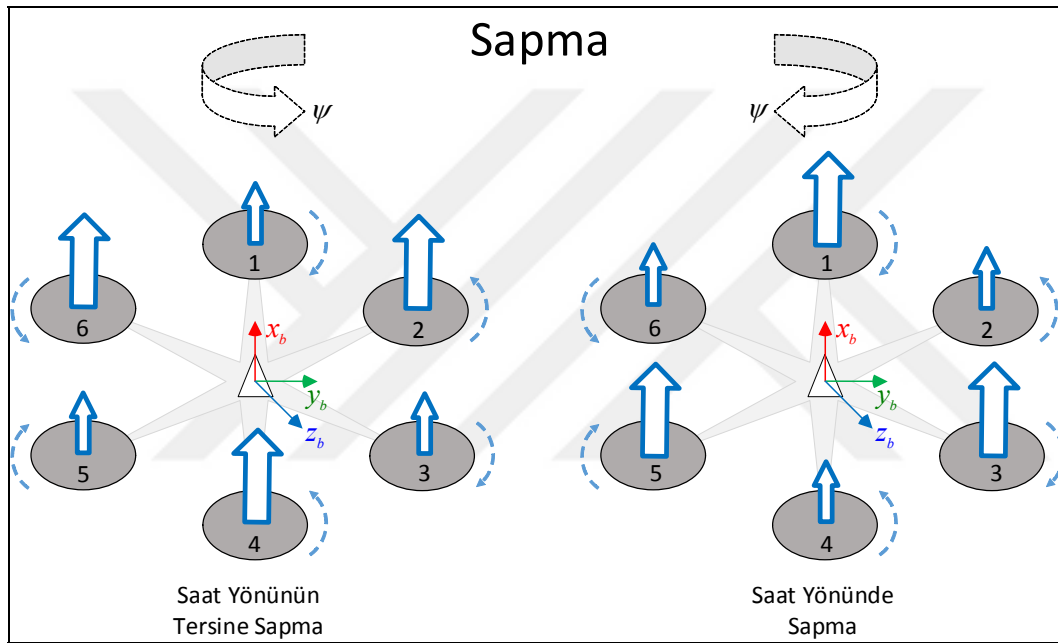


Şekil 2.23. Artı sınıfı bir altıuçar (6I)'nın yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları

Artı sınıfı bir altıuçarda, 1., 3. ve 5. pervaneler ile 2., 4. ve 6. pervaneleri farklı hızlarda döndürülerek sapma hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- Saat yönünde sapma için, $\omega_1 = \omega_3 = \omega_5 > \omega_2 = \omega_4 = \omega_6$ olmalıdır.
- Saat yönünün tersine sapma için, $\omega_2 = \omega_4 = \omega_6 > \omega_1 = \omega_3 = \omega_5$ olmalıdır.

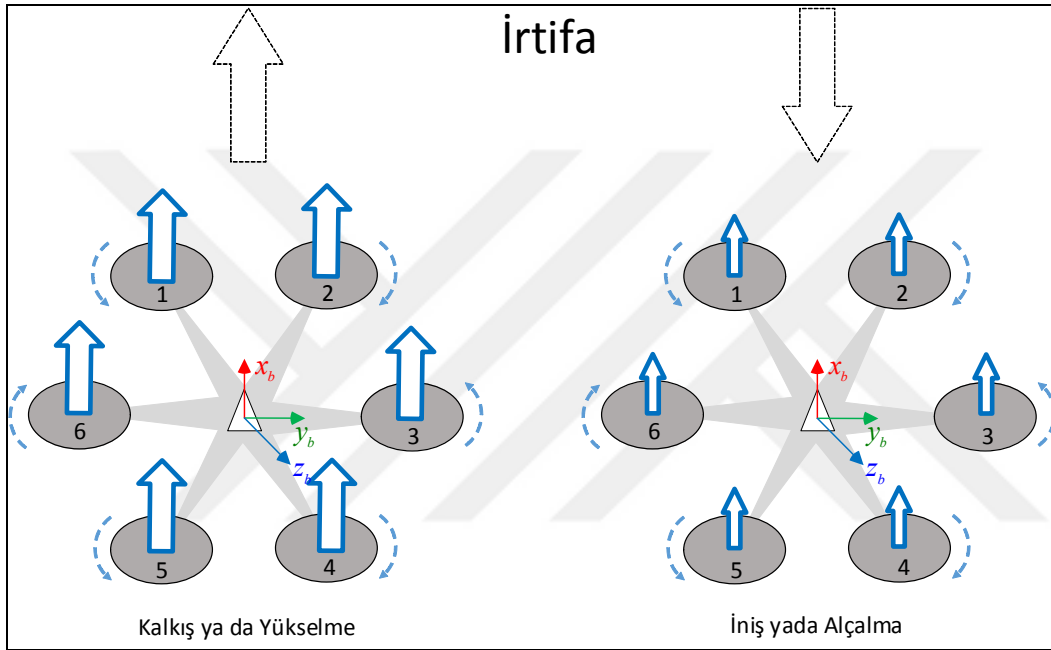
Şekil 2.24.'te artı sınıfı bir altıuçar (6I)'nın sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Artı sınıfı bir altıuçar (6I)'nın sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları

2.2.4. Çapraz sınıfı altıuçarların hareketleri

Tüm pervanelerinin aynı hızda dönmesiyle altıuçarlara dikey düzlemde iniş, kalkış, alçalma, yükselme ve asılı kalma hareketleri yaptırılmaktadır. Şekil 2.25-2.28 çapraz sınıfı bir altıuçar (6x)'in irtifa, yunuslama, yalpa ve sapma hareketlerini göstermektedir. Şekil 2.25'te çapraz sınıfı bir altıuçar (6x)'in kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

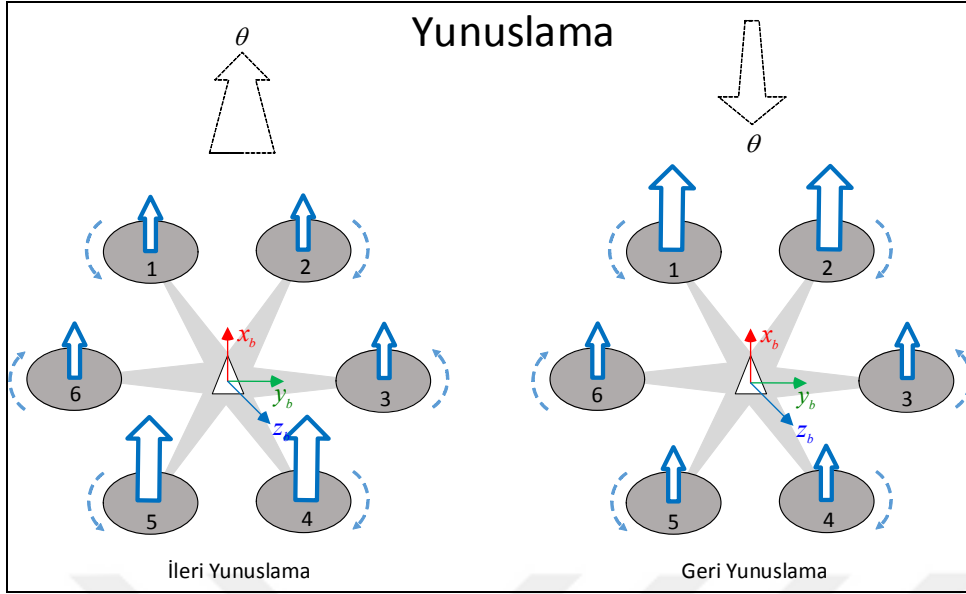


Şekil 2.25. Çapraz sınıfı bir altıuçar (6x)'in kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları

Çapraz sınıfı bir altıuçarda, 1. ve 2. pervaneler ile 4. ve 5. pervaneleri farklı hızlarda döndürülerek yunuslama hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- İleri yönde yunuslama için, $\omega_4 = \omega_5 > \omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_6$ olmalıdır.
- Geri yönde yunuslama için, $\omega_1 = \omega_2 > \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_6$ olmalıdır.

Şekil 2.26'da çapraz sınıfı bir altıuçar (6x)'in yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

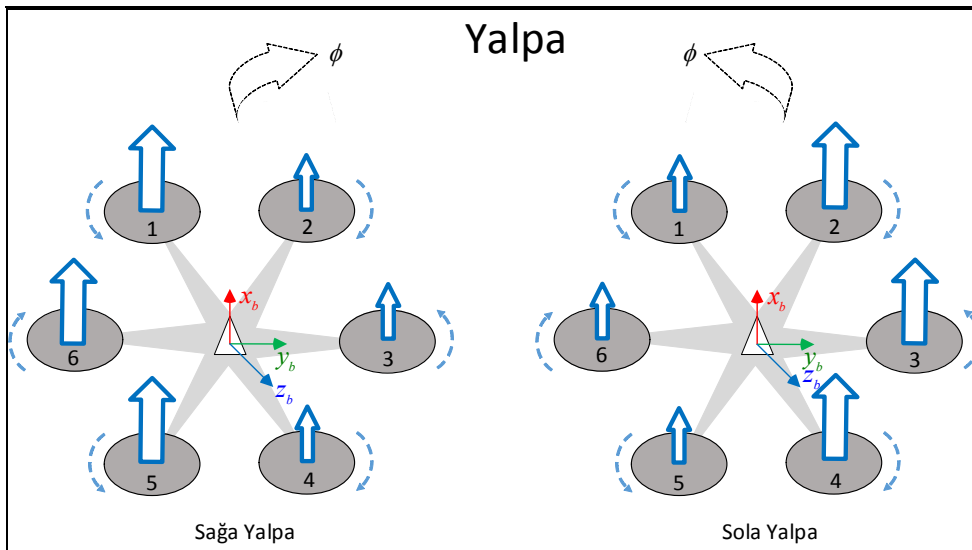


Şekil 2.26. Çapraz sınıfı bir altıuçar (6x)'in yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları

Çapraz sınıfı bir altıuçarda, 1., 5. ve 6. pervane ile 2., 3. ve 6. pervaneyi farklı hızlarda döndürülerek yalpa hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- Sağa yalpa için, $\omega_1 = \omega_5 = \omega_6 > \omega_2 = \omega_3 = \omega_4$ olmalıdır.
- Sola yalpa için, $\omega_2 = \omega_3 = \omega_4 > \omega_1 = \omega_5 = \omega_6$ olmalıdır.

Şekil 2.27'de çapraz sınıfı bir altıuçar (6x)'in yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

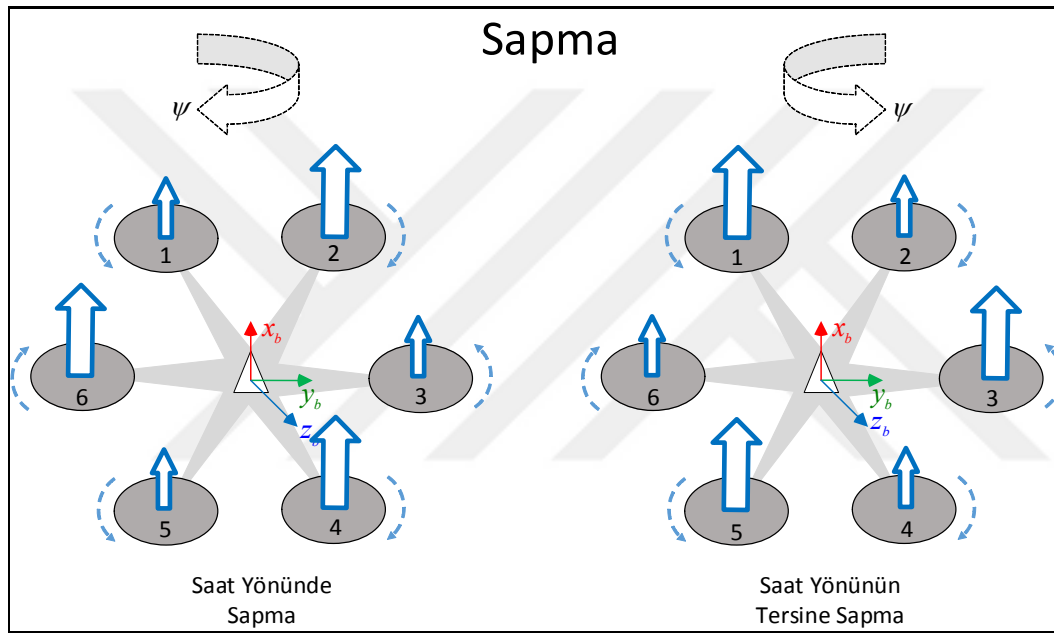


Şekil 2.27. Çapraz sınıfı bir altıuçar (6x)'in yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları

Çapraz sınıfı bir altıuçarda, 1. ve 3. pervaneler ile 2. ve 6. pervanelerini farklı hızlarda döndürülerek sapma hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- Saat yönünde sapma için, $\omega_2 = \omega_4 = \omega_6 > \omega_1 = \omega_3 = \omega_5$ olmalıdır.
- Saat yönünün tersine sapma için, $\omega_1 = \omega_3 = \omega_5 > \omega_2 = \omega_4 = \omega_6$ olmalıdır.

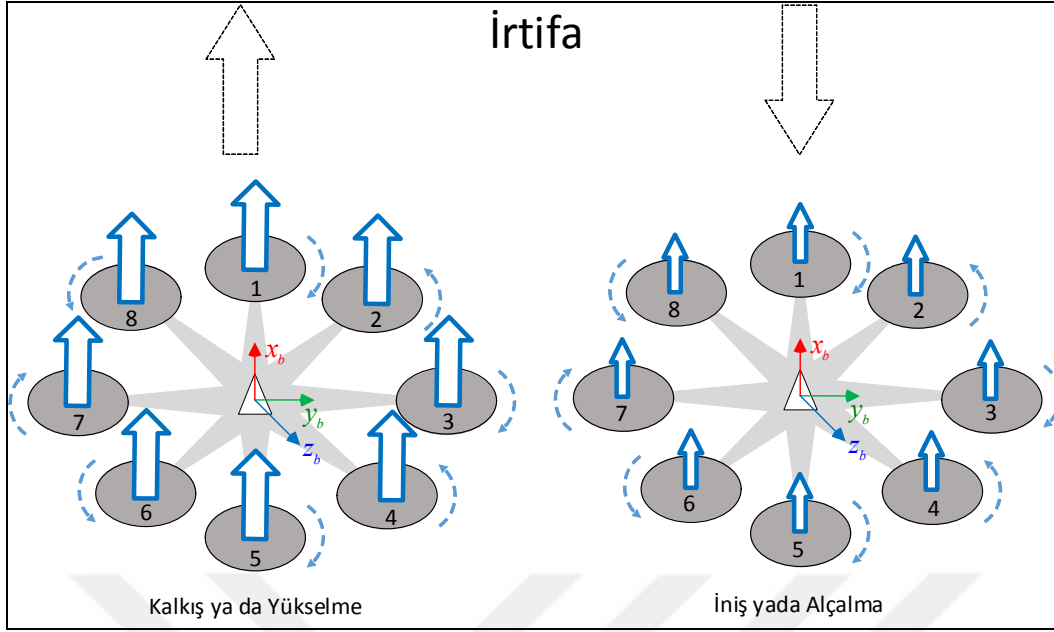
Şekil 2.28’de çapraz sınıfı bir altıuçar (6x)’in sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.



Şekil 2.28. Çapraz sınıfı bir altıuçar (6x)’in sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları

2.2.5. Artı sınıfı sekizuçarların hareketleri

Tüm pervanelerinin aynı hızda dönmesiyle sekizuçarlara dikey düzlemde iniş, kalkış, alçalma, yükselme ve asılı kalma hareketleri yaptırılmaktadır. Şekil 2.29-2.32 artı sınıfı bir sekizuçar (8I)’nın irtifa, yunuslama, yalpa ve sapma hareketlerini göstermektedir. Şekil 2.29’da artı sınıfı bir sekizuçar (8I)’nın kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

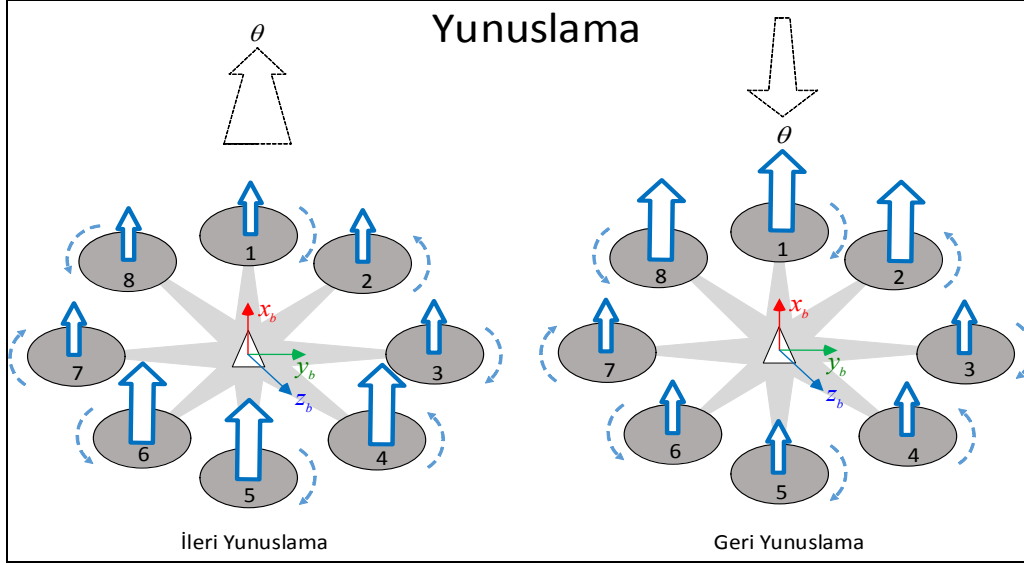


Şekil 2.29. Artı sınıfı bir sekizuçar (8I)'nın kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları

Artı sınıfı bir sekizuçarda, 1., 2. ve 8. pervaneleri ile 4., 5. ve 6. pervaneleri farklı hızlarda döndürülerek yunuslama hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- İleri yönde yunuslama için, $\omega_4 = \omega_5 = \omega_6 > \omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_7 = \omega_8$ olmalıdır.
- Geri yönde yunuslama için, $\omega_1 = \omega_2 = \omega_8 > \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_6 = \omega_7$ olmalıdır.

Burada , $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7$ ve ω_8 sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci, altıncı, yedinci ve sekizinci pervanenin hızlarını göstermektedir. Şekil 2.30'da artı sınıfı bir sekizuçar (8I)'nın yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

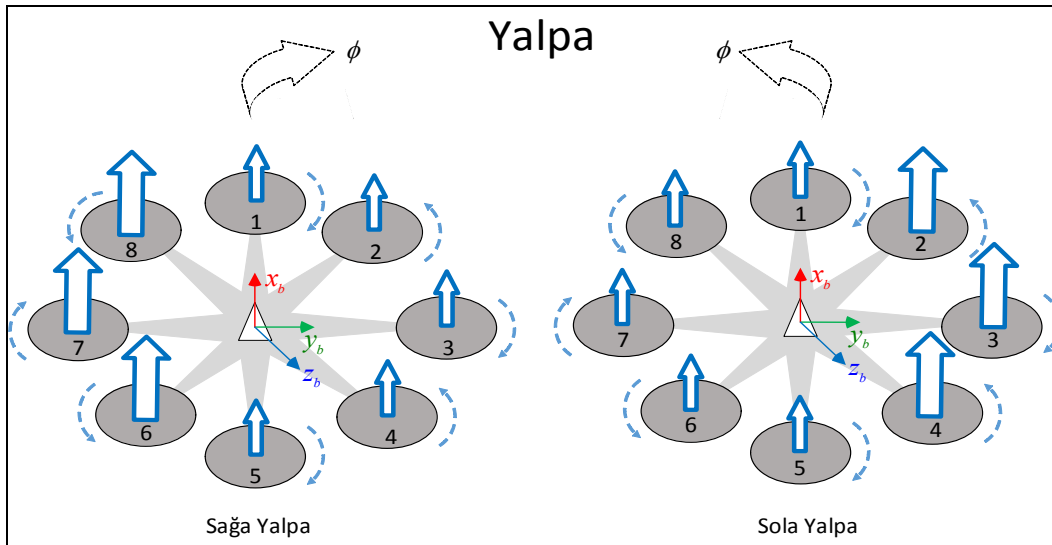


Şekil 2.30. Artı sınıfı bir sekizuçar (8I)'nın yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları

Artı sınıfı bir sekizuçarda, 2., 3. ve 4. pervaneler ile 6., 7. ve 8. pervaneleri farklı hızlarda döndürülerek yalpa hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- Sağa yalpa için, $\omega_6 = \omega_7 = \omega_8 > \omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5$ olmalıdır.
- Sola yalpa için, $\omega_2 = \omega_3 = \omega_4 > \omega_1 = \omega_5 = \omega_6 = \omega_7 = \omega_8$ olmalıdır.

Şekil 2.31'de artı sınıfı bir sekizuçar (8I)'nın yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

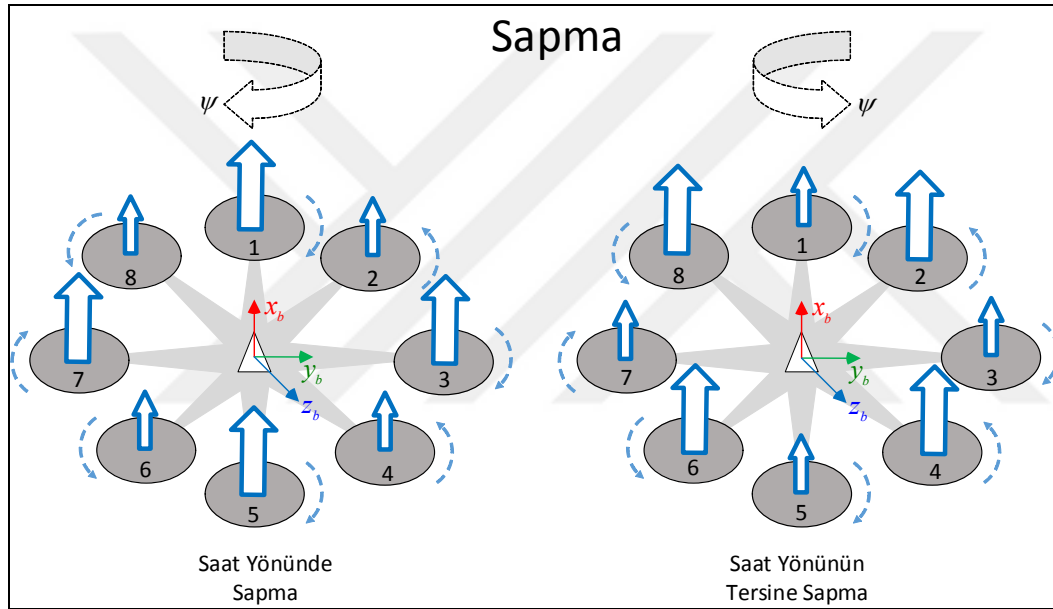


Şekil 2.31. Artı sınıfı bir sekizuçar (8I)'nın yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları

Artı sınıfı bir sekizuçarda, 2., 4., 6. ve 8. pervaneler ile 1., 3., 5. ve 7. pervaneleri farklı hızlarda döndürülerek sapma hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- Saat yönüne sapma için, $\omega_1 = \omega_3 = \omega_5 = \omega_7 > \omega_2 = \omega_4 = \omega_6 = \omega_8$ olmalıdır.
- Saat yönünün tersine sapma için, $\omega_2 = \omega_4 = \omega_6 = \omega_8 > \omega_1 = \omega_3 = \omega_5 = \omega_7$ olmalıdır.

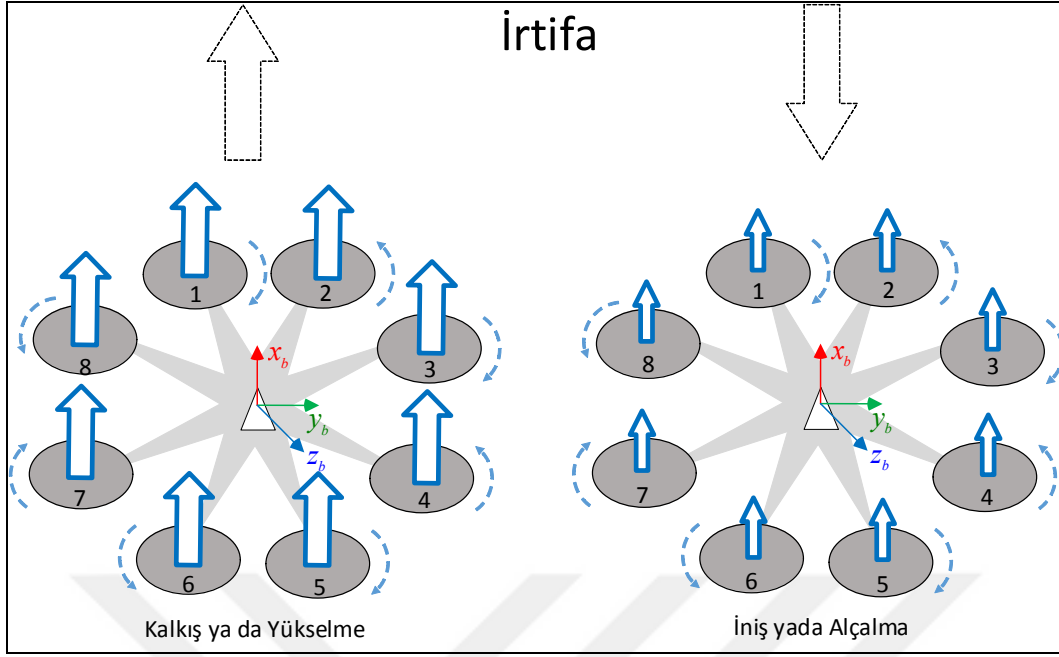
Şekil 2.32’de artı sınıfı bir sekizuçar (8I)’nın sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.



Şekil 2.32. Artı sınıfı bir sekizuçar (8I)’nın sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları

2.2.6. Çapraz sınıfı sekizuçarların hareketleri

Tüm pervanelerinin aynı hızda dönmesiyle sekizuçarlara dikey düzlemde iniş, kalkış, alçalma, yükselme ve asılı kalma hareketleri yaptırılmaktadır. Şekil 2.33-2.36 çapraz sınıfı bir sekizuçar (8x)’in irtifa, yunuslama, yalpa ve sapma hareketlerini göstermektedir. Şekil 2.33’de çapraz sınıfı bir sekizuçar (8x)’in kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

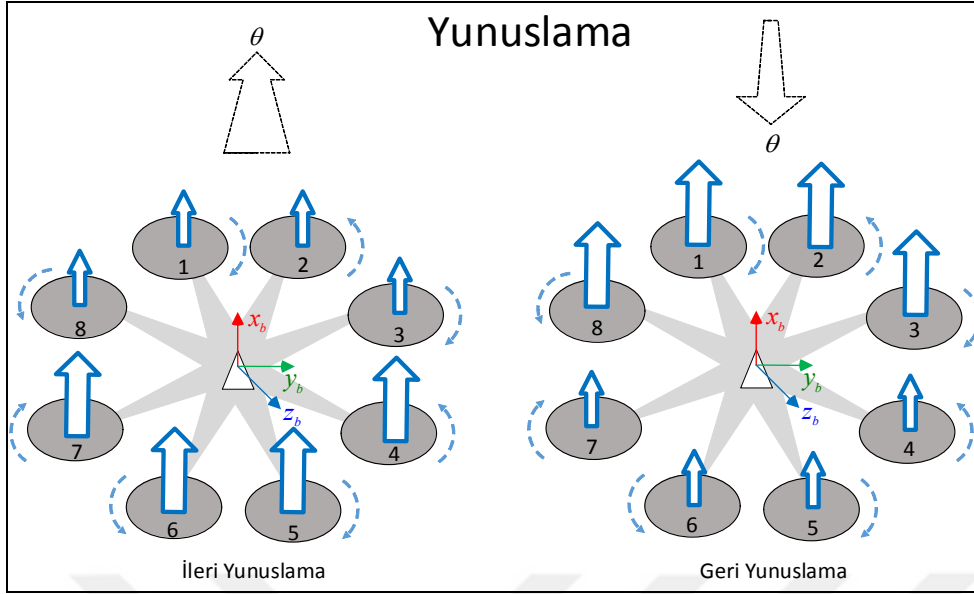


Şekil 2.33. Çapraz sınıfı bir sekizuçar (8x)'in kalkış, yükselme, iniş ve alçalma hareketi anlarında pervanelerin hızları

Çapraz sınıfı bir sekizuçarda, 1., 2., 3. ve 8. pervaneler ile 4., 5., 6. ve 7. pervaneleri farklı hızlarda döndürülerek yunuslama hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- İleri yönde yunuslama için, $\omega_4 = \omega_5 = \omega_6 = \omega_7 > \omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_8$ olmalıdır.
- Geri yönde yunuslama için, $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_8 > \omega_4 = \omega_5 = \omega_6 = \omega_7$ olmalıdır.

Şekil 2.34'te çapraz sınıfı bir sekizuçar (8x)'in yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

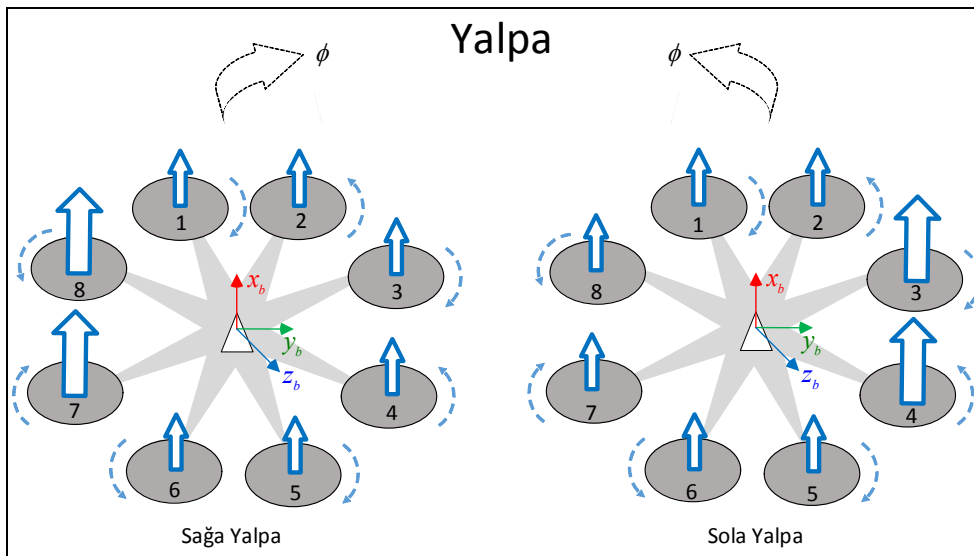


Şekil 2.34. Çapraz sınıfı bir sekizuçar (8x)'in yunuslama hareketi anlarında pervanelerin hızları

Çapraz sınıfı bir sekizuçarda, 3. ve 4. pervane ile 7. ve 8. pervaneleri farklı hızlarda döndürülerek yalpa hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- Sağa yalpa için, $\omega_7 = \omega_8 > \omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = \omega_6$ olmalıdır.
- Sola yalpa için, $\omega_3 = \omega_4 > \omega_1 = \omega_2 = \omega_5 = \omega_6 = \omega_7 = \omega_8$ olmalıdır.

Şekil 2.35'te çapraz sınıfı bir sekizuçar (8x)'in yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.

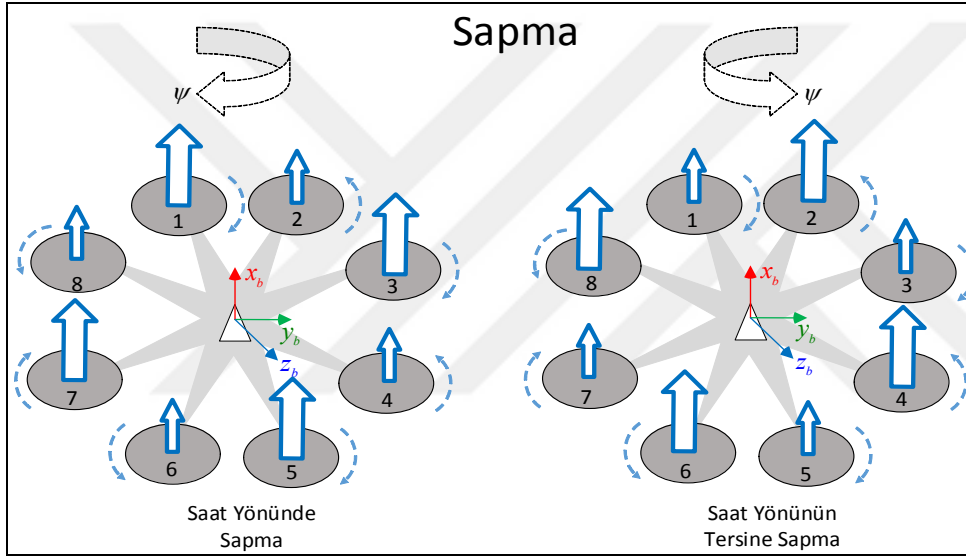


Şekil 2.35. Çapraz sınıfı bir sekizuçar (8x)'in yalpalama hareketi anlarında pervanelerin hızları

Çapraz sınıfı bir sekizuçarda, 3. ve 7. pervaneler ile 4. ve 8. pervanelerini farklı hızlarda döndürülerek sapma hareketi yaptırılmaktadır. Bu durumda;

- Saat yönüne sapma için, $\omega_1 = \omega_3 = \omega_5 = \omega_7 > \omega_2 = \omega_4 = \omega_6 = \omega_8$ olmalıdır.
- Saat yönünün tersine sapma için, $\omega_2 = \omega_4 = \omega_6 = \omega_8 > \omega_1 = \omega_3 = \omega_5 = \omega_7$ olmalıdır.

Şekil 2.36'da çapraz sınıfı bir sekizuçar (8x)'in sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları gösterilmiştir.



Şekil 2.36. Çapraz sınıfı bir sekizuçar (8x)'in sapma hareketi anlarında pervanelerin hızları

3. ÇOKLUUÇARLARIN MODELLENMESİ

Bu bölümde 2. Bölümde anlatılan çokluuçarların matematiksel modelleri verilmiştir. Çokluuçarlar pervaneleri ile tüm manevralarını yapan makineler oldukları için model çıkarımına ilk önce pervanelerden başlanması gerekmektedir. Çokluuçarlarda kullanılan pervanelerin iki temel işlevi bulunmaktadır. Bunlar,

- Uçuş için itki kuvveti üretmek,
- Yükseklik ve konumu denetlemek için güç üretmek

Çokluuçarların pervanelerine gerekli olan güç elektrik motorları ile sağlanmaktadır. Bu nedenle modelleme yapılırken, çokluuçarlarda kullanılan motorlar ve ürettikleri torkların ve döndürdükleri pervanelerin oluşturduğu itki kuvvetlerinin ayrı ayrı analiz edilmesi gerekmektedir.

Dörtuçar modelinde, katı (rigid) bir gövde üzerinde dört rotor bulunmaktadır. Modeli için, hareket denklemleri üzerinde durulmuştur. Hareketli eksenleri özümsemeye yönelik çalışma yapılmıştır. Ardından, tanımlanan bu eksen takımları arasındaki ilişki matematiksel olarak gösterilerek ve Newton'un genelleştirilmiş ikinci yasasından yararlanılarak serbestlik açılarıyla ilişkili eşitlikler elde edilmiştir.

3.1. Eksenler ve Dönüşüm Matrisleri

Bu bölümde bir çokluuçarın havadaki konumunu tanımlamak için kullanılan çeşitli koordinat eksen takımları ve bunlar arasındaki dönüşüm açıklanmıştır. Hava araçlarının konumlarını tanımlamak için çeşitli koordinat eksen takımları kullanılmaktadır [24].

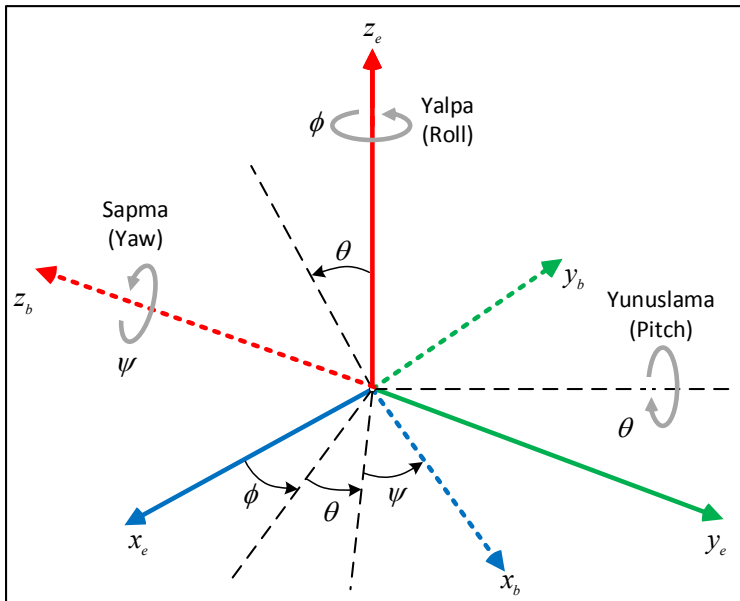
Katı bir cismin uzaydaki açısal konumun farklı bir biçimde tanımlanması ve açısal hızın bu tanımlamayla ilişkilendirilmesi gereklidir. Bu amaçla Euler açıları kullanılır. Euler açıları dörtuçarın gövdesinin konumunu yerküreyi temel alan bir O_e atalet koordinat sistemine (earth frame) göre tanımlamaya yarar. Atalet koordinat sistemi sabit olup X_e eksenini kuzeyi, Y_e eksenini doğuyu gösterirken, Z_e eksenini yerkürenin merkezini gösteren sabit bir koordinat eksen takımıdır. Dörtuçarın burnunu gösteren eksen x_b , sağ tarafını gösteren eksen y_b ve gövdeye dik açıyla gelen eksen de z_b eksenini ise bu koordinat sistemi O_b gövde

koordinat eksen takımı (body frame) olarak adlandırılır. O_b eksen takımı açısal hareketleri tanımlamak için kullanıldığından hareketli koordinat eksen takımı olarak ta adlandırılır. Bu eksen takımları çokluuçarların dinamik hareketlerin hesaplanması, modellenmesi ve denetlenmesi için çok kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca bu eksen takımları çokluuçarlarda, farklı kullanım alanlarına sahiptir. Bunların bir kaçı şu şekilde sıralanabilir.

- Newton'un hareket denklemlerini, çokluuçarın gövdesine sabitlenmiş gövde eksen takımları ile hesaplanmaktadır.
- Çokluuçarlarda kullanılan Küresel Konumlama Sistemleri (KKS, GPS) gibi bazı algılayıcılar yerküresine göre ölçümler yaparken, hızı ölçen, yönü ve yüksekliği gösteren aletler gövdeye göre ölçümler yapmaktadır.
- Aerodinamik kuvvetler ve tork hesaplamaları gövdeye göre yapılmaktadır.

Başlangıçta yerküre koordinat eksen takımı ile gövde eksen takımının çakışık olduğunu varsayalım. Çokluuçar havada hareket ederken, farklı düzlemlerde farklı açılar ile çeşitli dönme kombinasyonları ortaya çıkacaktır. Bu açılar, Euler'in rotasyon teoremine göre, üç farklı yalpa (ϕ), yunuslama (θ) ve sapma (ψ) açıları olacaktır.

Sisteminde, sırasıyla, z_e düzlemi etrafında ϕ açısı, ardından y_e düzlemi etrafında θ açısı ve son olarak z_e düzleminde ψ açısı ile dönme hareketi yapılırsa yerküre ve gövde koordinat eksenleri Şekil 3.1'deki gibi olacaktır.



Şekil 3.1. Koordinat eksen takımları ve Euler açıları

Şekil 3.1’de dolu çizgiler sabit eksen takımı O_e ’yi, kesik çizgiler hareketli eksen takımı O_b ’yi göstermektedir. Hareketli eksen takımının sabit eksen takımına göre dönme hareketlerini belirlemek için dönüşüm matrisi R_e^b kullanılır. Dönüşüm matrisi her bir Euler açısı ve sabit eksene göre dönüşüm matrislerinin $R(\phi, x_e)$, $R(\theta, y_e)$, $R(\psi, z_e)$ çarpımıyla bulunmuştur.

$$R(\phi, x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & \sin\phi \\ 0 & -\sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$R(\theta, y) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

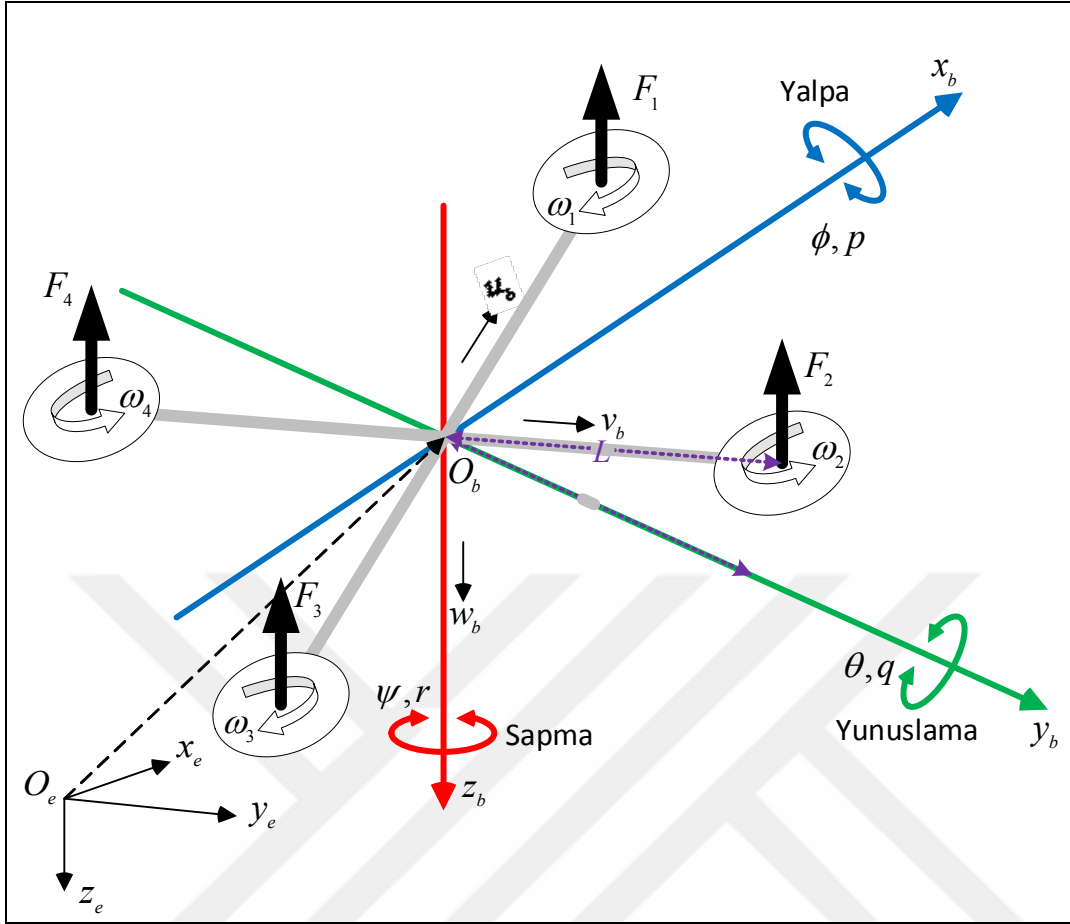
$$R(\psi, z) = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$R_e^b = R(\theta)R(\phi)R(\psi) \quad (3.4)$$

$$R_e^b = \begin{bmatrix} \cos\theta \cos\psi & \cos\theta \sin\psi & -\sin\theta \\ \sin\phi \sin\theta \cos\psi - \cos\phi \sin\psi & \cos\phi \cos\theta \sin\psi + \cos\phi \cos\psi & \sin\phi \cos\theta \\ \cos\phi \sin\theta \cos\psi + \sin\phi \sin\psi & \cos\phi \sin\theta \sin\psi - \sin\phi \cos\psi & \cos\phi \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

3.2. Çokluuçarların Matematiksel Denklemleri

Bu bölümde Newton’un hareket denklemlerinden yararlanılarak, bir dörtüçarın matematiksel model çıkarılmıştır. Dörtüçarın yapısı Şekil 3.2.’de gösterilmiştir. Şekil 3.2. üzerinde motorların ürettiği itki kuvvetleri, gövde üzerindeki koordinat sistemi O_b ve dünya üzerindeki sabit koordinat sistemi O_e gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Dörtüçarın itki kuvvetleri ve kullanılan koordinat eksen takımları

Kontrol teorisinde, sistemin dinamik davranışı sistem durum değişkenlerine göre belirlenir. Dörtüçarın dönüş hareketleri için O_b hareketli eksen takımı üzerinde altı durum değişkeni tanımlanmıştır. Bunların üçü Euler açılarıdır:

$$\begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Yalpa açısı} \\ \text{Yunuslama açısı} \\ \text{Sapma açısı} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Diğer üç durum değişkeni ise dörtüçarın açısal hızlarını tanımlayan;

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Yalpa hızı} \\ \text{Yunuslama hızı} \\ \text{Sapma hızı} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

değişkenleridir. O_b hareketli eksen takımının, O_e sabit eksen takımına göre çizgisel hareketlerini belirlemek için altı durum değişkeni daha tanımlanır. Aracın ağırlık merkezinin çizgisel hızı;

$$\begin{bmatrix} u_b \\ v_b \\ w_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Boylamsal hız} \\ \text{Enlemsel hız} \\ \text{Dikey hız} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

ile çokluuçarın konumu;

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Boylam konumu} \\ \text{Enlem konumu} \\ \text{Yükseklik} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

yerkürenin üzerindeki sabit koordinat eksen takımına göre belirlenmiştir. Her iki eksen takımı üzerinde toplam on iki durum tanımlanmıştır.

3.2.1. Pervanelerin itki kuvveti ve torku

Dik uçarları uçurmak için itki kuvvetine gereksinim duyulur. İtke kuvveti pervanesinin güç ve açısal hızına bağlıdır. Momentum teorisine göre, çokluuçarlarda güç, itke kuvveti ile hava hızının çarpımına eşittir. Motorun belirli bir süre içinde harcadığı enerji, pervanelerin ürettiği kuvvet ile yer değiştiren havanın hareket ettiği mesafenin çarpımına eşit olduğundan, i . pervane için;

$$P_i \cdot dt = F_i \cdot dx \quad (3.10)$$

eşitliği yazılabilir. P_i eşitliğin bir tarafında tek bırakılırsa;

$$P_i = F_i \frac{dx}{dt} \quad (3.11)$$

elde edilir. Eğer çokluuçar havada asılı duruyorsa, bu durumda aracın hızı v , sifıra eşit olduğundan eşitlik;

$$P_i = F_i v \quad (3.12)$$

olacaktır. Burada v hava akış hızıdır. v eşitliğin bir tarafında tek bırakılırsa ;

$$v = \sqrt{\frac{F_i}{2\rho A}} \quad (3.13)$$

elde edilir. Burada, A pervanenin süpürdüğü alanı, ρ ise çevresindeki havanın yoğunluğudur. Basitleştirilmiş güç denklemini kullanarak,

$$P_i = \frac{K_v}{K_t} \tau \omega = \frac{K_v K_t}{K_t} F_i \omega = \frac{F_i^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{2\rho A}} \quad (3.14)$$

Burada F_i itki kuvvetini göstermektedir. F_i eşitliğin bir tarafına toplanırsa;

$$F_i = \left(\frac{K_v K_t \sqrt{2\rho A}}{K_t} \omega \right)^2 = k \omega^2 \quad (3.15)$$

elde edilir. Burada k pervane aerodinamik itki katsayısı olmak üzere, itki kuvveti F_i , motorun açısal hızının ω karesi ile orantılı olduğu görülmektedir. Bir dörtüçer için bu durumda tüm motorların itki kuvvetlerin toplamı F_B hareketli eksen takımı O_b 'ye göre;

$$F_B = \sum_{i=1}^4 F_i = k \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \sum \omega_1^2 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

olacaktır.

Z eksenini doğrultusunda, bütün motorların ürettikleri torkların pervaneleri döndürmesi sonucunda çokluuçarlar yerçekimini ve sürtünme kuvvetlerini yenerek havalanmaktadırlar. Pala elemanı teorisi göre, sürüklenme kuvveti (Drag force) F_D , akış dinamiğinin sürüklenme denklemi ile elde edilebilir [25];

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A v^2 \quad (3.17)$$

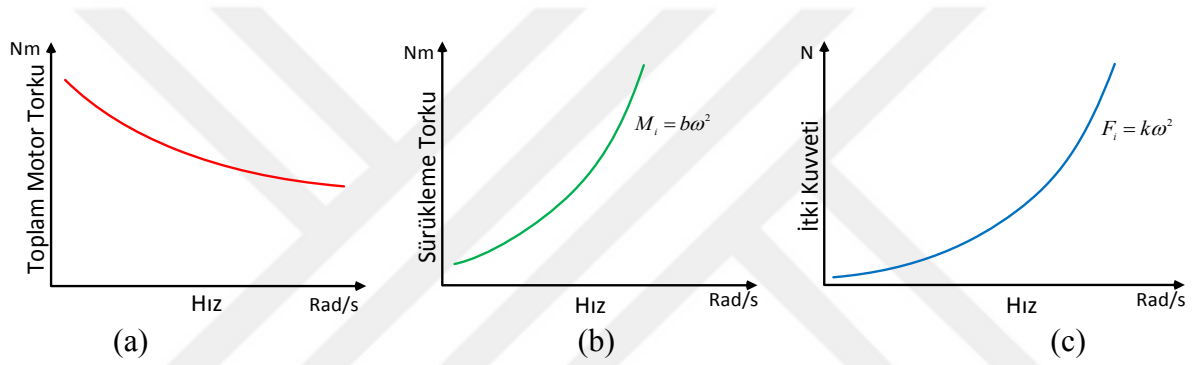
Burada, A pervanenin süpürdüğü alanı, ρ pervane çevresindeki havanın yoğunluğunu, C_D sabit bir katsayı, v hava akış hızını göstermektedir. Bu nedenle i .ci motorun sürüklenme (drag) torku,

$$M_i = \frac{1}{2}R\rho C_D A v^2 = \frac{1}{2}R\rho C_D A (\omega R)^2 = b\omega^2 \quad (3.18)$$

ve i .ci motorun torku τ_i ;

$$\tau_i = b\omega^2 \quad (3.19)$$

ile ifade edilebilir. Denklemlerde görüldüğü gibi sürüklenme ve motor torku aynı değerleri alır fakat yönü terstir. Burada b sürüklenme katsayısı, R pervanenin yarıçapı ve ω pervanenin açısal hızıdır. Şekil 3.3'te motorların toplam torku, sürüklenme torku ve itki kuvvetinin hıza göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. a) Toplam motor torku b) Sürüklenme torku c) İtki kuvvetinin hıza göre değişimleri

Motor için z eksenindeki torkun denklemi;

$$\tau_z = b\omega^2 + I_{zz}\dot{\omega} \quad (3.20)$$

bulunur. Burada, $\dot{\omega}$ pervanenin açısal ivmesini, I_{zz} ise motor z -ekseni etrafındaki atalet momentini göstermektedir. Eğer çokluuçar sabit bir hızla uçuyorsa bu durumda $\dot{\omega} = 0$ olacak ve z eksenindeki torkun denklemi;

$$\tau_z = (-1)^{i+1}b\omega_1^2 \quad (3.21)$$

olarak sadeleştirilebilecektir. Pervanenin dönüşüne bağlı olarak, saat yönünde veya saatin ters yönünde döndüğünden, $(-1)^{i+1}$ terimi sırasıyla pozitif veya negatif olacaktır. Böylece, bir dörtuçarda ψ açısıyla yapılan sapma hareketi için her pervanenin ürettiği torkların toplamı;

$$\tau_{\psi} = b(\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) \quad (3.22)$$

elde edilir. Aynı şekilde ϕ açısıyla yapılan yalpa ve θ açısıyla yapılan yunuslama hareketleri için toplam torklar;

$$\tau_{\phi} = L k(\omega_1^2 - \omega_3^2) \quad (3.23)$$

$$\tau_{\theta} = L k(\omega_2^2 - \omega_4^2) \quad (3.24)$$

ile hesaplanabilmektedir. L herhangi bir pervane ile dörtuçarın merkezinin arasındaki mesafeyi göstermektedir. Bu durumda artı sınıfı bir dörtuçar (4I) için toplam tork hareketli eksen takımı O_b 'ye göre matrissel formda;

$$\tau_B = \begin{bmatrix} L k (\omega_1^2 - \omega_3^2) \\ L k (\omega_2^2 - \omega_4^2) \\ b (\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

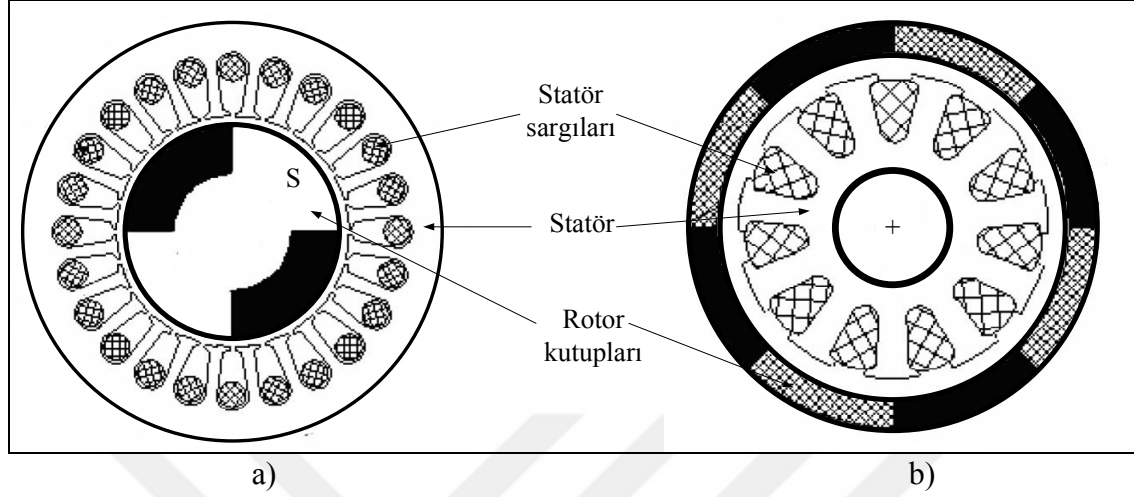
şeklinde yazılabilir. Burada tork vektörü bileşenleri $[\tau_{\phi}, \tau_{\theta}, \tau_{\psi}]$ olarak verilmiştir. Bu üç eksenli torklar, pervanelerin ürettiği itki kuvvetlerine göre türetilmiştir.

3.2.2. Fırçasız DA motor yapıları

Fırçasız DA Motoru (FDAM), sabit mıknatıslı bir senkron motordur. Bu motorlarda, stator sargıları tarafından bir manyetik döner alan üretilmekte ve bu döner alan içine sabit mıknatıs kutuplara sahip rotor yerleştirilerek döner alan ile aynı hızda hareket etmesi sağlanmaktadır. FDAM'lar, trapezoidal zıt emk'ya sahiptir ve sabit moment üretmek amacıyla kare dalga akımla çalışacak biçimde tasarlanırlar.

Fırçasız DA motorlar, rotorun içte veya dışta olmasına göre iç rotorlu Fırçasız DA Motorlar ve dış rotorlu Fırçasız DA Motorlar olarak da ikiye ayrılırlar. İç rotorlu Fırçasız DA Motorlar, yapısal olarak diğer motorlara benzemektedirler. Dış tarafta bulunan stator, sargıları taşır. Sabit mıknatıslı rotor ise statorun içindedir. Dış rotorlu Fırçasız DA Motorlarda ise sargıları taşıyan stator içte, sabit mıknatısları taşıyan rotor ise dışıdır. Her iki motorunda birbirlerine göre üstünlükleri ve eksikleri bulunmaktadır. Uygulamanın

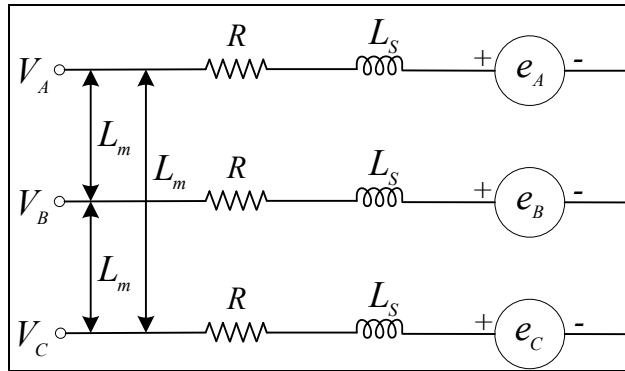
gereklere göre motor tipi seçilmektedir. Şekil 3.4'te bu motorların mekanik yapıları görülmektedir [26].



Şekil 3.4. a) İç rotorlu FDAM b) Dış rotorlu FDAM mekanik yapısı

Fırçasız DA Motorların Matematiksel Modeli

Fırçasız DA Motorların matematiksel modelleri çıkarılırken, faz değişimi yaklaşımı kullanılmıştır. Eşdeğer devre, rotorun içte veya dışta olmasına göre değişmemektedir. Şekil 3.5'te, bir Fırçasız DA Motor eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 3.5. Bir Fırçasız DA Motor eşdeğer devresi

Burada v_A , v_B ve v_C faz gerilimlerini, e_A , e_B ve e_C zıt emk'ları, L_s öz endüktansı, L_m karşılıklı endüktansı, R faz dirençlerini göstermektedir. Şekil 3.4'te verilen bir Fırçasız DA Motorun gerilim denklemleri matrissel formda,

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L & 0 & 0 \\ 0 & L & 0 \\ 0 & 0 & L \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_A \\ e_B \\ e_C \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

ile ifade edilebilir. Burada, i_A , i_B ve i_C faz akımları ve $(L=L_s-L_m)$ 'dir. Fırçasız DA Motorların zıt emk değerleri;

$$\begin{bmatrix} e_A \\ e_B \\ e_C \end{bmatrix} = E \begin{bmatrix} f_A(\theta) \\ f_B(\theta) \\ f_C(\theta) \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

ile gösterilebilir. Burada E toplam zıt emk, $f_A(\theta)$, $f_B(\theta)$ ve $f_C(\theta)$ sırasıyla A, B ve C fazlarına ait θ 'ya göre değişen zıt emk dalga şekillerinin fonksiyonlarıdır. Fırçasız DA Motorların zıt emk dalga şekilleri, rotor pozisyonuna (θ) bağlı trapezoidal bir yapıdadır. Bu durumda toplam zıt emk E ;

$$E = K_v \omega_r \quad (3.28)$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Burada K_v , zıt emk sabitini ve ω rotor hızını göstermektedir. Fırçasız DA Motorlarda tork, enerjilenen stator fazlarıyla rotor kutuplarının aynı hizaya gelme eğilimi ile üretilir. Fırçasız DA Motorlardan alınan elektromanyetik tork τ_e ;

$$\tau_e = \frac{e_A i_A + e_B i_B + e_C i_C}{\omega} \quad (3.29)$$

şeklinde olmaktadır. Eşitlik (3.29)

$$\tau_e = K_t i \quad (3.30)$$

şeklinde düzenlenebilmektedir. Burada, i anlık faz akımlarının toplamını, K_t , tork sabit katsayısını göstermektedir. Omik faz direnci ihmal edilirse, Fırçasız DA Motorlardan alınan güç P ile elektromanyetik tork τ_e arasındaki bağıntı,

$$P = \frac{K_v}{K_t} \tau_e \omega \quad (3.31)$$

ile ifade edilmektedir. Fırçasız DA Motorlarının dinamik hareket denklemlerinden rotor açısal hızının ve pozisyon değişimleri,

$$\frac{d}{dt} \omega = \left(\frac{p_m}{2} (\tau_e - \tau_L) - B \omega \right) / J \quad (3.32)$$

$$\frac{d}{dt} \theta = \omega \quad (3.33)$$

eşitlikleri ile ifade edilebilir. Burada p_m motor kutup sayısını, τ_L yük momentini, J atalet momentini ve B sürtünmeyi temsil etmektedir.

3.2.3. Yerçekimi ivmesi

Yerçekimi ivmesi çokluuçların gövdesinin ağırlık merkezi üzerinde etkmektedir. O_e sabit eksen takımında yerçekimi kuvveti;

$$F_e = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ m \cdot g \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

ile ifade edilen sabit bir vektördür. Bu vektörü dönüşüm matrisi R_e^b 'yi kullanarak O_b eksenine dönüştürürsek;

$$F_b = R_e^b \cdot F_e \quad (3.35)$$

$$F_b = \begin{bmatrix} -m \cdot g \cdot \sin\theta \\ m \cdot g \cdot \sin\phi \cos\theta \\ m \cdot g \cdot \cos\phi \cdot \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

olacaktır.

3.2.4. Kararlı devinim etkisi

Çokluuçların kendi merkezi etrafında dönmesi sonucu oluşan açısal hız ve her motorun/pervanenin kendi eksenleri etrafında dönmesi sonucu oluşan açısal hızdan dolayı oluşan kararlı devinim etkisi (Gyroscopic Effect) devinim torku üretmektedir. Üretilen bu

tork, O_b eksen takımına sabitlenmiştir. Artı sınıfı bir dörtüçer (4I) için toplam devinim torku $\tau_{b_{devinim}}$;

$$\tau_{b_{devinim}} = \sum_{i=1}^n J_T \cdot \left(\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \mp \omega_i \end{bmatrix} \right) \quad (3.37)$$

ile hesaplanır. Burada, n toplam motor sayısı, ω_i i . motorunun hızını, J_T bir motorun ve pervanenin kendi dönme eksenlerinde oluşturdukları toplam atalet momentini göstermektedir. i . Motorun açısal hızı ω_i , döndürme yönüne bağlı olarak pozitif veya negatiftir. Her bir motor için açısal hız vektörleri saat yönünde dönüş için pozitif, aksi yönde dönüş için negatif değer almaktadır.

3.2.5. Farklı yapıdaki çokluuçarların açısal tork ve atalet matrisi

Çokluuçarlarda doğrusal hareket;

$$m\ddot{x} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{bmatrix} + R_e^b F_B + F_D \quad (3.38)$$

ile ifade edilmektedir. Burada hareketli eksene göre F_D sürüklenme ve F_B itki kuvvetleridir. R_e^b dönüşüm matrisi, g yerçekimi ivmesini ve $\vec{x}$ çokluuçarın konumunu göstermektedir.

Çokluuçar için Euler denklemleri kullanılarak açısal denklemler vektör formunda yazılırsa;

$$\tau = I\dot{\omega} + \omega \times (I\omega) \quad (3.39)$$

elde edilir. Düzenleme yapılırsa eşitlik;

$$\dot{\omega} = \begin{bmatrix} \dot{\omega}_x \\ \dot{\omega}_y \\ \dot{\omega}_z \end{bmatrix} = I^{-1}(\tau - \omega \times (I\omega)) \quad (3.40)$$

şeklini alır. Bağlı ataletler ihmal edilip sadece temel eksenler üzerindeki hareketler dikkate alınırsa, çokluuçarın atalet momenti I , köşegen (diyagonal) bir matris olacaktır.

$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

Dolayısıyla, hareketli eksen takımı için dörtüçarın momentlerine bağlı olarak açısal hızlarını belirleyen dönüş hareket denklemi;

$$\begin{bmatrix} \dot{\omega}_x \\ \dot{\omega}_y \\ \dot{\omega}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_\phi / I_{xx} \\ \tau_\theta / I_{yy} \\ \tau_\psi / I_{zz} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{I_{yy}-I_{zz}}{I_{xx}} \omega_y \omega_z \\ \frac{I_{zz}-I_{xx}}{I_{yy}} \omega_x \omega_z \\ \frac{I_{xx}-I_{yy}}{I_{zz}} \omega_x \omega_y \end{bmatrix} \quad (3.42)$$

elde edilir.

Artı Sınıfı Dörtüçarlarda Kuvvet ve Tork

Hareketli eksene etkiyen yerçekimi:

$$F_b = \begin{bmatrix} -m \cdot g \cdot \sin\theta \\ m \cdot g \cdot \sin\phi \cos\theta \\ m \cdot g \cdot \cos\phi \cdot \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.43)$$

Motorların toplam itki kuvveti:

$$F_B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b(\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) \end{bmatrix} \quad (3.44)$$

Motorların itki kuvveti ve pervanelerin sürüklediği havanın z_e eksenine doğrultusunda ürettikleri tork:

$$\tau_B = \begin{bmatrix} L k (\omega_1^2 - \omega_3^2) \\ L k (\omega_2^2 - \omega_4^2) \\ b (\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) \end{bmatrix} \quad (3.45)$$

Kararlı devinim etkisi:

$$\tau_{b_{devinim}} = J_T \begin{bmatrix} q(\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4) \\ p(-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

Çapraz Sınıfı Dörtüçarlarda Kuvvet ve Tork

Hareketli eksene etkiyen yerçekimi:

$$F_b = \begin{bmatrix} -m \cdot g \cdot \sin\theta \\ m \cdot g \cdot \sin\phi \cos\theta \\ m \cdot g \cdot \cos\phi \cdot \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.47)$$

Motorların toplam itki kuvveti:

$$F_B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

Motorların itki kuvveti ve pervanelerin sürüklediği havanın z_e eksenine doğrultusunda ürettikleri tork:

$$\tau_B = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} L k (\omega_1^2 - \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} L k (\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) \\ b (-\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2) \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

Kararlı devinim etkisi:

$$\tau_{b_{devinim}} = J_T \begin{bmatrix} q(\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4) \\ p(-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.50)$$

Artı Sınıfı Altıuçarlarda Kuvvet ve Tork

Hareketli eksene etkiyen yerçekimi:

$$F_b = \begin{bmatrix} -m \cdot g \cdot \sin\theta \\ m \cdot g \cdot \sin\phi \cos\theta \\ m \cdot g \cdot \cos\phi \cdot \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.51)$$

Motorların toplam itki kuvveti:

$$F_B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -b (\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 + \omega_5^2 + \omega_6^2) \end{bmatrix} \quad (3.52)$$

Motorların itki kuvveti ve pervanelerin sürüklediği havanın z_e eksenini doğrultusunda ürettikleri tork:

$$\tau_B = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} L k (-\omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_5^2 + \omega_6^2) \\ \frac{1}{2} L k (2\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 - 2\omega_4^2 - \omega_5^2 + \omega_6^2) \\ -b (-\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2 - \omega_5^2 + \omega_6^2) \end{bmatrix} \quad (3.53)$$

Kararlı devinim etkisi:

$$\tau_{b_{devinim}} = J_T \begin{bmatrix} q(\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4 + \omega_5 - \omega_6) \\ p(-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4 - \omega_5 + \omega_6) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.54)$$

Çapraz Sınıfı Altıuçarlarda Kuvvet ve Tork

Hareketli eksene etkiyen yerçekimi:

$$F_b = \begin{bmatrix} -m \cdot g \cdot \sin\theta \\ m \cdot g \cdot \sin\phi \cos\theta \\ m \cdot g \cdot \cos\phi \cdot \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.55)$$

Motorların toplam itki kuvveti:

$$F_B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -b (\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 + \omega_5^2 + \omega_6^2) \end{bmatrix} \quad (3.56)$$

Motorların itki kuvveti ve pervanelerin sürüklediği havanın z_e eksenini doğrultusunda ürettikleri tork:

$$\tau_B = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} L k (\omega_1^2 - \omega_2^2 - 2\omega_3^2 - 2\omega_4^2 + \omega_5^2 + 2\omega_6^2) \\ \frac{\sqrt{3}}{2} L k (\omega_1^2 + \omega_2^2 - 2\omega_4^2 - \omega_5^2) \\ b (-\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2 - \omega_5^2 + \omega_6^2) \end{bmatrix} \quad (3.57)$$

Kararlı devinim etkisi:

$$\tau_{b_{devinim}} = J_T \begin{bmatrix} q(\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4 + \omega_5 - \omega_6) \\ p(-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4 - \omega_5 + \omega_6) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.58)$$

Artı Sınıfı Sekizuçarlarda Kuvvet ve Tork

Hareketli eksene etkiyen yerçekimi:

$$F_b = \begin{bmatrix} -m \cdot g \cdot \sin\theta \\ m \cdot g \cdot \sin\phi \cos\theta \\ m \cdot g \cdot \cos\phi \cdot \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.59)$$

Motorların toplam itki kuvveti:

$$F_B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -b (\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 + \omega_5^2 + \omega_6^2 + \omega_7^2 + \omega_8^2) \end{bmatrix} \quad (3.60)$$

Motorların itki kuvveti ve pervanelerin sürüklediği havanın z_e eksenini doğrultusunda ürettikleri tork:

$$\tau_B = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} L k (-\omega_2^2 - \sqrt{2}\omega_3^2 - \omega_4^2 + \omega_6^2 + \sqrt{2}\omega_7^2 + \omega_8^2) \\ \frac{1}{2} L k (\sqrt{2}\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_4^2 - \sqrt{2}\omega_5^2 - \omega_6^2 + \omega_8^2) \\ b (-\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2 - \omega_5^2 + \omega_6^2 - \omega_7^2 + \omega_8^2) \end{bmatrix} \quad (3.61)$$

Kararlı devinim etkisi:

$$\tau_{b_{devinim}} = J_T \begin{bmatrix} q(\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4 + \omega_5 - \omega_6 + \omega_7 - \omega_8) \\ p(-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4 - \omega_5 + \omega_6 - \omega_7 + \omega_8) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.62)$$

Çapraz Sınıfı Sekizuçarlarda Kuvvet ve Tork

Hareketli eksene etkiyen yerçekimi:

$$F_b = \begin{bmatrix} -m \cdot g \cdot \sin\theta \\ m \cdot g \cdot \sin\phi \cos\theta \\ m \cdot g \cdot \cos\phi \cdot \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.63)$$

Motorların toplam itki kuvveti:

$$F_B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -b(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 + \omega_5^2 + \omega_6^2 + \omega_7^2 + \omega_8^2) \end{bmatrix} \quad (3.64)$$

Motorların itki kuvveti ve pervanelerin sürüklediği havanın z_e eksenine doğrultusunda ürettikleri tork:

$$\tau_B = \begin{bmatrix} L k [\vartheta(\omega_1^2 - \omega_2^2 - \omega_5^2 + \omega_6^2) + \delta(-\omega_3^2 - \omega_4^2 + \omega_7^2 + \omega_8^2)] \\ L k [\vartheta(\omega_3^2 - \omega_4^2 - \omega_7^2 + \omega_8^2) + \delta(\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_5^2 - \omega_6^2)] \\ b(-\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2 - \omega_5^2 + \omega_6^2 - \omega_7^2 + \omega_8^2) \end{bmatrix} \quad (3.65)$$

$\vartheta=0,382683$ ve $\delta=0,923880$

Kararlı devinim etkisi:

$$\tau_{b_{devinim}} = J_T \begin{bmatrix} q(\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4 + \omega_5 - \omega_6 + \omega_7 - \omega_8) \\ p(-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4 - \omega_5 + \omega_6 - \omega_7 + \omega_8) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.66)$$

3.3. Çokluuçarlar için PD denetleyici

Çokluuçarın matematiksel modelleri önceki bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Çokluuçarın denetim algoritmaları bu bölümde ele alınmıştır. Denetim sistemin performansı, MATLAB ortamında yapılan benzetim çalışmaları ile test edilmiştir. Denetim için önemli olan denklemler aşağıda özetlenmiştir [27-34]. İlk denklem seti çokluuçarın temel hareket komutlarına göre nasıl hızlandığını göstermektedir.

$$\ddot{X} = (\sin \psi \sin \phi + \cos \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \quad (3.67)$$

$$\ddot{Y} = (-\cos \psi \sin \phi + \sin \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \quad (3.68)$$

$$\ddot{Z} = -g + (\cos \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \quad (3.69)$$

$$\dot{p} = \frac{I_{yy} - I_{zz}}{I_{xx}} q r - \frac{I_{TP}}{I_{xx}} q \omega + \frac{U_2}{I_{xx}} \quad (3.70)$$

$$\dot{q} = \frac{I_{zz} - I_{xx}}{I_{yy}} p r + \frac{I_{TP}}{I_{yy}} p \omega + \frac{U_3}{I_{yy}} \quad (3.71)$$

$$\dot{r} = \frac{I_{xx} - I_{yy}}{I_{zz}} p q + \frac{U_4}{I_{zz}} \quad (3.72)$$

İkinci denklem seti pervanelerin hızlarının temel hareketlerle ilişkisini göstermektedir.

$$U_1 = b (\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \quad (3.73)$$

$$U_2 = L b (-\omega_2^2 + \omega_4^2) \quad (3.74)$$

$$U_3 = L b (-\omega_1^2 + \omega_3^2) \quad (3.75)$$

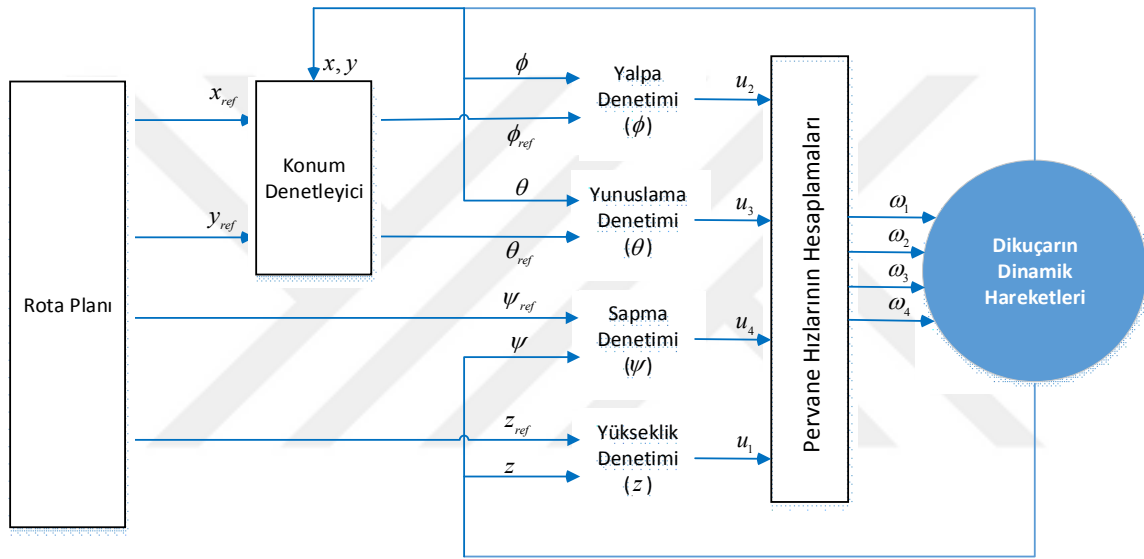
$$U_4 = k (-\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2) \quad (3.76)$$

$$\omega = -\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4 \quad (3.77)$$

Bu denklemlerden çokluuçarın dinamik hareketlerinin motor hızlarıyla değiştiği açıkça görülmektedir. Pervane hızları durum uzayı formunda yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b & b & b & b \\ 0 & -Lb & 0 & Lb \\ -Lb & 0 & LB & 0 \\ -k & k & -k & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \end{bmatrix} \quad (3.78)$$

Elde edilir. Şekil 3.6 bir çapraz sınıfı dörtuçarın denetim çevrimini göstermektedir.



Şekil 3.6. Bir çapraz sınıfı dörtuçarın denetim çevrimi

Şekil 3.6’da çokluuçarın denetlenmesi için bir iç bir de dış döngü olmak üzere iki döngü bulunmaktadır. İç döngü yalpa (ϕ), yunuslama(θ), sapma (ψ) ve yükselti z olmak üzere dört durumu, dış döngü ise (x, y) konumları denetlemektedir. Denetim çevriminde bulunan iç döngünün dinamikleri, dış döngünün dinamiklerine göre daha hızlı olmalıdır.

Dörtuçarın x, y, z eksenleri boyunca ve bu eksenler etrafındaki hareketinin PD denetleyici ile denetlenmesi için sistem dinamiklerini tanımlayan hareket denklemleri arasındaki karşılıklı etkiler yok sayılarak sistemin hareketi dört bağımsız kanala ayrılmıştır.

PD denetleyici kullanım kolaylığı nedeniyle endüstride çok kullanılan bir doğrusal denetim yöntemidir. PD denetleyici, hatanın K_p oransal ve K_d türevsel katsayılarla çarpılması ile

çıkışın arzu edilen referansı takip etmesi amaçlanmaktadır. PD denetleyicide hata çıkışla referans değeri arasındaki farktır. Bu durumda;

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (3.79)$$

olmak üzere oransal hata;

$$P(t) = K_p e(t) \quad (3.80)$$

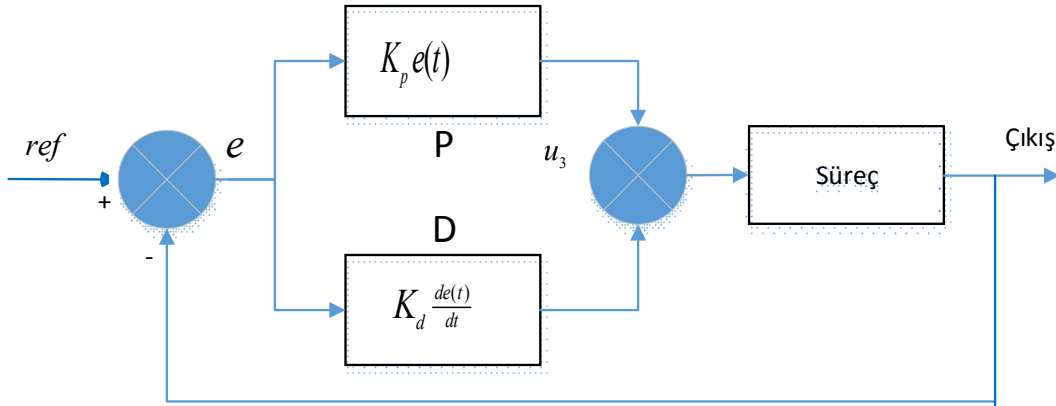
ve türevsel hata

$$D(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.81)$$

olacaktır. Bu durumda denetleyici

$$u(t) = P(t) + D(t) \quad (3.82)$$

ile ifade edilebilir. PD denetleyicinin blok diyagramı Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. PD denetleyicinin blok diyagramı

Şekil 3.7’de görülen denetleyici yükselti için yazılırsa;

$$U_1 = K_{p,z}(z - z_{ref}) + K_{d,z}(\dot{z} - \dot{z}_{ref}) \quad (3.83)$$

olacaktır. Burada, $K_{p,z}$ yükselti, $K_{d,z}$ ise yükseltinin değişim oranını göstermektedir. ϕ , θ ve ψ için denetleyiciler;

$$U_2 = K_{p,\phi}(\phi_{ref} - \phi) + K_{d,\phi}(\dot{\phi}_{ref} - \dot{\phi}) \quad (\text{Yalpa açısı}) \quad (3.84)$$

$$U_3 = K_{p,\theta}(\theta_{ref} - \theta) + K_{d,\theta}(\dot{\theta}_{ref} - \dot{\theta}) \quad (\text{Yunuslama açısı}) \quad (3.85)$$

$$U_4 = K_{p,\psi}(\psi_{ref} - \psi) + K_{d,\psi}(\dot{\psi}_{ref} - \dot{\psi}) \quad (\text{Sapma açısı}) \quad (3.86)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, ϕ_{ref} ve $\dot{\phi}_{ref}$ sırasıyla arzu edilen yalpa açısını ve arzu edilen yalpa açısının değişim oranını, θ_{ref} ve $\dot{\theta}_{ref}$ sırasıyla arzu edilen yunuslama açısını ve arzu edilen yunuslama açısının değişim oranını, ψ_{ref} ve $\dot{\psi}_{ref}$ sırasıyla arzu edilen sapma açısını ve arzu edilen sapma açısının değişim oranını göstermektedir. PD denetleyiciyi tasarlamak için, çokluuçarın doğrusal olmayan açısal dinamikleri doğrusallaştırılınca;

$$\phi(s) = \frac{1}{s^2} \frac{L}{I_{xx}} U_2(s), \theta(s) = \frac{1}{s^2} \frac{L}{I_{yy}} U_3(s), \psi(s) = \frac{1}{s^2} \frac{L}{I_{zz}} U_4(s) \quad (3.87)$$

olacaktır.



4. ÇOKLUUÇARIN TASARIM VE DİNAMİK BENZETİM ÇALIŞMALARI

Tezde İHA olarak bir dörтуçar kullanılmıştır. Bu dörтуçarın teorik çalışmaları ve performans özelliklerini çıkarmak için “eCalc” programı kullanılmıştır [35]. eCalc 2004'ten beri, uçakların, çokluuçarın, İHA'ların ve helikopterin sürücülerinin benzetimini yapmak, hesaplamak, değerlendirmek ve tasarlamak için geliştirilmiş web tabanlı bir programdır.

eCalc'te tasarım süreci ve benzetim işlemleri etkileşimli olup, mümkün olduğunca gerçek elemanların özelliklerinin kullanıldığı gerçeğe çok yakın ortamlar oluşturulabilmektedir.

eCalc ortamında;

1. Çokluuçarın çalışacağı rakım ve basınç gibi ortam ve çevre şartları performansı doğrudan etkilediğinden bu değerler girilebilmektedir.
2. Çokluuçarın çerçeve boyutu ve ağırlığı, olası yapıları değiştirdiğinden programda tanımlanabilmektedir.
3. Motor sayısı ve düzenlemeler seçilebilmektedir.
4. Bataryanın hücre sayısı, kapasitesi ve C-Derecesi, çokluuçarın uçuş zamanını ve performansını doğrudan etkilediği için farklı yapıların kullanılması mümkündür.
5. Denetleyici/ESC'de akım sınırları tanımlanabilmektedir.
6. Pervane, seçtiğiniz çerçeve için kullanılabilecek en uygun pervane ve hatve açısı seçilebilmektedir.
7. eCalc, web üzerinde bulunabilecek en kapsamlı çokluuçar motorları veritabanına sahip olduğundan en uygun motoru seçme imkanı sağlamaktadır.

Çokluuçar sistemini oluşturan elamanlar ve bunlara ait parametreleri gösteren eCalc arayüz çıktısı Şekiller 4.1-4.3'te verilmiştir. Şekil 4.1, çokluuçarın parametrelerini, seçilen elamanlarını, performans değerlerini göstermektedir.

54R

Üye Tam Sürüm

Düğüar

Calc

xcopterCalc - Düğüar Hesaplama

Follow Follow YouTube 434

Hes Geldiniz Elmas

Abonelik Süresi Bitimi: 31/12/18

Cikis - Profil

Sonuçlarda sapmalar olabilir - Hata Payı: +/-15%

Genel	Düğüarın Ağırlığı: 2750 g Sürücü dahil 97 oz	# Motor Sayısı: 4	Çerçeve Ölçüsü: 630 mm 24.8 inç	Uçuş Denetleyicisi Yatış Sınırı: 30°	Rakım: 800 m ASL 2625 ft ASL	Hava Sıcaklığı: 25 °C 77 °F	Pasaj (QN-H): 1013 hPa 29.91 inHg	
Batarya Hücresi	Tip (Devamı / maks. C) - şarj durumu: belirsiz	Yapı: 3 S 1 P	Batarya Kapasitesi: 10400 mAh 10400 mAh toplam	maks. boşalma: 80%	Direnç: 0.0011 Ohm	Gerilim: 3.7 V	C-Oran: 65 C sürekli 100 C Maks. Ağırlık: 330 g 11.6 oz	
Denetleyici	Tip: max 30A	Akım: 30 A Stokli 30 A Maks.	Direç: 0.008 Ohm	Ağırlık: 40 g 1.4 oz	Aksesuarlar			Çekilen Akım: 0 A Ağırlık: 0 g 0 oz
Motor	Üretici - Tip (KV) - Soğutma: SunnySky V3508-700 (700) [il] ara...	KV (Tork hariç): 700 dev/dak/V	Yüksüz akım: 0.7 A @ 10 V	Sınıır (15s'ye kadar): 520 W	Direnç: 0.092 Ohm	Gövde Uzunluğu: 29 mm 0.79 inç	# Manyetik Kutup: 14 Ağırlık: 97 g 3.4 oz	
Pervane	Tip - yoke açısı: belirsiz 0°	Çap: 15 inç 381 mm	Pitch: 5.5 inç 139.7 mm	# Kanatlar: 2	PSabiti / TSabiti: 1.07 / 0.99	Deği Oranı: 1 : 1	hesapla	

Yükle: 10.33 C

Uçuş Süresi: 15.8 dakika

Elektriksel Güç: 300.7 W

Tahmini Sıcaklık: 75 °C

İtki-Ağırlık: 2.2

İtki: 7.49 g/W

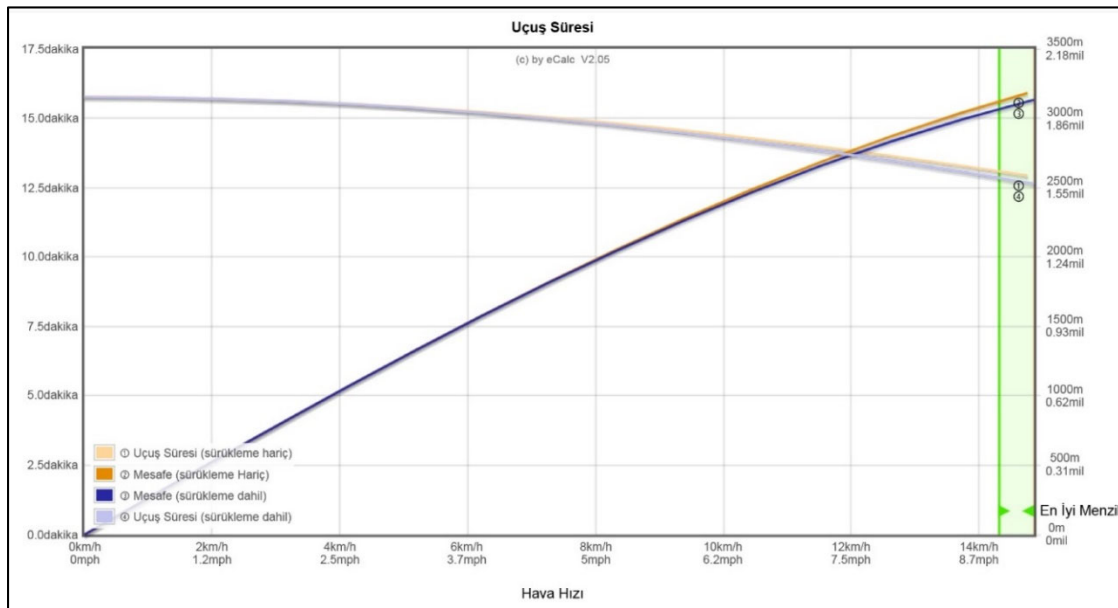
Yapılandırma

Uyarılar:	Motor @ Optimum Verim	Motor @ Maks.	Motor @ Uçuş
Batarya	Akım: 9.18 A	Akım: 26.86 A	Akım: 7.92 A
Yükle: 10.33 C	Gerilim: 11.57 V	Gerilim: 11.20 V	Gerilim: 11.60 V
Gerilim: 11.41 V	Devir*: 7458 dev/dak	Devir*: 5959 dev/dak	Devir*: 3596 dev/dak
Anma Gerilimi: 11.10 V	Elektriksel Güç: 106.2 W	Elektriksel Güç: 300.7 W	Hızlanma (logaritmik): 42 %
Enerji: 115.44 Wh	Mekanik Güç: 90.1 W	Mekanik Güç: 223.1 W	Hızlanma (doğrusal): 56 %
Toplam Kapasite: 10400 mAh	Verim: 84.8 %	Güç-Ağırlık: 437.4 W/kg	Elektriksel Güç: 91.8 W
Kullanılan Kapasite: 8320 mAh		Verim: 74.2 %	Mekanik Güç: 69.2 W
Min. Uçuş Zamanı: 4.6 dakika		Tahmini Sıcaklık: 75 °C	Güç-Ağırlık: 135.5 W/kg
Sabit Uçuş Zamanı: 12.4 dakika		Wattmetre	Verim: 61.5 W/kg
Uçuş Süresi: 15.8 dakika		Akım: 107.44 A	Tahmini Sıcaklık: 40 °C
Ağırlık: 990 g		Gerilim: 11.41 V	İtki: 7.49 g/W
		Güç: 1225.9 W	Verim @ Maks.: 0.26 oz/W

Toplam Sürücü	Düğüar
Sürücü Ağırlığı: 1692 g	Toplam Ağırlık: 2750 g
İtki-Ağırlık: 2.2 : 1	İlave Faydalı Yük: 2440 g
Akım @ Uçuş: 31.67 A	Maks. Yatış: 30 °
P(gırs) @ Uçuş: 372.6 W	Maks. Hız: 20 km/h
P(gırs) @ Uçuş: 276.6 W	Tahmini tırmanma oranı: 1142 ft/min
verim @ Uçuş: 74.2 %	Toplam disk Alanı: 45.60 dm²
Akım @ Maks.: 107.44 A	
P(gırs) @ Maks.: 1264.1 W	
P(gırs) @ Maks.: 892.3 W	
Verim @ Maks.: 70.6 %	

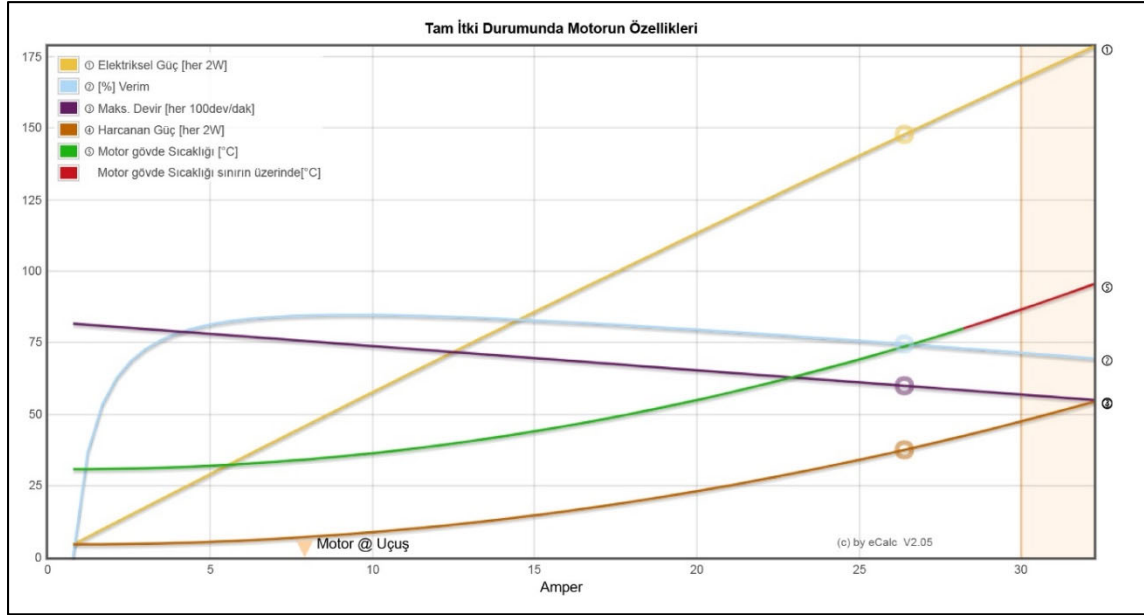
Şekil 4.1. Çokluuçarın parametreleri, seçilen elamanları, performans değeri

Çokluuçarın verilen parametrelerle uçabileceği mesafe ve uçuş süresi Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Çokluuçarın uçabileceği menzıl ve süre

Tam itki durumunda çokluuçarın performans eğrileri Şekil 4.3’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Tam itki durumunda çokluuçarın performans eğrileri

4.1. Çokluuçarın Çerçevesinin Boyut ve Ağırlığı

Çokluuçarların boyut ve ağırlığı, performansını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle eCalc ile elde edilen verilere göre seçilen çerçevenin özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çokluuçarın çerçevesinin özellikleri

Eleman ve Özellikleri	Ölçüler
Dingil mesafesi	630mm
Boyut (UxGxY)	510x510x255mm

4.1.1. Toplam ağırlık

Çokluuçarın tüm bileşenleri toplam ağırlığını oluşturmaktadır. Bu bileşenler genellikle çerçeve, otopilot, anten, motorlar, pervaneler, ESC, batarya, bağlantı telleri, zil, diğer faydalı yükler, vb. oluşmaktadır.

4.1.2. İtki gereksinimi

Çokluuçarın toplam ağırlığını kaldırmak için motorların ve pervanenin üretmesi gereken itki gücü hesaplanmalıdır.

4.1.3. Ağırlık itki oranı

Genel kural, çokluuçarın toplam ağırlığını kaldıracak en az iki kat daha fazla İtki gücü sağlayacak motorlar seçilmelidir. Daha fazla itki gücü motorun manevra yeteneğini artırmaktadır. İtki gücü az seçilirse çokluuçar denetimlere iyi tepki vermez, hatta kalkış yapmakta zorluk çekebilir. eCalc ile elde edilen verilere göre seçilen çokluuçarın toplam ağırlığı, itki-ağırlık veriler Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. eCalc ile elde edilen toplam ağırlık, itki-ağırlık verileri

Sürücü		Çokluuçar	
Sürücü Ağırlığı:	1692 g	Toplam Ağırlık:	2750 g
	59.7 oz		97 oz
İtki-Ağırlık:	2.2 : 1	İlave Faydalı Yük:	2440 g
Akım @ Uçuş:	31.67 A		86.1 oz
P(giriş) @ Uçuş	372.6 W	Maks. Yatış:	30°
P(çıkış) @ Uçuş:	276.6 W	Maks. Hız:	20 km/h
Verim @ Uçuş:	74.2 %		12.4 mph
Akım @ Maks.:	107.44 A	Tahmini Tırmanma Oranı:	5.8 m/s
P(giriş) @ Maks.:	1264.1 W		1142 ft/min
P(çıkış) @ Maks.:	892.3 W	Toplam Disk Alanı:	45.60 dm ²
Verim @ Maks.:	70.6 %		706.8 in ²

4.1.4. Verimlilik ve akım

Motor verimi, tipik olarak, itkinin güce bölünmesi ile elde edilir. Birimi watt başına gram cinsinden (g / w) ifade edilir. Bu sayı ne kadar yüksekse motor o kadar verimli olur. Verim bazen amper başına gram (itki/akım) olarak ta ifade edilmektedir. Pervane boyutları itki ve verimliliği dengeleyecek şekilde seçilmelidir. eCalc ile elde edilen verilere göre seçilen motorlara ait veriler Şekil 4.4’te gösterilmiştir.

Motor @ Optimum Verim		Motor @ Maks.		Motor @ Uçuş	
Akım:	9.18 A	Akım:	26.86 A	Akım:	7.92 A
Gerilim:	11.57 V	Gerilim:	11.20 V	Gerilim:	11.60 V
Devir*:	7458 dev/dak	Devir*:	5959 dev/dak	Devir*:	3596 dev/dak
Elektriksel Güç:	106.2 W	Elektriksel Güç:	300.7 W	Hızlanma (logaritmik):	42 %
Mekanik Güç:	90.1 W	Mekanik Güç:	223.1 W	Hızlanma (doğrusal):	56 %
Verim:	84.8 %	Güç-Ağırlık:	437.4 W/kg	Elektriksel Güç:	91.8 W
			198.4 W/lb	Mekanik Güç:	69.2 W
		Verim:	74.2 %	Güç-Ağırlık:	135.5 W/kg
		Tahmini Sıcaklık:	75 °C		61.5 W/lb
			167 °F	Verim:	75.3 %
		Wattmetre		Tahmini Sıcaklık:	40 °C
		Akım:	107.44 A		104 °F
		Gerilim:	11.41 V	İtki:	7.49 g/W
		Güç:	1225.9 W		0.26 oz/W

Şekil 4.4. eCalc ile elde edilen verilere göre seçilen motorlara ait veriler

eCalc ile elde edilen verilere göre seçilen motorların özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çokluuçların motorlarının özellikleri

Özellikler	V3508 KV700
Stator Çapı	35mm
Stator Et Kalınlığı	8mm
Stator Kol Sayısı	12
Stator Kutup Sayısı	14
Motor KV'sı	700
Yüksüz Akım(A/10V)	0.7A
Motor Direnci	92mΩ
Maksimum Anma Akımı	32A/30s
Maksimum Anma Gücü	520W
Ağırlık	97 g
Rotor Çapı	41.8mm
Rotor Uzunluğu	20mm
Maksimum LiPo Hücresi	4S

4.1.5. Pervane seçimi

eCalc ile elde edilen verilere göre seçilen pervanelerin özellikleri Şekil 4.5'te verilmiştir.

Pervane (inch)	Gerilim (V)	dev/dak	Akım (A)	İtki (gf)	Güç (W)	Verim) (g/W)	Yük ısısı (%100 İtkide)
15x5.5	14.8	1450	0.4	100	6	16.89	2min 63°C
		2010	0.9	200	13	15.02	
		2530	1.5	300	22	13.51	
		2920	2.2	400	33	12.29	
		3210	3.1	500	46	10.90	
		3570	4	600	59	10.14	
		3820	5	700	74	9.46	
		4010	6.1	800	90	8.86	
		4260	7.3	900	108	8.33	
		4530	8.6	1000	127	7.86	
		4965	11.5	1200	170	7.05	
		5350	14.7	1400	218	6.44	
		5720	18.2	1600	269	5.94	
		6030	22.8	1800	337	5.33	
		6400	27.8	2050	411	4.98	
	16	1460	0.3	100	5	20.83	2min 68°C
		2020	0.8	200	13	15.63	
		2520	1.4	300	22	13.39	
		2930	2.1	400	34	11.90	
		3220	2.8	500	45	11.16	
		3560	3.6	600	58	10.42	
		3830	4.6	700	74	9.51	
		4020	5.8	800	93	8.62	
		4278	6.9	900	110	8.15	
		4535	8	1000	128	7.81	
		4960	10.6	1200	170	7.08	
		5365	13.6	1400	218	6.43	
		5730	17	1600	272	5.88	
		6040	21.3	1800	341	5.28	
		6370	26.3	2000	421	4.75	
		6680	28.8	2200	461	4.77	
		6753	30.8	2300	493	4.67	

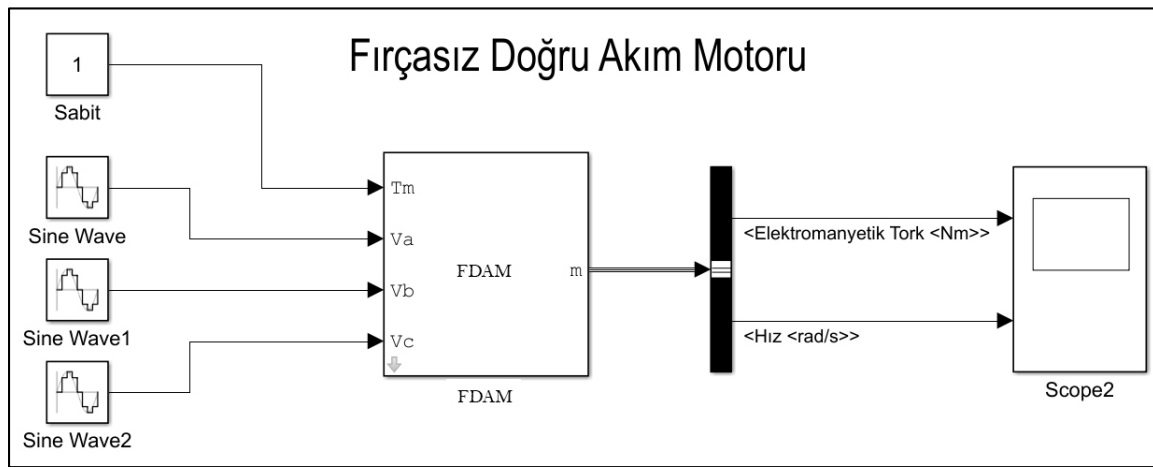
Şekil 4.5. Çokluuçarın pervanelerinin özellikleri

4.2. Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Benzetim Çalışmaları

Fırçasız Doğru Akım Motoru (FDAM) benzetim çalışmaları Srikanth Dakoju tarafından hazırlanarak MATLAB'in sitesinde verilmiş [36] Simulink ortamında modellenmiş örneğe dayanmaktadır. Model tezde kullanılan çokluuçarın parametrelerine göre düzenlenerek Türkçeleştirilmiştir.

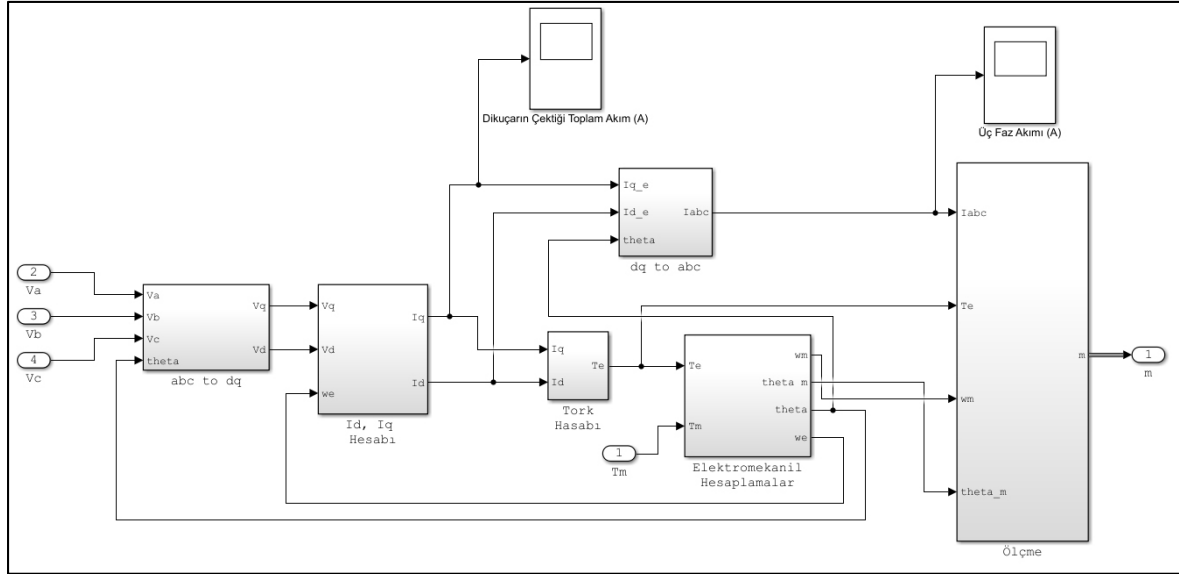
Benzetim Motor ve Sürücü olarak iki bloktan oluşmaktadır. Bloklar Simulink kütüphanesi kullanılarak oluşturulmuştur. Motor parametreleri ilgili bloğa tanımlanarak motor modeli oluşturulmuştur.

Fırçasız DC motor ve sürücüsü iç ve dış olmak üzere iki geri besleme döngüsü ile denetlenmektedir. İç geri besleme döngüsü akımı, dış geri besleme döngüsü motor hızını denetlenmektedir. Benzetim, Çizelge 4.2’de verilen parametrelere göre yapılmıştır. Şekil 4.6’da motor ve sürücü alt sistemine ait komple blok görülmektedir.



Şekil 4.6. Motor ve sürücü alt sistemine ait komple blok

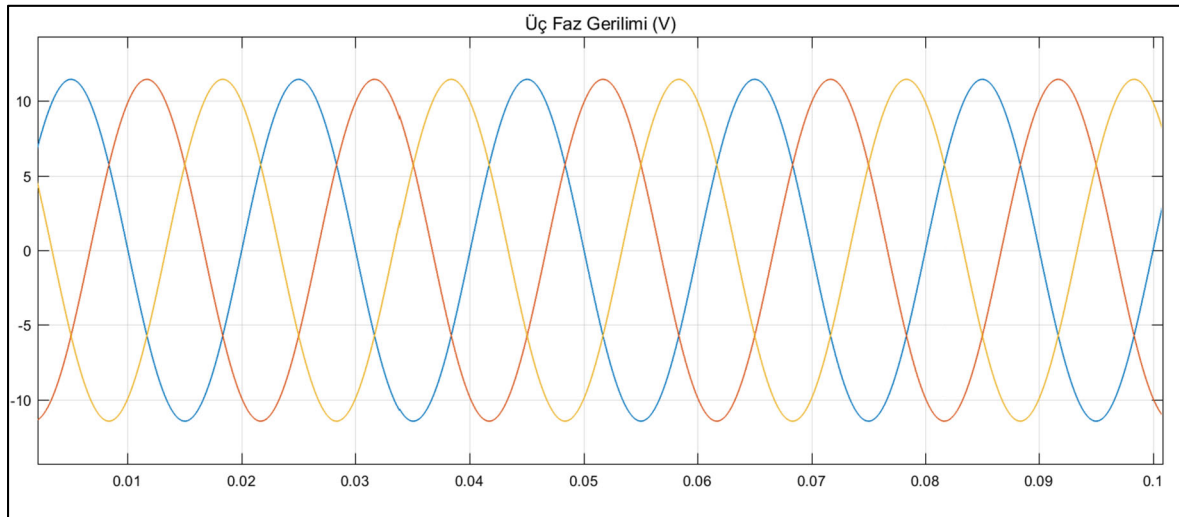
Şekilde görülen fırçasız DC motor modeli birçok alt modelden oluşmaktadır. Bunlar başlıca, motor bloğu, çevirici bloğu, akım denetim bloğu ve hız denetim bloğudur. Şekil 4.7’de motorun dq dönüşümleri ve Elektromekanik hesaplamaları bloğu görülmektedir.



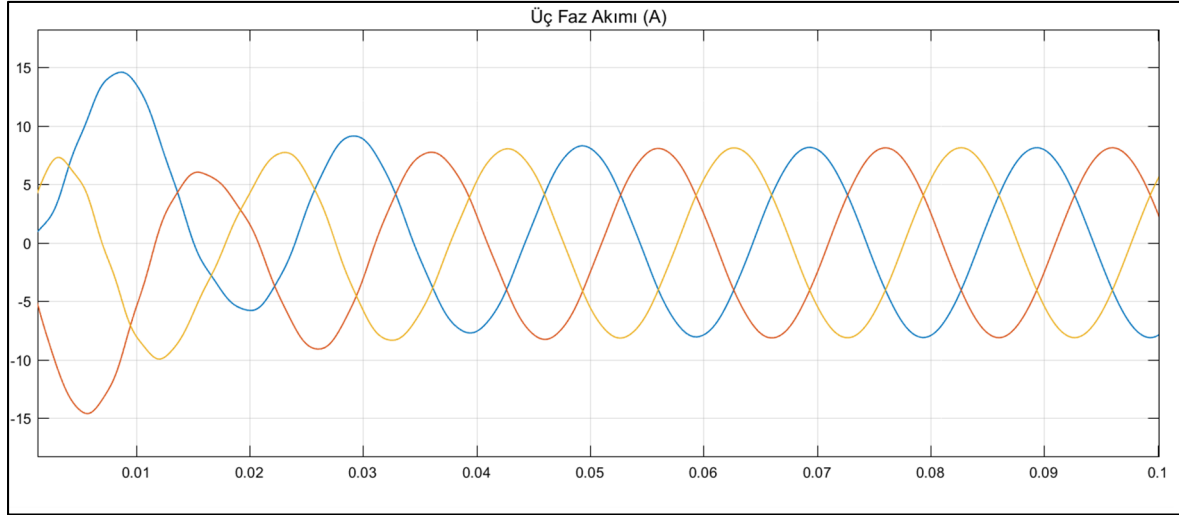
Şekil 4.7. Motorun dq dönüşümleri ve Elektromekanik hesaplamaları bloğu

4.2.1. Motor ve sürücü benzetim sonuçları

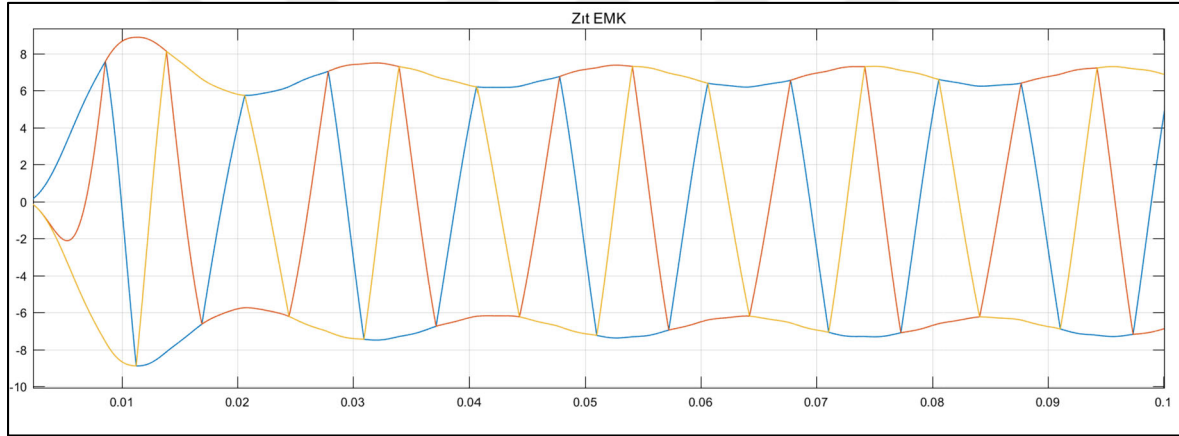
Benzetim sonuçları eCalc'ten alınan sonuçlarla karşılaştırıldığı zaman büyük oranda benzeştiği görülmüş hatalar olmasına rağmen düşük olduğu tespit edilmiştir. Şekiller 4.8-4.10'da motorun üç faz akım, gerilim ve Zıt EMK'sı görülmektedir.



Şekil 4.8. Motorun üç faz akımları

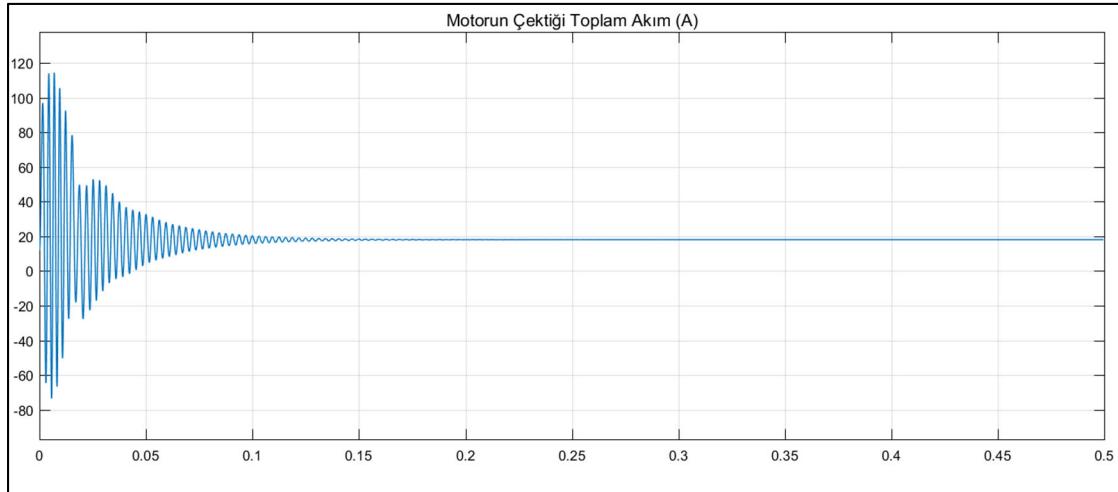


Şekil 4.9. Motorun üç faz gerilimi

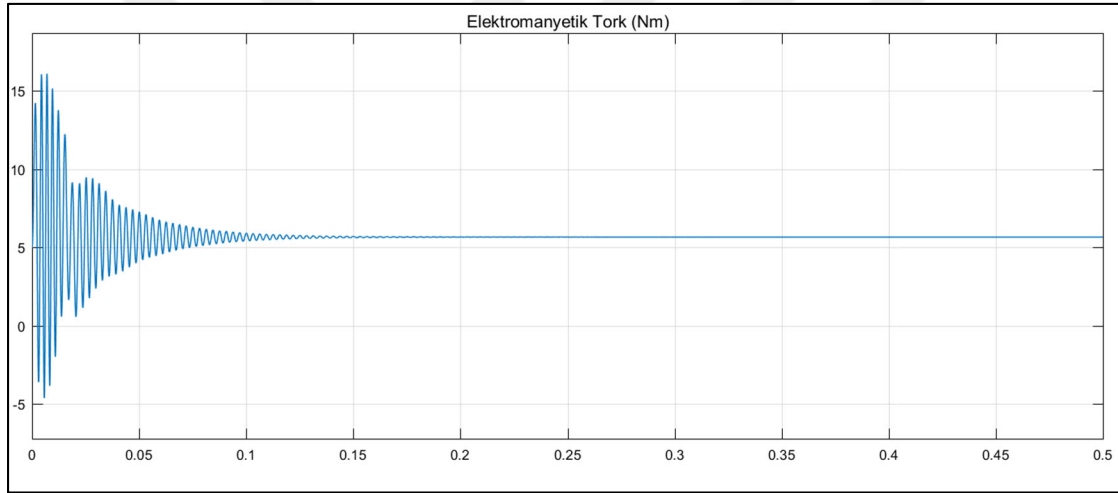


Şekil 4.10. Motorun üç faz Zıt EMK'sı

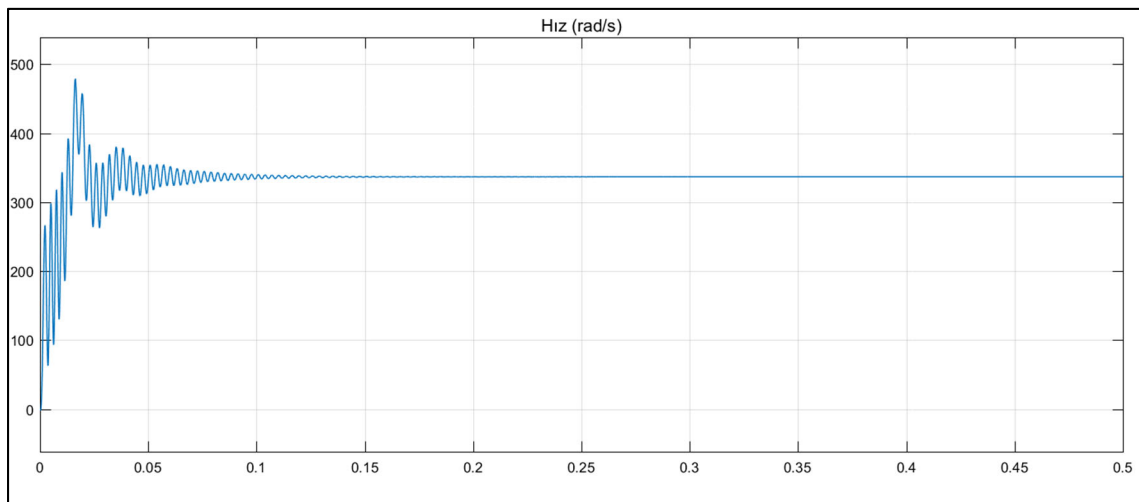
Şekiller 4.11-4.13'te motorun çektiği toplam akım, elektromanyetik tork ve hız görülmektedir. Çok fazlı yapısı gereği fırçasız DC motor, kalıcı durum performansında salınımlar yapmakta ancak bu salınımlar denetleyicilerle istenilen mertebelere indirilmekte ve sistemin tasarım kriterlerini yerine getirmesine engel olmamaktadırlar.



Şekil 4.11. Motorun çektiği toplam akım



Şekil 4.12. Motorun elektromanyetik torku

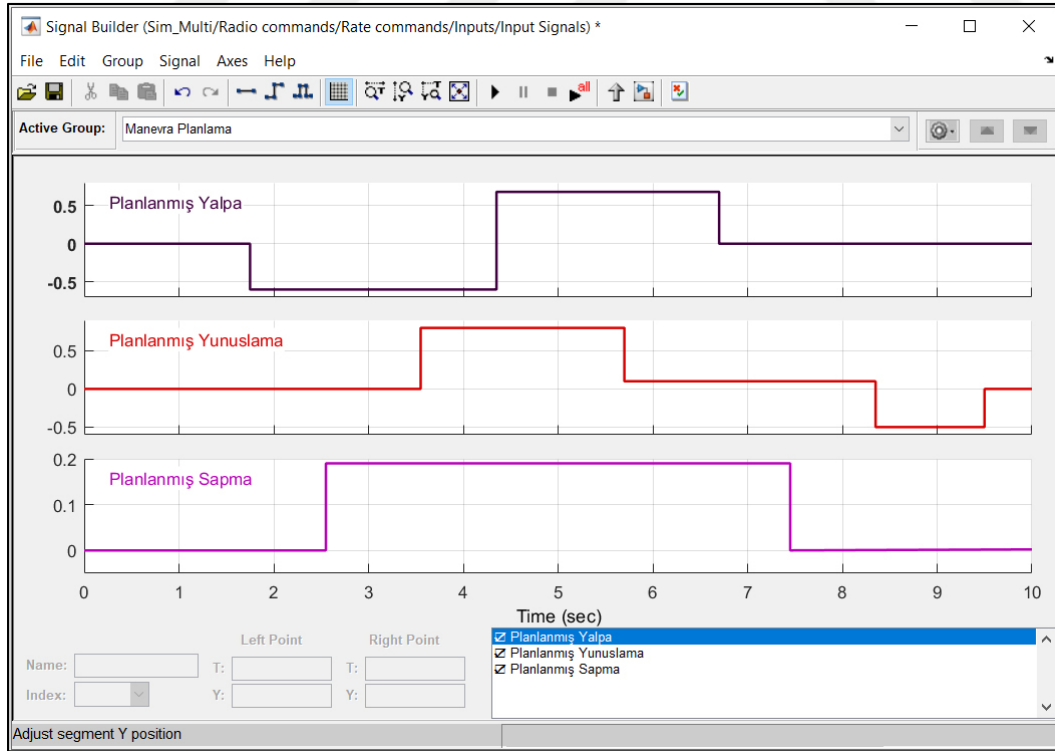


Şekil 4.13. Motorun hızı

4.3. Çokluuçların Benzetim Çalışmaları

Bölüm 3'te çokluuçların matematiksel modelleri çıkarılmıştı. Bu modeller kullanarak çapraz sınıfı bir dörtüçer sistemin dinamiklerinin test edilmesi ve denetleyicilerin tepkilerini gözlemleyecek bir benzetim ortamının ihtiyaç duyulmuştur. Jan Vervoort tarafından Illinois at Urbana-Champaign Üniversitesinde, " Çokluuçlar İnsansız Hava Araçlarının Geliştirilmiş Dinamik Benzetim için Modüler Benzetim Ortamı (A Modular Simulation Environment for the Improved Dynamic Simulation of Multirotor Unmanned Aerial Vehicles)" konulu Yüksek Lisans tezi kapsamında hazırlanan MATLAB Simulink modeli temel alınarak yapılmıştır [37].

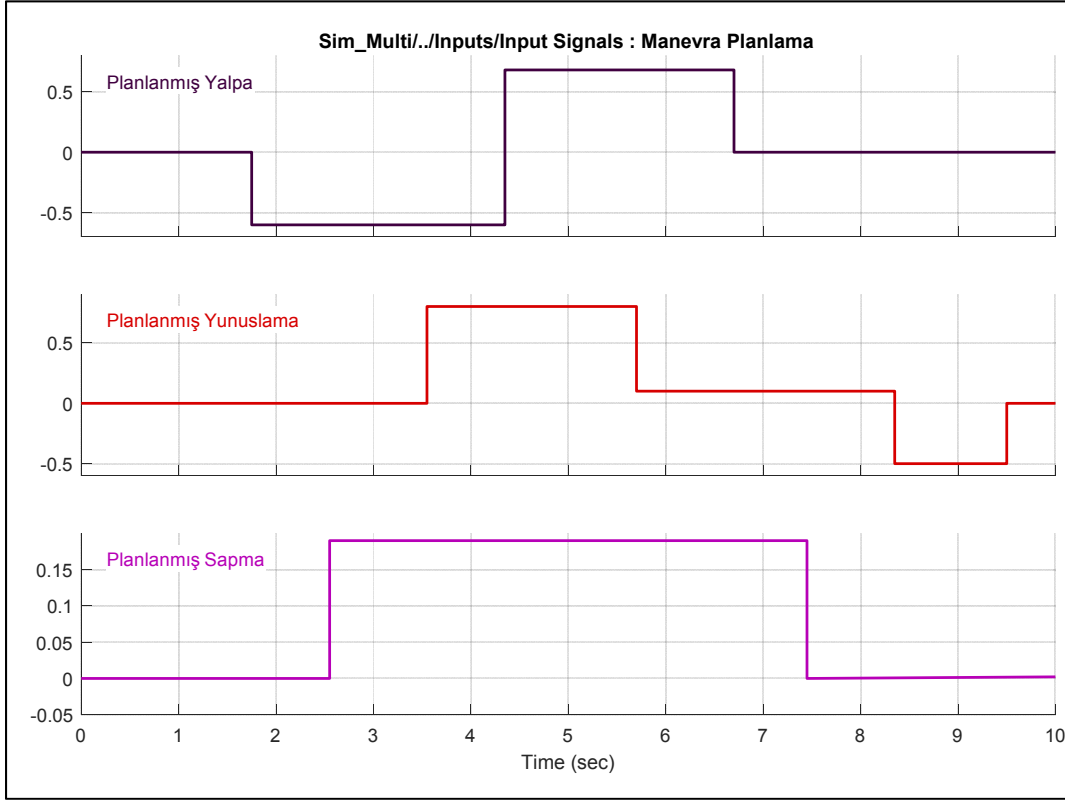
Model, tezde kullanılan çokluuçların parametrelerine göre düzenlenerek Türkçeleştirilmiştir. Modele, MATLAB Simulink'te bulunan "Signal Builder" bloğu kullanılarak değiştirilebilir parçalı doğrusal sinyal kaynakları oluşturularak Manevra planlaması yapılabilecek bir modül eklenmiştir. Şekil 4.14'de manevra planlama bloğu görülmektedir.



Şekil 4.14. Manevra planlama bloğu

4.3.1. Çokluuçarın benzetim sonuçları

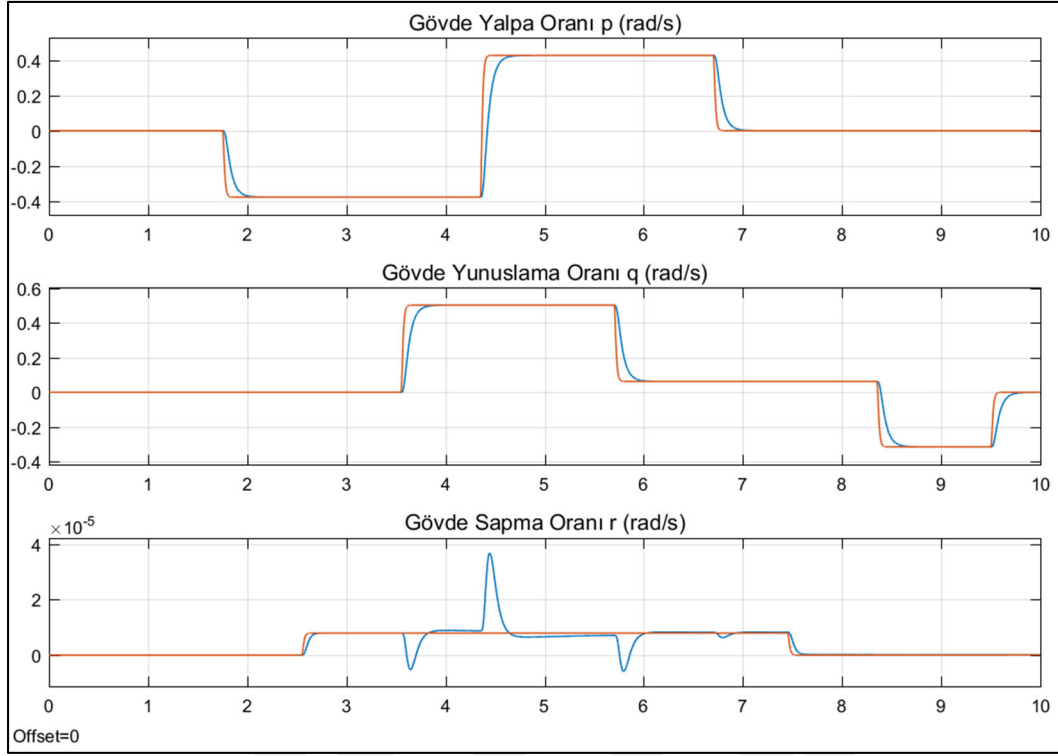
Benzetim alışmaları, şekil 4.15'te planlanan manevra hareketlerine göre yapılmıştır.



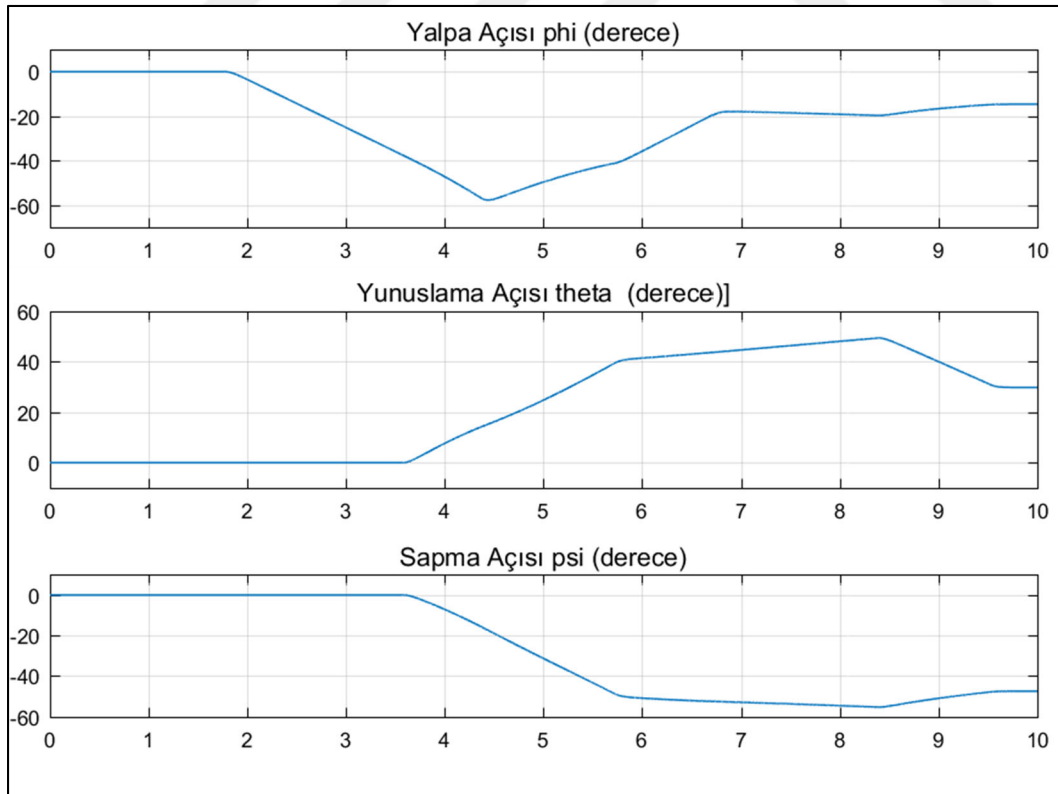
şekil 4.15. Planlanan manevra hareketleri

şekil 4.15'ten görüldüğü gibi yalpa, yunuslama ve sapma manevra hareketleri için ani değişken değerler planlanmıştır. Ani değişken hız profili uygulanmıştır. Ani değişen ve yüksek genlikte değişen hız profilleri için kontrolörler yeterli hızda cevap vermekte ve nihai sistem hareketi tatmin edici bir performans sergilemektedir. şekiller 4.16-4.20'de benzetim sonucunda elde edilmiş şekiller gösterilmektedir.

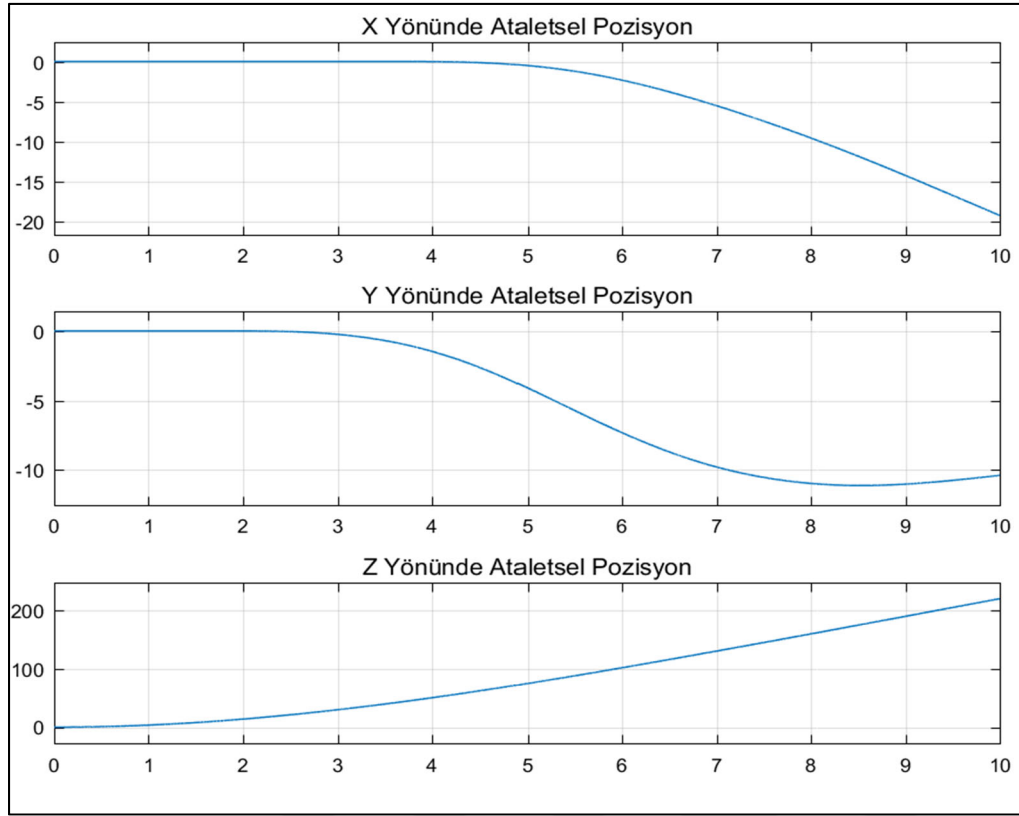
Benzetim ortamında manevra hareketlerinde meydana gelen ani değişiklikleri sistemin cevabının çok hızlı olduğu, değişiklikleri takip ettiği görülmektedir. Takip sırasında yerel aşımlar meydana gelmektedir. Ancak sistem yapısı gereği bu aşımlar herhangi bir soruna yol açmamakta ve sistemin tasarım kriterlerini yerine getirmesine engel olmamaktadırlar.



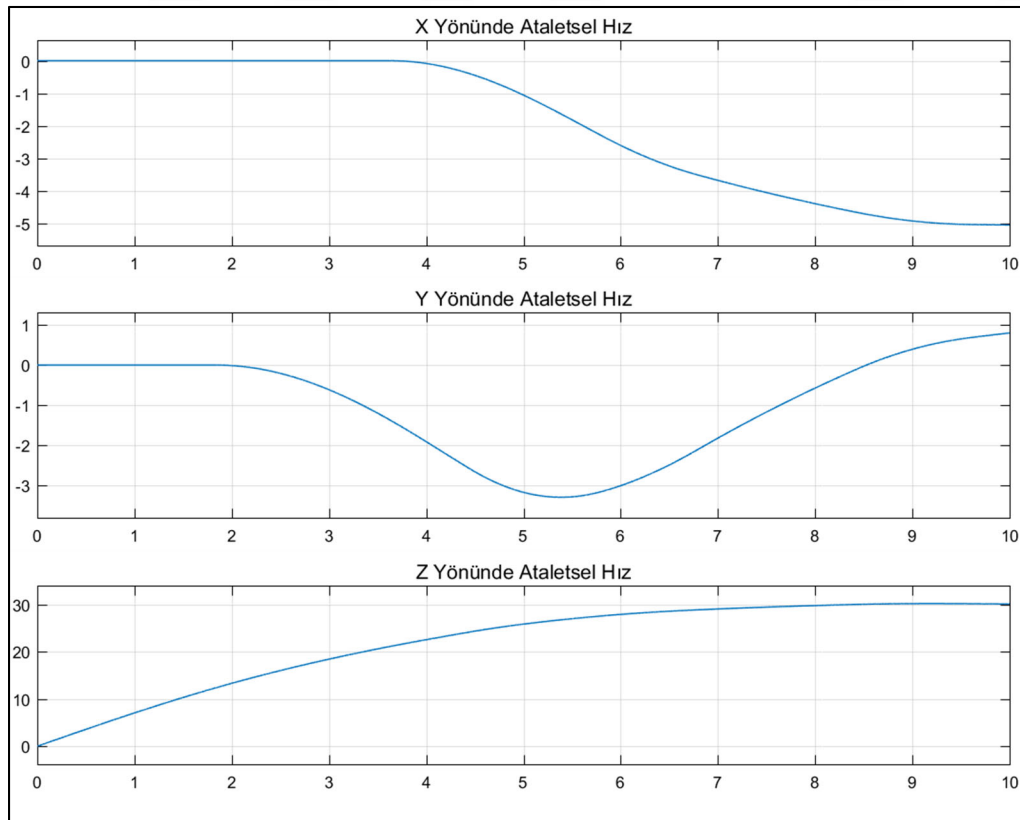
Şekil 4.16. Gerçekleşen ve istenen gövde yalpa, yunuslama ve sapma oranları



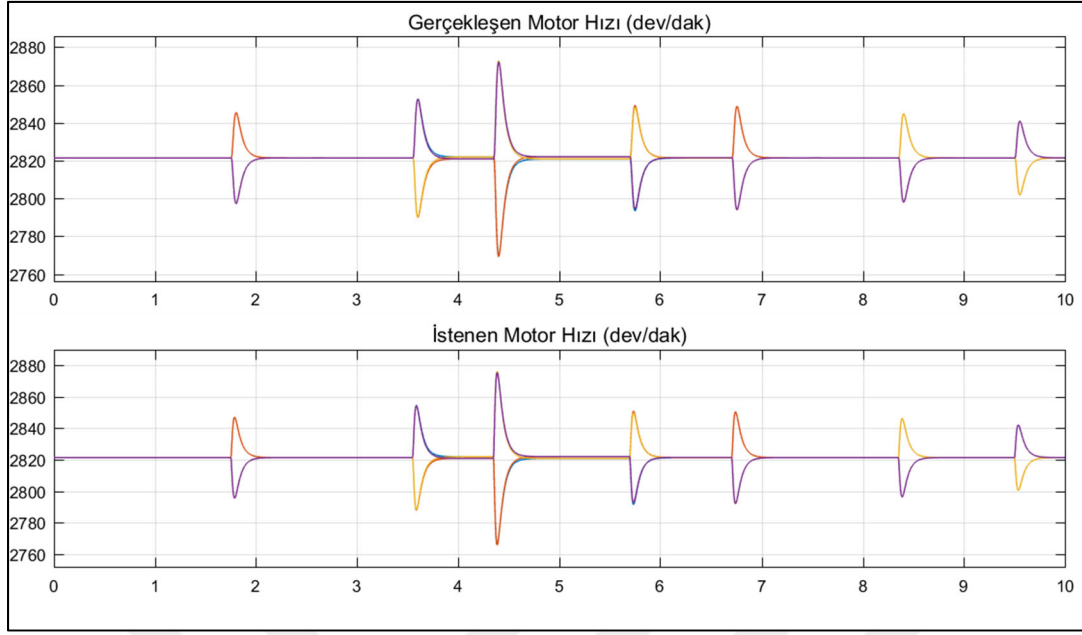
Şekil 4.17. Yalpa, yunuslama ve sapma açıları



Şekil 4.18. X, Y ve Z yönlerinde ataletsel pozisyonlar



Şekil 4.19. X, Y ve Z yönlerinde ataletsel hızlar



Şekil 4.20. Gerçekleşen ve istenen motor hızı



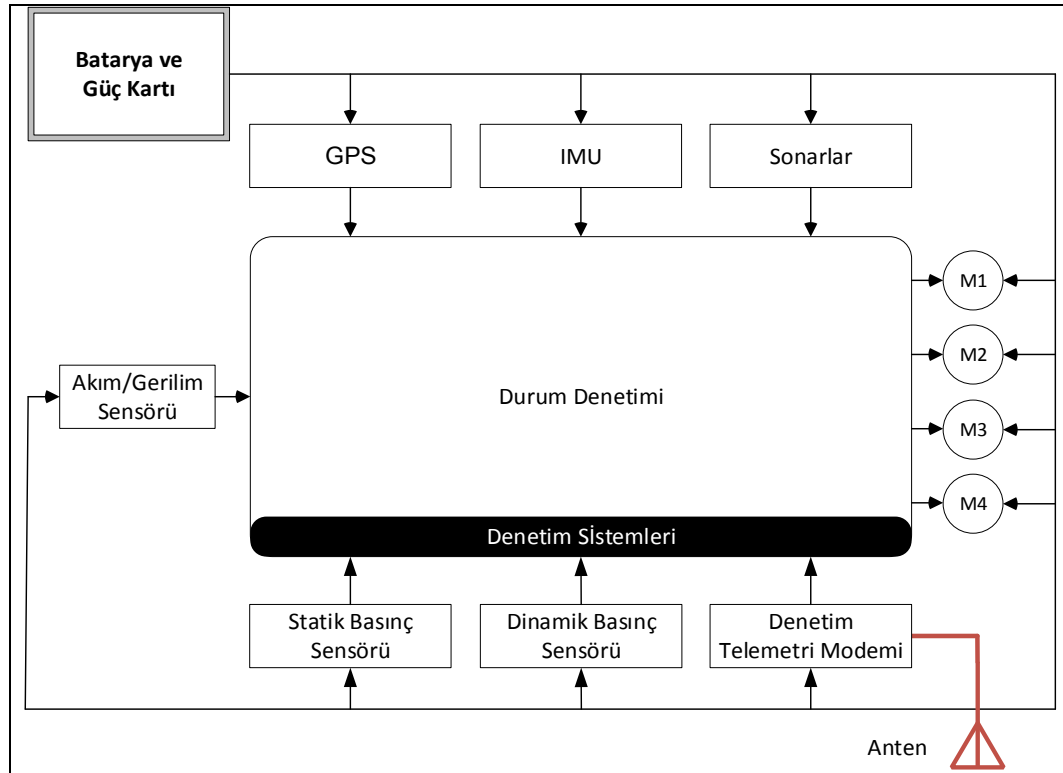
5. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMİNİN YAZILIM VE DONANIMI

Bu bölümde, bir İHA genel sistemin ve alt sistemlerin için gerekli olan donanım ve yazılım mimarileri verilmiştir.

5.1. İnsansız Hava Aracı

Tez kapsamında insansız hava aracı olarak bir dörтуçar seçilmiştir. Dörтуçarlar, 3. Bölümde ayrıntısı ile açıklandığı gibi 6 serbestlik derecesinde hareket edebilmektedirler [38, 39]. Bu hareket serbestlikleri sadece dörтуçarın dört motorunun hızı olmak üzere 4 denetim girişi vardır. Dörтуçarlar, durumlarını değıştirmeden dikey z ekseninde hareket ederken, yatay x ve y eksenlerinde hareket edebilmelidirler. Sadece 4 denetim girişı ile 6 serbestlik derecesini denetlemek mümkün olmadığından, istenen x, y, z konumlarına ve istenen bir istikamete uçurabilmek için denetleyiciler tasarlanmalıdır. Sapma ve yalpa açıları korunurken, dörтуçar yunuslama yapabilmelidir.

Şekil 5.1’de bir dörтуçarın denetim sistemi genel bir yapısı verilmiştir.



Şekil 5.1. Bir dörтуçarın denetim sistemi genel yapısı

Şekil 5.1'deki denetim sisteminde dörtüçarın her eksenin açısai hızlarını denetlemek için bir Elektronik Hız Denetleyicisi (ESC'ler) kullanılmaktadır. Denetleyici şu denetim işlemlerini yerine getirmektedir:

- Dört motorun itki gücü üretmesini sağlar
- x eksenii üzerindeki motorlar arasındaki itki farkı, yalpalama açısını değiştirerek x yönünde ilerlemesini sağlar
- y eksenii üzerindeki motorlar arasındaki itki farkı, eğim açısının değişmesiyle y eksenii yönünde yunuslama hareketlerini sağlar
- Saat yönünde ve saat yönünün tersine doğru olan pervaneler arasındaki tork farkı, dikey z ekseninin etrafında dörtüçarın dönmesini sağlayan momentleri oluşturur

Dörtüçar denetim sisteminin gereksindiği veriler sensörlerin ölçtüğü veriler ile sağlanmaktadır. Dörtüçarın ESC ve diğer donanın gereksinimi “eCalc” programı yardımıyla tespit edilmiştir.

5.1.1. Uçuş denetleyicisi

Çokluuçarların denetlenmesi uçaklara göre çok daha karmaşıktır. Uçuş denetleyicisinin görevii, her türlü algılayıcı sinyalleri ve telemetri sistemleri ile çokluuçarların denetlenmesini sağlamaktır. Uçuş denetleyicileri kararlı uçuşu sağlamanın yanı sıra her türlü manevra hareketleri için gerekli olan motor hızlarını ayarlama işlevini de yerine getirmektedir. Çokluuçarın uçuşunun denetlenmesi için PX4 [40] 2.4.6 Pixhawk kullanılmıştır. Şekil 5.2'de çokluuçarda kullanılan uçuş denetleyicisinin bileşenleri görölmektedir.



Şekil 5.2. Çokluuçarda kullanılan uçuş denetleyicisinin bileşenleri

5.1.2. Çokluuçar çerçevesinin boyut ve ağırlığı

Çokluuçarların boyut ve ağırlığı, kullanılacak motorları, Elektronik Hız Denetleyicisi (ESC), pervane boyutları, batarya değerleri gibi tüm donanım elemanlarını etkilemektedir. Bu nedenle eCalc ile elde edilen verilere göre Şekil 5.3'te gösterilen JMT [41] firmasının çerçevesi seçilmiştir.



Şekil 5.3. Çokluuçarda kullanılan çerçeve

Şekil 5.3’te gösterilen çerçevenin özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1.Çokluuçarın çerçevesinin özellikleri

Eleman ve Özellikleri	Ölçüler
Dingil mesafesi	630mm
Boyut (UxGxY)	510x510x255mm

5.1.3. Motor seçimi

Çokluuçarlarda kullanılan fırçasız DA motorların boyutları normalde AABB gibi 4 basamaklı bir sayı ile gösterilir. Burada “AA” stator genişliğini (stator çapı), “BB” stator yüksekliğini göstermektedir.

Bu motorların genişliğini veya yüksekliğini arttırmak, hem kalıcı mıknatısın hem de elektromanyetik enerjiyi üreten bobinlerin boyutunu arttıracaktır. Statorun yüksekliği arttırılırsa, kalıcı mıknatısın boyutu bobin boyutundan daha fazla artar, stator genişliğini arttırılırsa, bobinin boyutu daimi mıknatıstan daha fazla artar.

Boyun uzatılması, statorun daha geniş bir “alan yüzeyine” sahip olmasına, dolayısıyla daha manyetik alanı kesmesine yol açacaktır. Geniş yüzey alanı aynı zamanda motorun soğutulmasına da faydası olmaktadır. Bu motorların daha yüksek güçlerde çalışmakta ve daha yüksek hızlara çıkabilmektedirler.

Statorun genişliğinin artırılması, motorda kullanılan demir ve bakırın artmasına yol açmaktadır ancak daha fazla tork üretebilmekte ve daha yüksek verimli olmaktadır.

KV

KV, fırçasız DA motorlarında, hız sabitini ifade etmekte, motora bağlı yük olmaksızın 1V (bir Volt) uygulandığında motorun dakika başına döneceği devir sayısını (rpm, dev/dak) göstermektedir. Kısaca volt başına devir denmektedir.

Örneğin, bir 3S LiPo batarya (12.6 V) ile bir 2300KV motor beslendiğinde, pervane olmadan yaklaşık 28980 dev/dak'da dönecektir ($2300 \times 12,6$).

Motorlara pervane bağlandığında, hava direnci sebebiyle devir sayısı düşecektir. Daha yüksek KV'li motorlar, pervaneyi daha hızlı döndürmeye çalışır ve daha fazla akım çekebilirler. Bu nedenle düşük KV'li motorlarda daha büyük pervane kullanılmakta, yüksek KV'li motorlarda daha küçük pervaneler kullanılmaktadır.

KV değeri, statordaki bakır tel sargılarının sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Aynı şekilde sabit mıknatısların manyetik gücü de KV değerini etkileyebilmekte, daha güçlü mıknatıslar KV değerini artırmaktadır.

Yüksek bir KV'li bir motoru aşırı büyük bir pervaneyle döndürmek istendiğinde, motor daha küçük bir pervane bağlınmış gibi hızlı dönmeye çalışacaktır, ancak bunu sağlayabilmesi için daha fazla torka ihtiyaç duyacaktır. Gerekli torku üretmeye çalışırken daha fazla akım çekecek ve dolayısıyla motor aşırı ısınacaktır. Genel olarak, daha ağır çokluuçarlar orta-düşük KV'li motorlar ile, daha hafifleri ise yüksek KV'li motorlar ile uçurulmaktadır.

Motor Torku

Düşük KV’li motorlar daha düşük hız ve daha yüksek tork üretirken, daha yüksek KV’li motorlar daha yüksek hız ve düşük tork üretirler.

Yüksek torklu motorlar, daha hızlı devir değiştirebildikleri için daha hızlı dolayısıyla ani tepki gösterirken, daha düşük torklu motorlar daha yavaş yumuşak tepki gösterirler.

N ve P numaraları - kutup ve mıknatıslar

Motorların kutup ve sabit mıknatıs sayıları gövdelerinin üzerine basılmış “12N14P” gibi rakam ve harflerle gösterilir. Burada N harfinden önceki rakam, statordaki bobin sayısı, yani kutupları ve P'den önceki sayı, sürekli mıknatısların sayısını göstermektedir.

Farklı boyutlardaki motorlar farklı kutup ve farklı sabit mıknatıs sayısına sahiptir. Fırçasız DA motorları 3 fazlı olduğundan kutup sayısı da 9, 12, 15, 18 vs 3 fazın katı olmalıdır.

eCalc ile elde edilen verilere göre Şekil 5.4’te gösterilen JMT firmasının ürettiği motorlar seçilmiştir [41].



Şekil 5.4. Çokluuçarda kullanılan motorlar

Şekil 5.4’te gösterilen motorların özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Çokluuçarın motorlarının özellikleri

Eleman ve Özellikleri	Ölçüler
Fırçasız DA Motoru	700KV Fırçasız Motor 3508

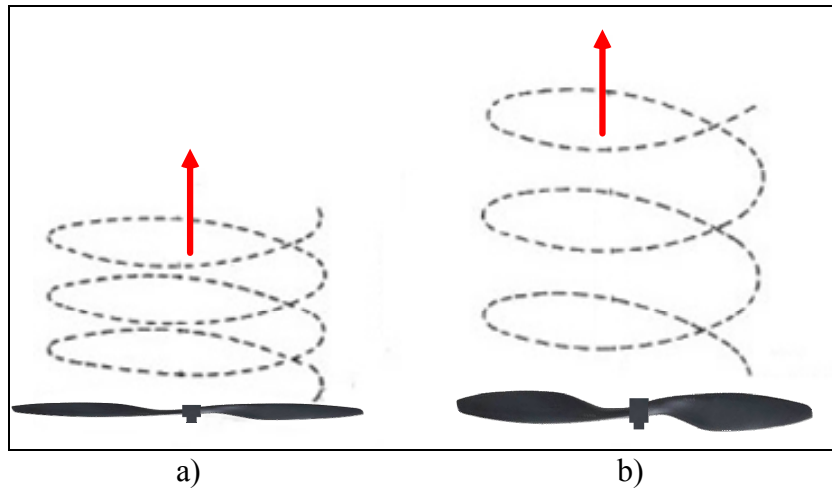
5.1.4. Pervane seçimi

Bir dörtuçarda iki motor CW (saat yönünde) ve iki motor CCW (saat yönünün tersi) dönerler. Bu nedenle, pervaneler motorların dönüş yönü dikkate alınarak, itki gücü oluşturma yanısıra, sapmayı önleyecek şekilde seçilmelidirler.

Pervaneler farklı uzunlukta ve hatvede (pitch) üretilirler:

- Pervane uzunluğu, pervanenin dönerken taradığı alanın çapını belirler
- Hatve, bir tek dönüşte kat edeceği mesafeyi tanımlanabilir

Pervane çapı ve/veya hatvesi büyüdükçe dönmesi için gereken enerjide artmaktadır. Şekil 5.5’de pervane hatvesinin itkiye etkisi görülmektedir.



Şekil 5.5. a) küçük hatveli pervanenin itkisi, b) büyük hatveli pervanenin itkisi

Pervaneler dönerken etrafında bulunan havayı sürükleyerek itki üretirler. Pervanelerin hızı arttıkça sürüklediği havanın artmasına ve böylece daha fazla itki gücü üretir.

Çokluuçarlarda 2 ya da 3 kanatlı pervaneler kullanılırlar. Kanat sayısının artması daha fazla itki üretirken daha fazla akım çekerler. Genel olarak kanat sayısı arttıkça verim düşmektedir.

Pervaneler farklı malzemelerden, plastik kompozit, karbon lifi, ahşaptan vb. yapılabilirler. Her bir malzeme türü farklı özellikler gösterir, örneğin karbon fiber ve ahşap malzemeden yapılmış pervaneler hem çok sağlam olurlar hem de en iyi performans gösterirler. Plastik bileşenlerinden yapılan pervanelerde son derece dayanıklı olabilmektedir.

Pervane seçimi motorlara ve batarya gerilimine bağlıdır. Örneğin 4S bir batarya için genellikle:

- 150-180mm çerçeve, 2700KV + motorlar için 4" pervane
- 210 mm, 2300KV-2700KV motorlar için 5 " pervane
- 250mm + çerçeve, 1900KV-2300KV motorlar için 6 " pervane

seçilir.

eCalc ile elde edilen verilere göre Şekil 5.6'da gösterilen JMT firmasının ürettiği pervaneler seçilmiştir [41].



Şekil 5.6. Çokluuçarda kullanılan pervaneler

Şekil 5.6'da gösterilen pervanelerin özellikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Çokluuçarın pervanelerinin özellikleri

Eleman ve Özellikleri	Ölçüler
Karbon Fiber Pervaneler	1555

5.1.5. Elektronik hız denetleyici (ESC)

ESC seçilirken çekeceği amper değeri göz önüne alınmalıdır. Motorlar dönerken akım çekerler, eğer ESC'den aşırı akım çekilirse, motorlar ısınacaktır ve sonuçta arızalanacaktır. ESC'yi zorlayacak üç değişken özetle:

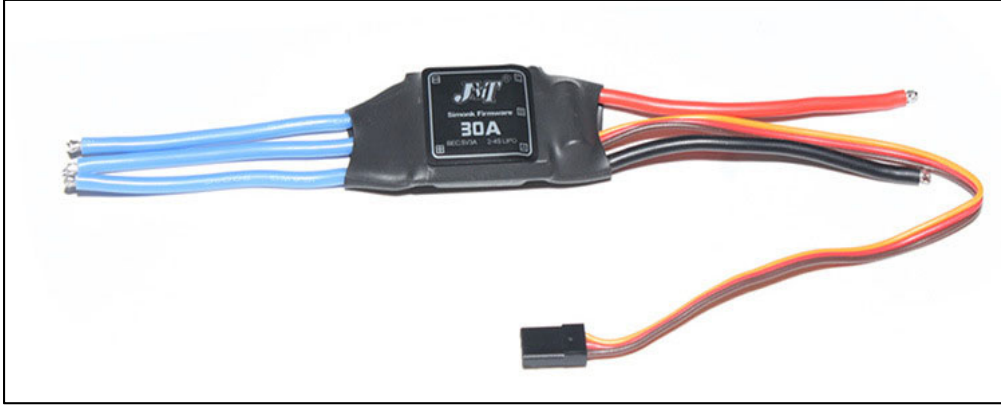
- Yüksek motor KV'si
- Daha büyük boyutlu motorlar
- Uzun ve büyük hatveye sahip ağır pervaneler

şeklinde sıralanabilir.

ESC'lerde kısa süreli (örneğin 10 saniye) aşırı akıma müsaade edilmektedir. Bunun dışında maksimum akım aşılmamalıdır. ESC'nin akım değeri, motorların çekecekleri akımlar göz önüne alınarak seçilmelidir.

Örneğin, 4S LiPo'da 5030 pervaneli 2206 motoru için tam itkide 10A çeker, bu nedenle 12 Amp değerine sahip bir ESC yeterli olur. Bununla birlikte, bu motorla 6045 pervane kullanılırsa maksimum akım çekişi 20A'ya ulaşabilir. Bu durumda 20A'lık bir ESC'nin kullanılması daha güvenli olacaktır.

eCalc ile elde edilen verilere göre Şekil 5.7'de gösterilen JMT firmasının ürettiği ESC seçilmiştir [41].



Şekil 5.7. Çokluluçarda kullanılan ESC

Şekil 5.7’de gösterilen ESC’nin özellikleri Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Çokluluçların ESC’lerinin özellikleri

Eleman ve Özellikleri	Ölçüler
Çalışma akımı	30A
Giriş gerilimi	2-4 S
BEC çıkışı	5V 3A
Ağırlık	25g

5.1.6. Batarya seçimi

LiPo olarak bilinen lityum polimer bataryalar, diğer bataryalara göre daha yüksek enerji yoğunluğuna ve yüksek deşarj oranına sahipken daha hafiftirler. LiPo bataryalar, seri bağlı tek tek hücrelerden oluşur. Her bir hücrenin nominal gerilimi 3,7V’tur. Bu nedenle batarya gerilimi, bataryada bulunan hücre (S) sayısına göre adlandırılır:

$$1S = 1 \text{ hücre} = 3.7V$$

$$2S = 2 \text{ hücre} = 7.4V$$

$$3S = 3 \text{ hücre} = 11.1V$$

$$4S = 4 \text{ hücre} = 14,8 V$$

$$5S = 5 \text{ hücre} = 18,5V$$

$$6S = 6 \text{ hücre} = 22.2V$$

Örneğin, 14.8V batarya “4 hücreli” veya “4S” batarya olarak adlandırılır.

Gerilim, motorların devrini doğrudan etkiler. Bu nedenle motor ve ESC daha yüksek gerilimi destekliyorsa, çokluuçar hızını artırmak için daha yüksek sayıda hücreye sahip bataryalar kullanabilir.

Bir LiPo bataryanın kapasitesi mAh olarak verilir (mili amper saat). “mAh”, bir bataryadan boşalmadan önce bir saat boyunca çekilecek akımı gösterir.

Örneğin, 1300 mAh Lipo, sabit bir 1,3A akımı çekilirse, tamamen boşalması bir saat sürecektir. Eğer 2,6 A çekilirse, süre yarıya iner ($1,3 / 2,6 = 0,5$).

Pil kapasitesini arttırmak uçuş süresini uzatırken, çokluuçarın ağırlığını ve boyutlarını da artıracaktır.

LiPo bataryalarda C-Derecesi sürekli deşarj oranının bir göstermektedir. C-Derecesinden, LiPo bataryaya zarar vermeden güvenli bir şekilde çekilebilecek maksimum sabit akımı hesaplanabilmektedir:

$$\text{Maksimum Çekilebilecek Akım} = \text{Kapasite} \times \text{C-Derecesi}$$

Örneğin, 3S 1000mah 20C LiPo bir bataryadan çekilebilecek güvenli maksimum akım $1000\text{ma} \times 20C = 20A$ olacaktır.

LiPo bataryaların çok çabuk boşaltılması, bataryada kalıcı hasara yol açabileceği unutulmamalıdır.

Her bir LiPo hücresinin bir iç direnci (IR) vardır. Bu iç direnç, Ohm Kanununa göre bir LiPo bataryadan çekilebilecek akımın değerini sınırlamaktadır.

$$\text{Gerilim (V)} = \text{Akım (I)} \times \text{Direnç (R)} \text{ ve } P=I^2.R \text{’dir.}$$

Denklemden açıkça görülebileceği gibi, direnç arttıkça bataryanın üzerinde düşen güç kaybı artacaktır. Bu güç kaybı ısı şeklinde açığa çıkarak bataryanın daha fazla ısınmasına yol açacaktır. Bu nedenle bataryalardan sürekli yüksek akım çekilmesi, onların aşırı ısınmasına ve bozulmasına yol açabilmektedir.

eCalc ile elde edilen verilere göre Şekil 5.8’de gösterilen Limskey firmasının ürettiği LiPo bir batarya seçilmiştir [42].



Şekil 5.8. Çokluuçarda kullanılan batarya

Şekil 5.8’de gösterilen bataryanın özellikleri Çizelge 5.5’de verilmiştir.

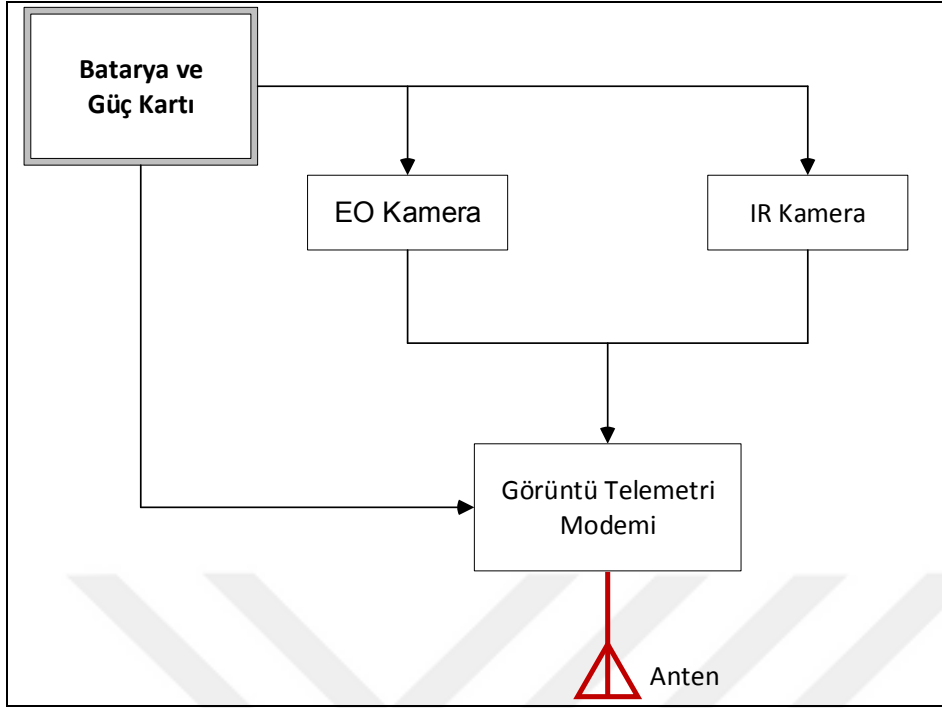
Çizelge 5.5. Çokluuçarın bataryasının özellikleri

Eleman ve Özellikleri	Ölçüler
LiPo Batarya	11.1 V 4400 mAh 30C

5.2. Görev Sistemleri

5.2.1. Faydalı yük

İnsansız hava araçlarının görev amaçlarına göre taşıdığı ağırlık kapasitesidir. Bunlar kamera, mühimmat veya SAR olabilir. Şekil 5.9’da faydalı yükün işlevsel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Faydalı yükün işlevsel yapısı

Telemetri Modülleri

Çokluuçarın uzaktan kablosuz olarak izlenmesi veya denetlenmesi için telemetri cihazları kullanılmaktadır. Telemetri cihazı bir telemetri sensörü, bir iletim yolu, görüntü, kayıt veya denetim aygıtından oluşmaktadır. Tezde Şekil 5.10’da gösterilen 900 RFD 915 MHz Ultra Uzun Menzilli Radyo Data Modemler kullanılmıştır [43]. Bu telemetri cihazları PixHawk denetim sistemleri ile uyumlu olup, 40 km’ye kadar bir mesafeden haberleşme sağlamakta, görüntü aktarmaktadırlar.



Şekil 5.10. Radyo Data Modemleri

Radyo Data Modemlerin özellikleri Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Radyo Data Modemlerin özellikleri

900 RFD Ultra Uzun Menzilli Radyo Telemetri Modem ve Antenin özellikleri: -uzun aralığı > 40 km antenler ve GKS bağlı kurulum -2 x RP-SMA RF konnektörler, çeşitlilik anahtarlamalı. -1 Watt (+ 30dBm) iletim gücü. -İletim alçak geçiren filtre. -> 20dB Düşük gürültü amplifikatör. -RX SAW filtre. -pasif ön uç band geçiren filtre. -açık kaynak firmware SiK (V1.x)/araçları, saha yükseltilebilir, yapılandırmak kolay. -çoklu yazılım yeteneği ile MP SiK (V2.x) -küçük, hafif. -uyumlu ile 3DR/Umut-RF radyo modülleri.
Arayüzler: -RF: 2 x RP-SMA konnektörler -seri: Mantık seviyesi TTL (+ 3.3 v nominal, + 5 v toleranslı) -güç: + 5 v, ~ 800mA max tepe (maksimum iletim gücü) -GPIO: 6 Genel amaçlı IO (Dijital, ADC, PWM yetenekli).
Özellikler: -frekans Aralığı: 902-928 MHz (ABD)/915-928 MHz (Avustralya) -çıkış Gücü: 1 W (+ 30dBm), kontrol içinde 1dB adımları (+/-1dB @ = 20dBm tipik) -hava Veri aktarım hızları: 4, 8, 16, 19, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 ve 250 kbit/sn (Kullanıcı seçilebilir, 64 k varsayılan) -UART veri aktarım hızları: 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 baud (Kullanıcı seçilebilir, 57600 varsayılan) -çıkış Gücü: 1 W (+ 30dBm) -alma Hassasiyeti: > 121 dBm düşük veri hızları, yüksek veri hızları (TBA) -boyutu: 30mm (geniş) x 57mm (uzun) x 12.8mm (kalın)-RF Kalkanı dahil, soğutucu ve bağlayıcı extremities -ağırlık: 14.5g -montaj: 3 x M2.5 vidalar, 3 x başlık pin lehim noktaları -güç Kaynağı: + 5 V nominal, (+ 3.5 V min, + 5.5 V max), ~ 800 mA tepe maksimum power -Temp. aralığı:-40 ila + 85 ° C

Kamera

Çokluuçarda uzaktan görüntü almak için Şekil 5.11’te gösterilen RC FPV Mini Video Kamera kullanılmıştır [44].



Şekil 5.11. Çokluuçarda uzaktan görüntü almak için kullanılan kamera

Kameranın özellikleri Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Kameranın özellikleri

Kasa boyutu: 25mm * 25mm, ağırlık: 11G
Toplam piksel: PAL: 1020 H * 596 V (0.61 Megapiksel) NTSC: 1020 H * 508 V (0.52 Megapiksel)
Geçerli piksel: PAL: 976 H * 582 V * (0.57 Megapiksel) NTSC: 976 H * 494 V (0.48 Megapiksel)
Sinyal formatı: PAL/NTSC (varsayılan PAL biçimi, opsiyonel NTSC formatında)
Çözünürlük (yatay merkez): 700TVL
Video çıkış aralığı: 1.0Vp-p/75Ω
Otomatik kazanç kontrolü: 0.25/0.50/0.75/1.00 4 seviyeleri ayarlanabilir, 55dB kadar olabilir
Beyaz dengesi: aç/kapat opsiyonel
Pozlama modu: elektronik pozlama
Elektronik shutter: 1/50 (1/60)-1/100000 saniye
Gama düzeltme: 0.45/1.0
Senkronizasyon modu: dahili senkronizasyon
Objektif: Standart 2.8mm lens
Çalışma gerilimi: DC12V (geniş gerilim, ölçülen 7.5-13 V düzgün çalışabilir)
Çalışma akımı: 70mA (düşük güç tüketimi)
Çalışma sıcaklığı:-20 ° -- 60 °; nem: 0% ~ 98%ı

5.3. Yer Sistemleri

İnsansız hava aracı sisteminde (İHAS), uçuşun sağlanması için gerekli olan İHA ile kontrol istasyonu arasında komuta ve kontrol bağı (veri bağı) gibi birbirinden ayrı sistem elemanları bulunmaktadır.

Yer Kontrol istasyonu, İHA'yı uzaktan kumanda ederek kullanmak veya otonom görevleri takip etmek, operasyonları süresince ve görüş alanı dışında iken, yer ve durumunu izlemek için kullanılan, yerde veya bir platformda bulunan cihaz veya sistemlere denilmektedir.

Kontrol bağı, İHA ile kontrol istasyonu arasında olan ve İHA'nın uçurulması için kontrol istasyonu üzerinden gönderilen kontrol komutları ile İHA'dan alınan uçuş bilgilerinin kontrol istasyonuna aktarıldığı bağlantı olarak tanımlanmaktadır [4].

Bir İHA sisteminde temel uçuş görevlerini yerine getirebilecek pilot kontrolü olmadan otomatik uçuş gerçekleştirebilecek bir otonom uçuş sistemi (otopilot sistemi) ve yer istasyonu yazılımının bulunması istenir. Bu görevler, Uçuş kontrolü, Konum sabitlenmesi, Hava hızı denetimi, Yükseklik sabitlenme denetimi, yönelme denetimi, GPS destekli konum denetimi, Hedef konum uçuşu, Belirlenmiş konumlara uçuş, Kameralı gözetleme, Beşik sistemi denetimi, Uzaktan kamera denetimi, Telemetri, Harita üzerinde gösterim, Sistem değişkenlerinin gösterimi, Uçuş parametrelerinin değiştirilebilmesi, Kişisel bilgisayar ile uçuş, Kişisel bilgisayar ve joystick ile uçuş denetimidir.

Yer Kontrol İstasyonu ile iletişim menzili yarıçapı içerisinde anlık olarak İHA'ya ait canlı görüntü aktarılabilmekte, görüntü üzerinde uçuşa ait parametrelerin takip edilebilmekte, istendiğinde manuel olarak yönlendirilebilmekte, kayıt yapabilmekte, her türlü operasyon anlık olarak takip edilebilmektedir.

Yer kontrol sistemlerinde bulunan otopilot sistemi, Pilotun herhangi bir müdahalesi olmadan, uçuşu kendi başına gerçekleştirebilen (kontrol veri bağı olmadan yapılan veya veri bağı menzilinin ötesinde önceden belirlenmiş parametrelere göre yapılan uçuşlar), karar-kontrol döngüsünde insan olmadan kendi kendine görev icra edebilme yeteneğinde olan sistemlere denilmektedir. Uçuş pilot kontrolünde gerçekleştirilirken, veri bağının kopması gibi olası sorun nedeniyle kısa süreli pilot kontrolünden çıkarak ön tanımlı görev planına göre uçuşu sürdürebilen ve yeniden pilot kontrolüne alınabilen İHA sistemleri, otonom sistem olarak kabul edilmemektedir.

Yer kontrol istasyon yazılımlarında GoogleMaps Api [45] gibi harita Apileri kullanılarak, uçuş rotasının görsel gösterimi, uçağın pozisyonu, yönelmesi ve gidilmesi gereken doğrultunun gösterimi gibi kullanıcı arayüzü gösterimine ilişkin kodlar oluşturulmaktadır.

Bütün bu oluşturulan kodlar, otopilotun bir uydu görüntüsü üzerinden izlenmesini sağlamakta ve uçuş görevi oluşturulmasını kolaylaştırmaktadır. Bunun yanında yer istasyonu sayesinde otopilota ilişkin parametreler uçuş sırasında değiştirilebilmektedir. Bu parametreler yeni bir görev tanımına ilişkin konum değişiklikleri olabildiği gibi, kontrol sistemine ilişkin kazanç katsayıları da olabilmektedir. Ayrıca kamera pozisyonu, uçak eyleyicilerinin aktive edilmesi de bu mekanizma üzerinden sağlanmaktadır. Joystick ile uçuş sırasında, telemetri modem üzerinden otopilota kontrol yüzeylerinin açılarına ilişkin komutlar gönderilmektedir. Otopilot sisteminin amacı, insan müdahalesi olmadan İnsansız Hava Aracının denetim ve güdümünün sağlanmasıdır. Otopilot sistemi, telemetre ve komuta haberleşmesi ve İHA üzerinde taşınan faydalı yükün kontrol işlemlerini de gerçekleştirir.

İnsansız hava araçları sistemlerinde kullanılan yer sistemleri bir Taşınabilir Yer Kontrol İstasyonu ve bir de Mobil Yer kontrol İstasyonundan oluşmaktadır. Yer kontrol sistemleri tipik olarak insan-makine Arayüzü, bilgisayar, telemetri, video yakalama kartı, kontrol kartı, video ve veri bağlantıları için antenler içerir.

5.3.1. Taşınabilir yer kontrol istasyonu

Bazı kaynaklarda Uzak Görüntü Terminali (UGT) olarak ta adlandırılan Taşınabilir yer kontrol istasyonu ya da mobil yer kontrol istasyonu İHA'ları denetlemek ve İHA'dan aktarılan sensör verilerini alıp sahada bulunan kullanıcıya göstermek için kullanılır. Sadece sensör verilerini alıp sahada bulunan kullanıcıya gösteren cihazlar ise Uzak Görüntü Terminali (UGT) olarak adlandırılır. UGT'ler, ileri gözetleme unsurları için sahada kullanıma elverişli şekilde tasarlanır.

Taşınabilir yer kontrol istasyonları genelde mobil yer kontrol istasyonlarından daha küçük ve hafif cihazlar olup mobil yer kontrol istasyonlarının sahip olduğu uyduyla haberleşme gibi imkânlara sahip olmayan daha kısa menzilli haberleşebilen cihazlardır. Taşınabilir yer kontrol istasyonu bir Taşınabilir Komuta Kontrol Sistemi ve bir Taşınabilir Görüntü/Veri Kıymetlendirme Sisteminden oluşmaktadır. Şekil 5.12'de tipik bir taşınabilir yer kontrol istasyonu görülmektedir.



Şekil 5.12. Bir taşınabilir yer kontrol istasyonu

Şekil 5.13’de tezde kullanılan taşınabilir yer kontrol istasyonu görülmektedir.



Şekil 5.13. Tezde kullanılan taşınabilir yer kontrol istasyonu

Şekil 5.14’te taşınabilir bir yer kontrol istasyonunun işlevsel yapısı gösterilmiştir.

- Fotoğraf düzenleme ve koordinat yazdırma
- Not defteri ile uygulama esnasında not tutabilme
- Haberler ve yardım menülerine erişebilme

gibi özelliklere sahip olabilirler.

Mobil yer kontrol istasyonu Mobil Komuta Kontrol Sistemi ve Mobil Görüntü/Veri Kıymetlendirme Sisteminden oluşmaktadır. Şekil 5.15'te tipik bir mobil yer kontrol istasyonu görülmektedir.



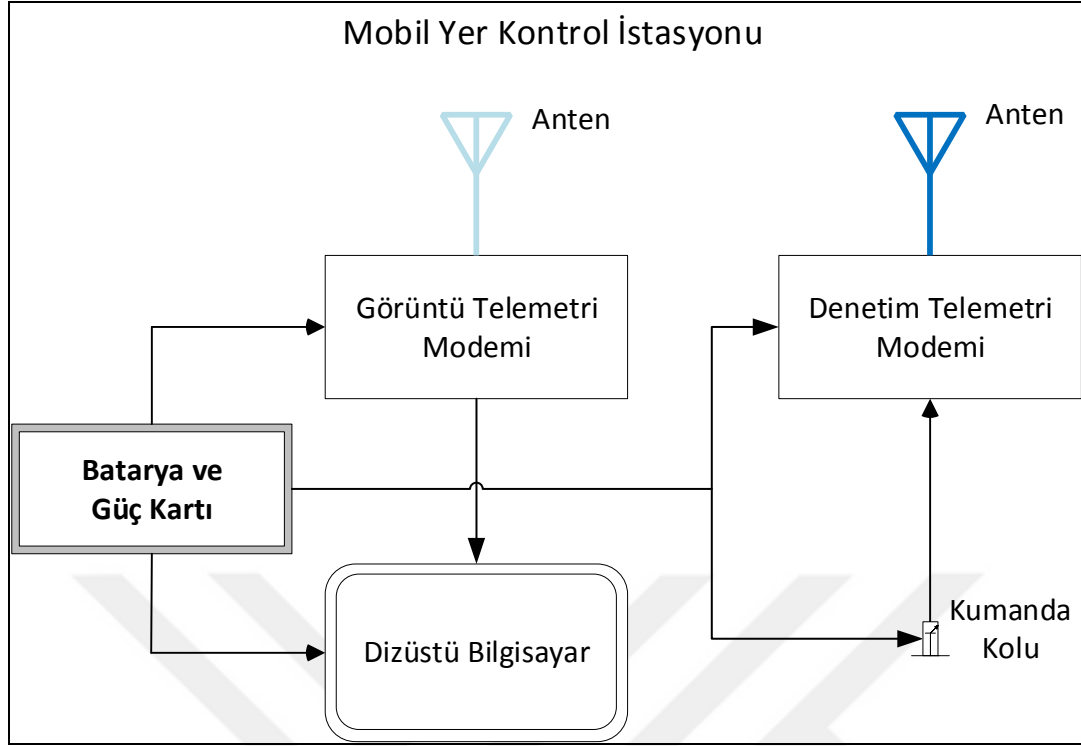
Şekil 5.15. Bir mobil yer kontrol istasyonu

Şekil 5.16'da tezde kullanılan mobil yer kontrol istasyonu görülmektedir.



Şekil 5.16. Tezde kullanılan mobil yer kontrol istasyonu

Şekil 5.17’de mobil bir yer kontrol istasyonunun işlevsel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Mobil yer kontrol istasyonunun işlevsel yapısı

Tez için gerçekleştirilen mobil yer kontrol istasyonunda kullanılan denetim telemetri modemleri Şekil 5.18’de, Görüntü telemetri modemleri Şekil 5.19’da gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Denetim telemetri modemleri



Şekil 5.19. Görüntü telemetri modemleri

5.3.3. Yer kontrol istasyonu yazılımları

Özellikle son yıllarda gerek ülkemizde ve gerekse yurtdışında geliştirilmiş çok sayıda yer kontrol istasyonu yazılımı bulunmaktadır. Bu yazılımların kimisi ticari yazılımlar, kimisi açık kaynak parasız programlardır (referans). Bu tez çalışmasında ücretsiz açık kaynak kodlu Mission Planner [46] kullanılmıştır.

Mission Planner, açık kaynaklı APM (AutoPilot Mega) otopilot projesi için Michael Osborne tarafından geliştirilen ücretsiz ve açık kaynaklı bir uygulamadır.

Mission Planner'ın Özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Google Maps aracılığıyla uçuş rotası çizim yeteneği
- Rota planlama
- Otomatik uçuş yapabilme (otopilot)
- Gerçek zamanlı uçuş bilgileri
- Dengeli kontrol
- Dengeli uçuş modu,

- Konum denetimi
- Otomatik iniş ve kalkış
- Uçuş verilerini kaydetme
- Kamera entegrasyonu
- Batarya seviye uyarısı
- 4, 6 ve 8'li düzenleme seçeneği
- GUI (arayüz programı) ile yapılandırma

Tezde kullanılan Mission Planner uygulamasının ekran görünümü Şekil 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.20. Mission Planner uygulamasının ekran görünümü

6. HAREKETLİ NESNELERİN TESPİT VE TAKİP EDİLMESİ

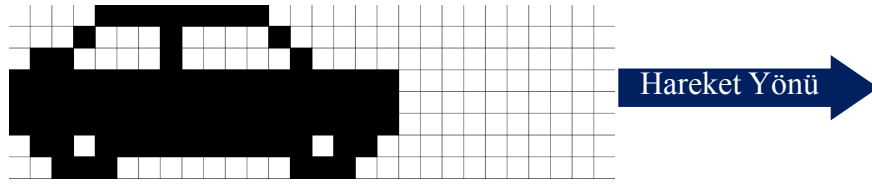
Bu bölümde, bir çokluuçarın kameralarından alınan görüntülerden hareketli nesnelerin tespit ve takip edilmesi ele alınmıştır. Sayısal görüntülerden hareketli nesne tespiti ve takibi, bilgisayarlı görü [16] (computer vision) alanı içerisinde. Bilgisayarlı görü alanında hareket analizi en önemli araştırma başlıklarından birisidir. Görüntülerdeki hareket analizi görüntü işleme konusundaki pek çok problemin, görsel takip, hareket yapısı vb gibi, temelini oluşturmaktadır [17].

Bu tez çalışmasının amacı kapsamında, bir çokluuçarın kameralarından alınan anlık görüntülerden hareketli nesnelerin gerçek zamanlı olarak tespit ve takip edilmesi MATLAB ortamında geliştirilen Optik Akış yöntemlerinin kullanıldığı bir yazılım ile yapılmaktadır.

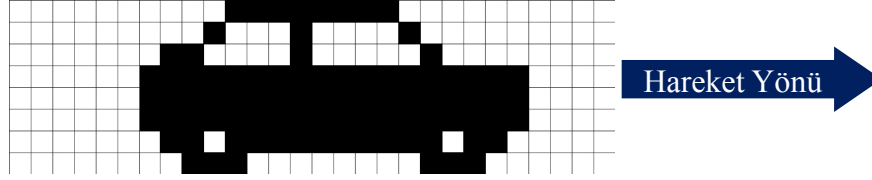
6.1. Optik Akış

Görüntü dizilerinin işlenmesindeki temel problem Optik Akış'ın veya görüntü hızlarının ölçülmesi zorluğudur. Optik Akış, iki boyutlu hareket alanına yaklaşık bir hesaplama yapmaktadır[18,19].

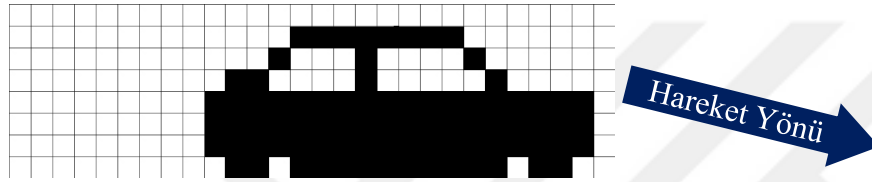
Şekil 6.1 a, b ve c'de bir otomobilin üç görüntü karesi boyunca hareketlerini görülmektedir. Şekil 6.1 d ve e ise Optik Akış algoritmasının otomobilin birinci ile ikinci görüntü arasındaki ve ikinci ile üçüncü görüntü arasındaki sınır piksellerinin yer değişimlerinin vektörel olarak hız ve yönünü göstermektedir. Şekil 6.1 d'de otomobil soldan sağa doğru aynı düzlem üzerinde düz bir şekilde ilerlediği için Şekil 6.1 d'de görüldüğü gibi ilerlemenin yönü ve şiddeti de vektörel olarak aynı yönde olduğu görülmektedir. Otomobil Şekil 6.1 b'deki konumundan Şekil 6.1 c konumuna geçerken hem ileri yönde hareket etmiş, hem de bir kare aşağı yönde ilerlemiştir. Bu nedenle Şekil 6.1 e'de görüldüğü gibi ilerlemenin yönü ve şiddeti de değişmiştir. Bu şekildeki görüntülerden tespit edilen nesne hareketlerinin vektörel gösterimine Optik Akış denilmektedir.



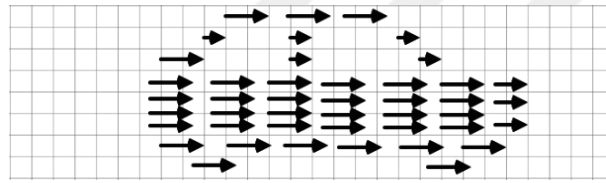
a)



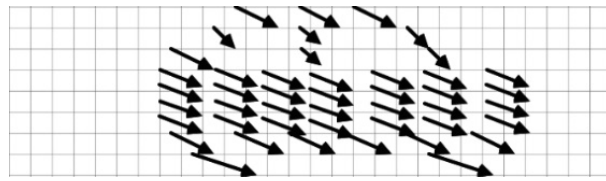
b)



c)



d)



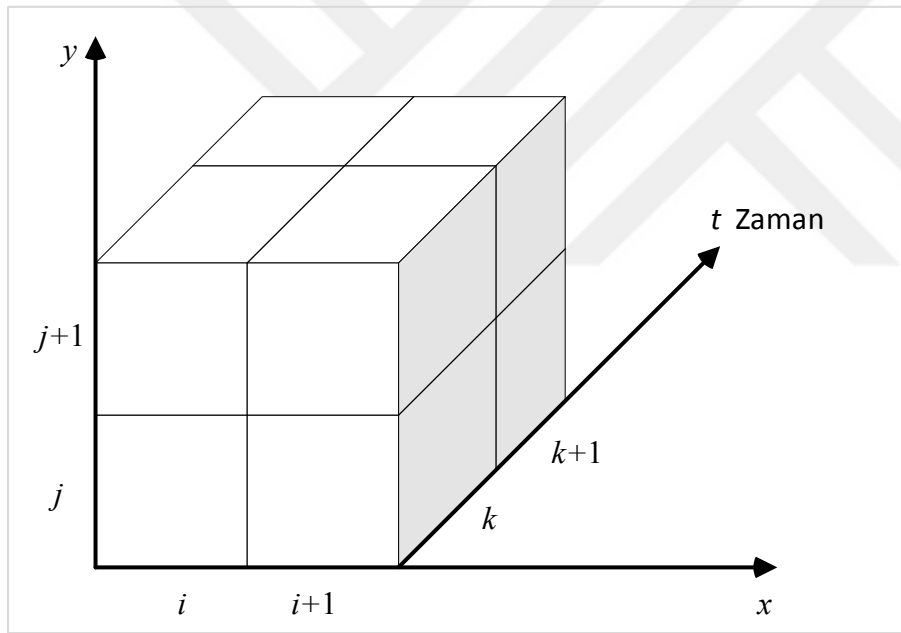
e)

Şekil 6.1. a), b) ve c)'de otomobilin hareketi görülmektedir. d)'de a'dan b'ye, e)'de b'den c'ye ilerleyişte hareketin yönü ve şiddeti vektörel olarak görülmektedir

6.1.1. Optik akış hesaplamaları

Fark Alma

Optik Akışın hesaplanabilmesi için görüntünün, şiddet türevlerinin hesaplanması gereklidir. Burada fark alma için sekizli hesaplama ile küp formunun merkezindeki noktada I_x, I_y ve I_t farkları bulunur. Şekil 6.2’de sekiz ardışık ölçüme sahip küp görülmektedir. Küpün merkezindeki imaj parlaklığının üç kısmi türevi, küpün dört paralel kenarı boyunca ilk farkların ortalamalarından tahmin edilir. Burada kolon j indeksi x doğrultusuna, satır i indeksi y doğrultusuna karşılık gelir. k indeksi zaman doğrultusunda ilerlemektedir [20].



Şekil 6.2. Sekizli ardışık ölçüme sahip küpün merkezindeki görüntünün x, y, t deki türevleri

Horn Schunck algoritması, kısmi türevleri ardışık iki görüntünün ilk dört farkın ortalamasını hesaplayarak tahmin etmiştir. I_x, I_y ve I_t tahminlerinin sürekli olması önemlidir. Farkı alınan görüntülerin hepsi aynı zamanda aynı noktayı göstermelidir.

$$I_x \approx \frac{1}{4}(I_{i,j+1,k} - I_{i,j,k} + I_{i+1,j+1,k} - I_{i+1,j,k} + I_{i,j+1,k+1} - I_{i,j,k+1} + I_{i+1,j+1,k+1} - I_{i+1,j,k+1}) \quad (6.1)$$

$$I_y \approx \frac{1}{4}(I_{i+1,j,k} - I_{i,j,k} + I_{i+1,j+1,k} - I_{i,j+1,k} + I_{i+1,j,k+1} - I_{i,j,k+1} + I_{i+1,j+1,k+1} - I_{i,j+1,k+1}) \quad (6.2)$$

$$I_t \approx \frac{1}{4}(I_{i,j,k+1} - I_{i,j,k} + I_{i+1,j,k+1} - I_{i+1,j,k} + I_{i,j+1,k+1} - I_{i,j+1,k} + I_{i+1,j+1,k+1} - I_{i+1,j+1,k}) \quad (6.3)$$

Görüntünün şiddet türevlerinin maskeleri aşağıdaki denklem 6.4'deki gibi yazılabilir.

$$M_x = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \quad M_y = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{pmatrix} \quad M_t = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (6.4)$$

$$I_x = M_x * (I_1 + I_2) \quad I_y = M_y * (I_1 + I_2) \quad I_t = M_t * (I_1 - I_2) \quad (6.5)$$

Burada uzunluğun birimi, her imaj çerçevesindeki grid aralık mesafesidir ve zamanın birimi, imaj çerçevesinin aralık periyodudur.

Akış Laplasyen Hesabı

Optik Akışta hız hesaplamalarında u ve v hız bileşenlerinin Laplasyenleri de tahmin edilebilir. Denklem 6.6'da Laplasyen hesabında güvenilir bir yaklaşım yer almaktadır:

$$\nabla^2 u \approx K(\bar{u}_{i,j,k} - u_{i,j,k}) \text{ ve } \nabla^2 v \approx K(\bar{v}_{i,j,k} - v_{i,j,k}) \quad (6.6)$$

burada yer alan lokal ortalamalar, $\bar{u}$ ve $\bar{v}$, aşağıdaki denklem 6.7 ve denklem 6.8'de belirtilmiştir:

$$\bar{u}_{i,j,k} = \frac{1}{6} \{u_{i-1,j,k} + u_{i,j+1,k} + u_{i+1,j,k} + u_{i,j-1,k}\} \dots + \frac{1}{12} \{u_{i-1,j-1,k} + u_{i-1,j+1,k} + u_{i+1,j+1,k} + u_{i+1,j-1,k}\} \quad (6.7)$$

$$\bar{v}_{i,j,k} = \frac{1}{6} \{v_{i-1,j,k} + v_{i,j+1,k} + v_{i+1,j,k} + v_{i,j-1,k}\} \dots + \frac{1}{12} \{v_{i-1,j-1,k} + v_{i-1,j+1,k} + v_{i+1,j+1,k} + v_{i+1,j-1,k}\} \quad (6.8)$$

Aşağıdaki Çizelge 6.1’de hız bileşenlerinin Laplasyen hesabında kullanılan komşu piksellerin bölünebileceği ağırlıkları gösteren maske görülmektedir.

Çizelge 6.1. Laplasyen hesaplamasında kullanılan maske

$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{12}$
$\frac{1}{6}$	-1	$\frac{1}{6}$
$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{12}$

6.1.2. Optik akış algoritmaları

Optik Akış hesaplamaları için birçok farklı yöntemler ve algoritmalar geliştirilmiştir. Barron ve diğerleri [47] yaptıkları çalışmada Optik Akış için geliştirilmiş farklı algoritmaların özelliklerini ve başarımlarını incelemişlerdir.

Thacker ve diğerlerinin [48] 2008 yılında yayınladıkları Optik Akış tekniklerinin başarımları ile ilgili çalışmada her bir yöntem ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir.

Raudies’in [49] yaptığı çalışmayı genişleterek, başka Optik Akış algoritmaların da özellikleri ile ilgili yaptığı kapsamlı çalışmanın sonuçlarını 2013 yılında yayınlamıştır.

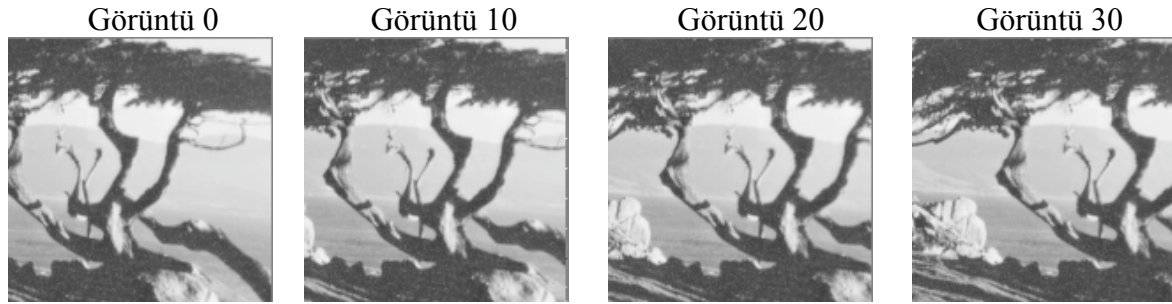
Raudies bu makalesinde, Optik Akış için geliştirilen algoritmaların MATLAB uygulamaları ile gerçek görüntü dizilerinden elde edilen hareket tahminleri vektörel çıktıları ile göstermiştir.

6.1.3. Farklı optik akış algoritmalarının karşılaştırması

Tezde kullanılmak üzere en uygun Optik Akış algoritmasının seçilebilmesi için Raudies'in yaptığı çalışma temel alınarak, Optik Akış yöntemlerinde kullanılan; fark teknikleri, alan tabanlı teknikler, enerji tabanlı teknikler ve faz tabanlı teknikler ana sınıfları altında toplanan yöntemler MATLAB ortamında uygulanarak, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Uygulaması yapılan bu yöntemler alfabetik sırayla aşağıda verilmiştir:

- AdelsonBergen
- Farnebaeck
- FleetJepson
- HornSchunck
- LucasKanade
- MotaEtAl
- Nagel
- OtteNagel
- ShizawaMase
- UrasEtAl
- Heeger

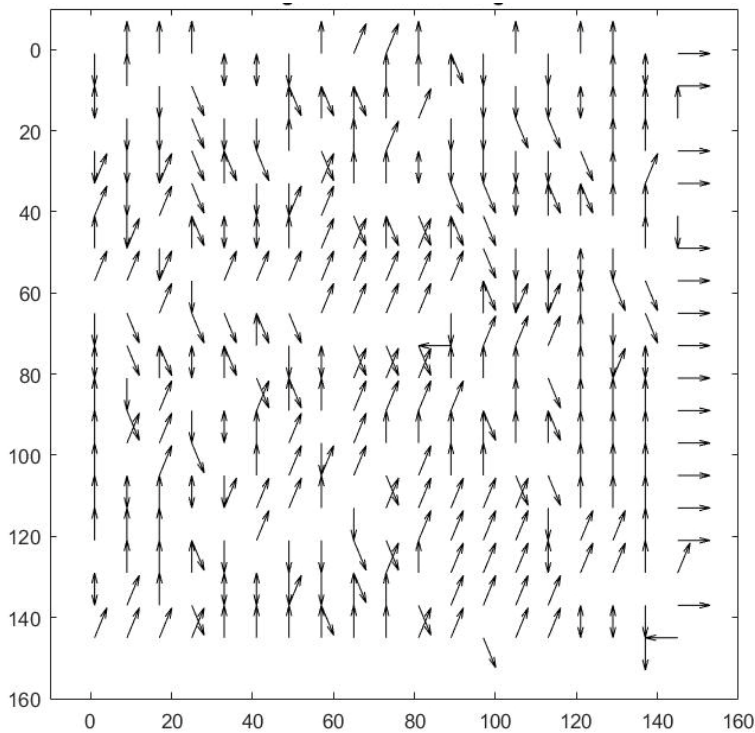
Her bir yöntem “Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisi [50] ” kullanılarak sınanmıştır. Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisini oluşturan imgelerin dizinin başından ortasından ve sonlarından alınan birkaç örneği Şekil 6.3'te görülmektedir.



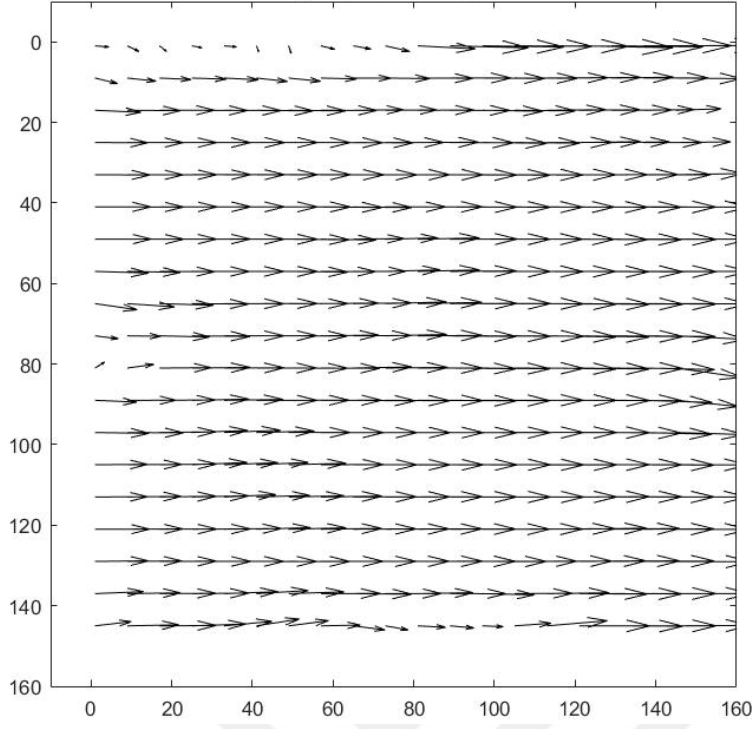
Şekil 6.3. Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisinin birkaç imge örneği görülmektedir

Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisi David Fleet tarafından üretilmiştir. Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisi, optik akış yöntemlerinin, kamera hareket tahmininin ve hareket algoritmalarının başarımlarının sınanması ve niceliksel değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılmıştır. Dizideki görüntüler, 150x150 piksellik gri seviyeli görüntülerden oluşmaktadır. Görüntüler [50] numaralı referanstan alınmıştır.

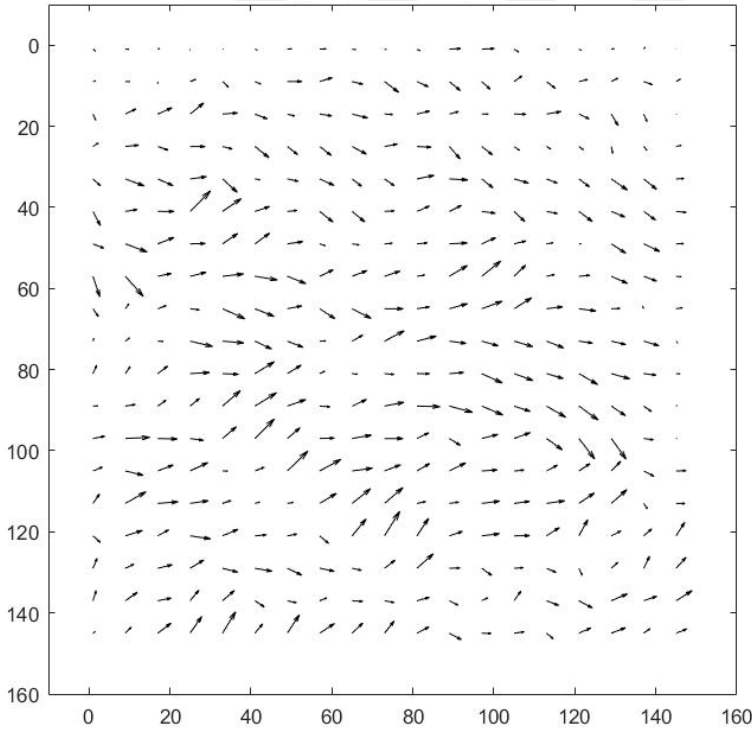
Şekil 6.3'te gösterilen Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisi kullanılarak, farklı algoritmalarla göre elde edilen yön ve şiddete ait vektörel sonuçlar Şekil 6.4 – Şekil 6.13'de verilmiştir. Şekillerden görüleceği gibi hiçbir Optik Akış algoritması aynı sonucu vermemekte, sonuçlar arasında ancak kabaca bir benzerlik bulunmaktadır.



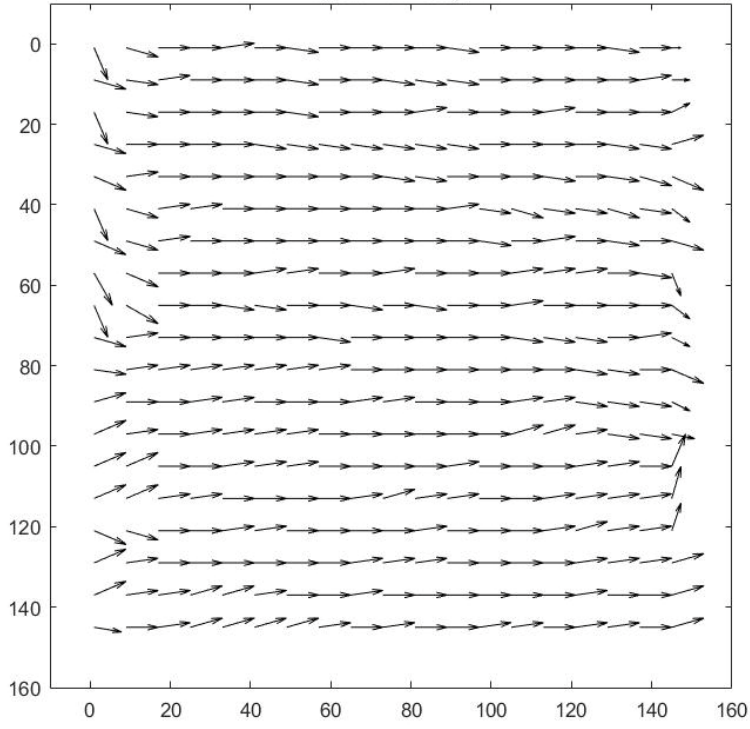
Şekil 6.4. Adelson Bergen algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi



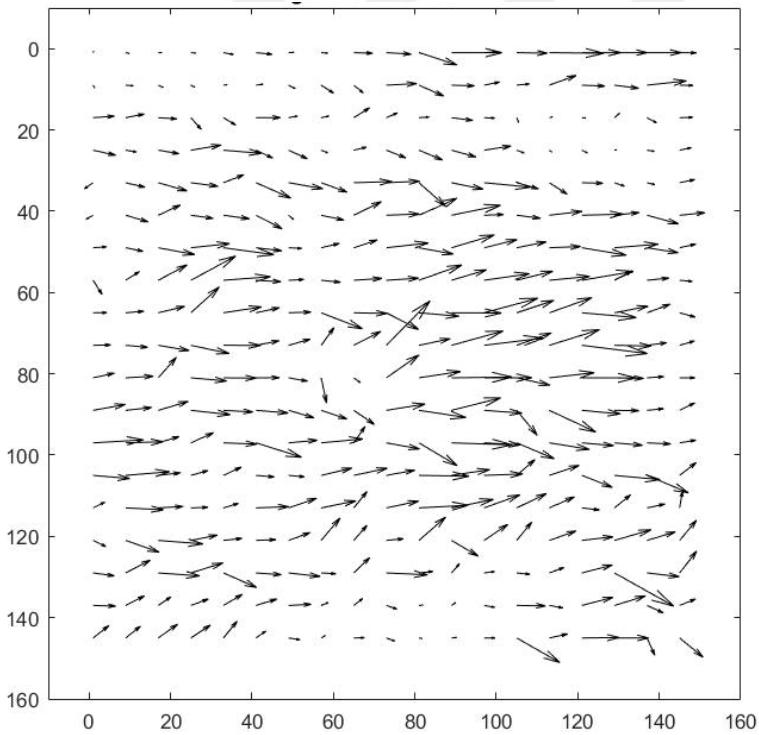
Şekil 6.5. Farnebaeck algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örnekleme



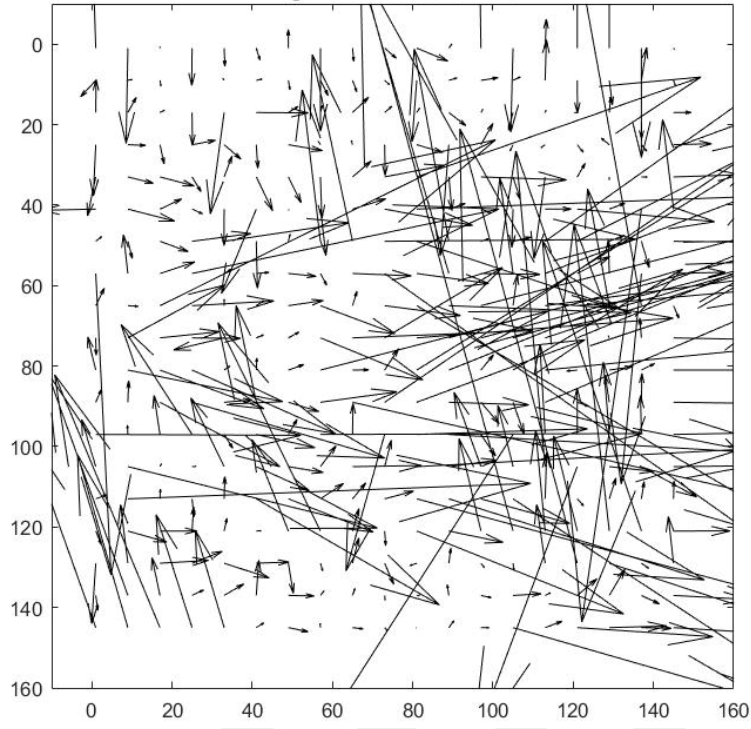
Şekil 6.6. FleetJepson algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örnekleme



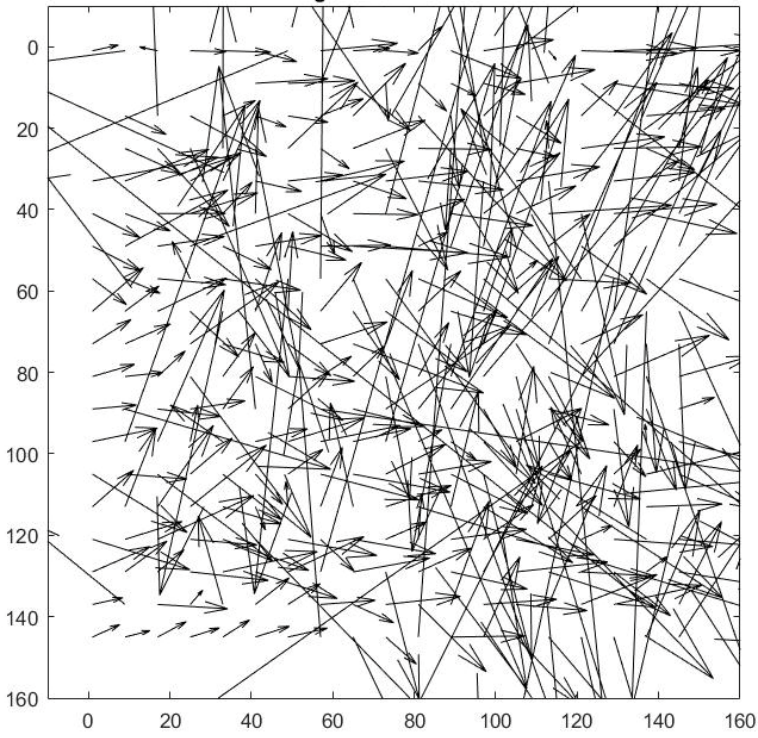
Şekil 6.7. HornSchunck algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi



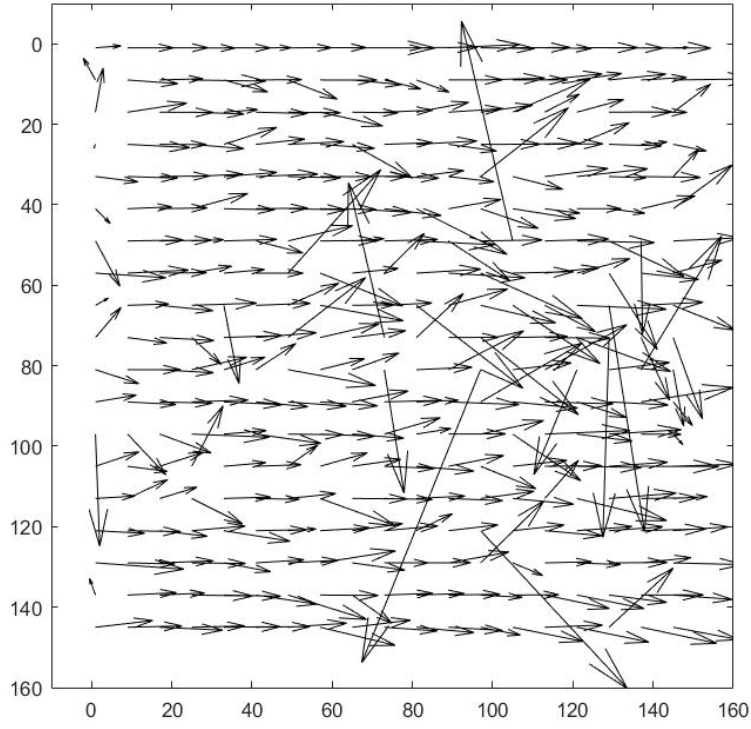
Şekil 6.8. LucasKanade algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi



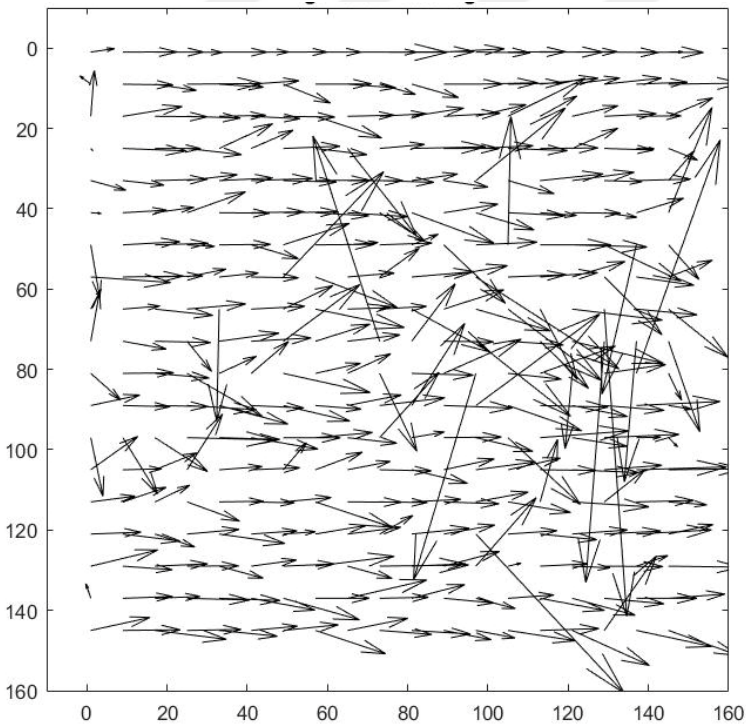
Şekil 6.9. MotaEtAl algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi



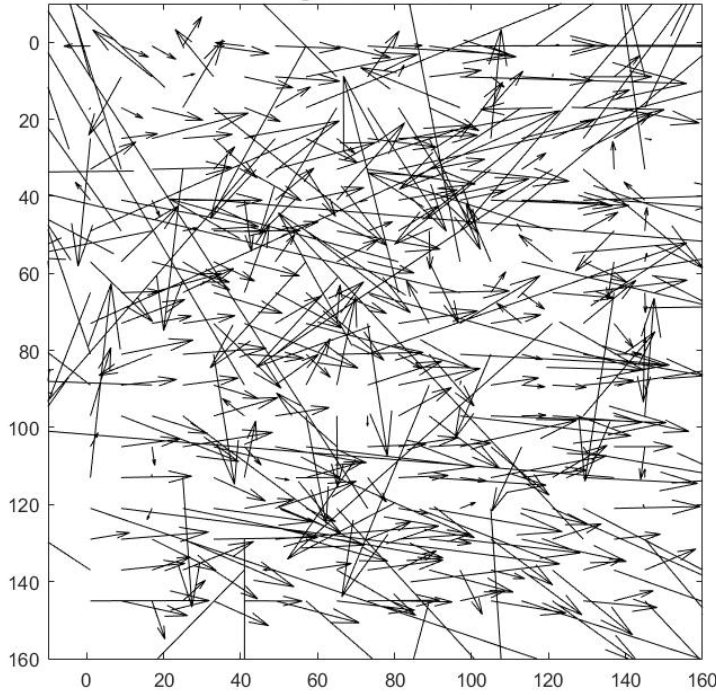
Şekil 6.10. Nagel algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi



Şekil 6.11. OtteNagel algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi



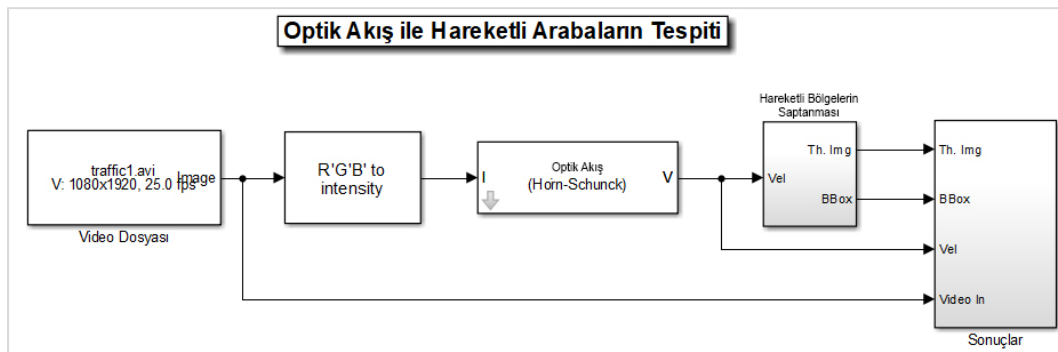
Şekil 6.12. UrasEtAl algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi



Şekil 6.13. Heeger algoritması ile bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi

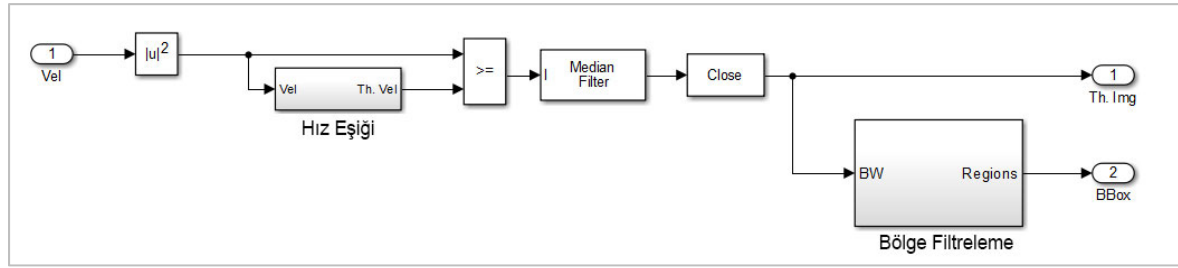
6.2. MATLAB Simulink Uygulaması

Günümüzde mühendislik alanında en çok kullanılan programlardan birisi MATLAB [51]'dir. Simulink, MATLAB ile birlikte bütünleşik olarak çalışan bir görsel benzetim ortamıdır. MATLAB Simulink, sürekli ve ayrık zamanlı sistemleri içeren hibrit sistemleri desteklemektedir. MATLAB Simulink'in çok zengin bir blok kütüphanesi barındırmaktadır. Benzetimi yapılmak istenen sistem, bu blokları sürükle-bırak yöntemiyle çok kolay bir şekilde kısa sürede kurulabilmektedir. MATLAB Simulink ortamında geliştirilmiş "Optik Akış Kullanarak Otomobil Takip Etme" uygulamasına ait bir Simulink modeli Şekil 6.14'te verilmiştir.



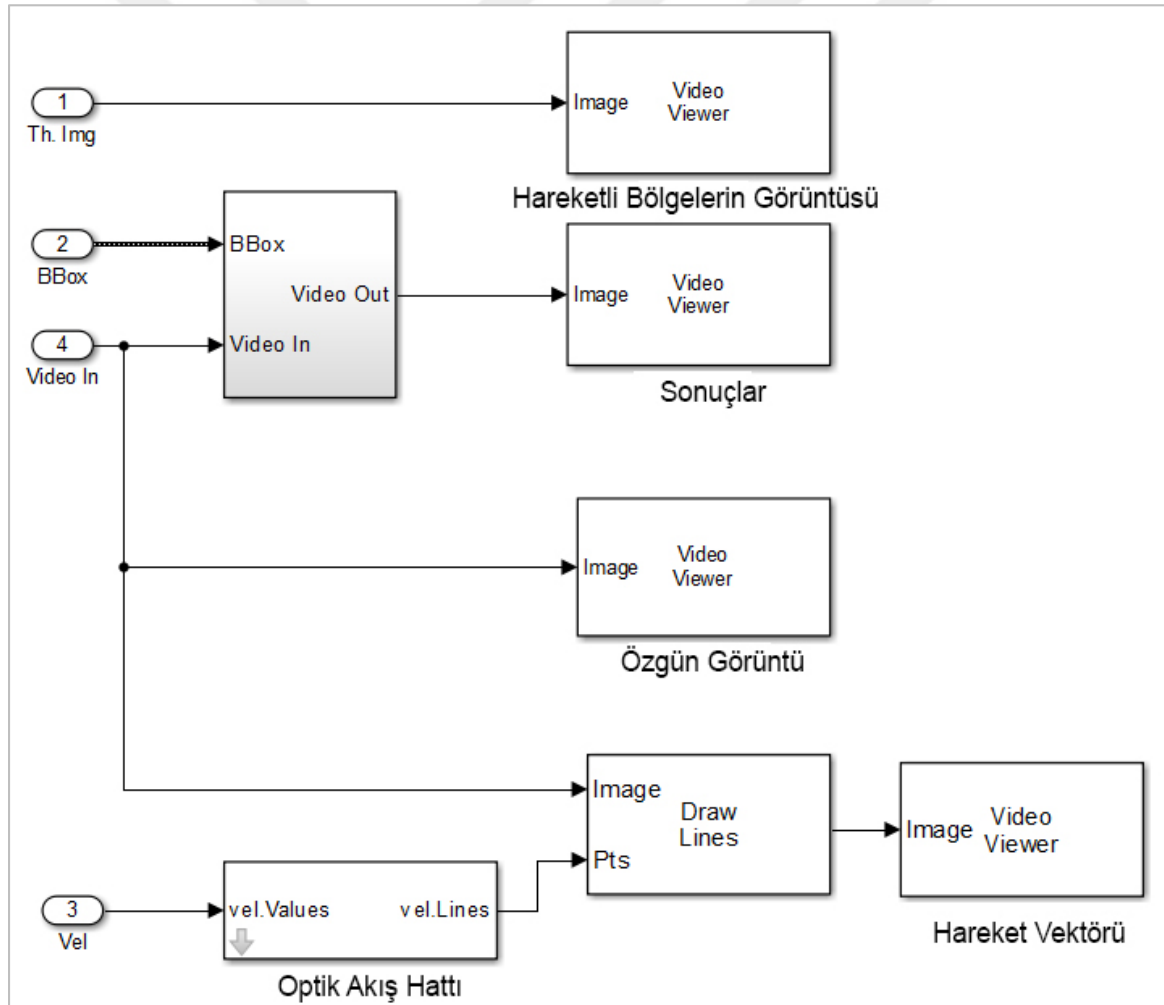
Şekil 6.14. Optik Akış Kullanarak Otomobil Takip Etme uygulamasına ait bir Simulink modeli

Şekil 6.14'te bulunan Hareketli Bölgelerin Saptanması Bloku Şekil 6.15'te verilmiştir.



Şekil 6.15. Hareketli Bölgelerin Saptanması Bloku Simulink modeli

Şekil 6.14'te bulunan Sonuçlar Bloku Şekil 6.16'da verilmiştir.



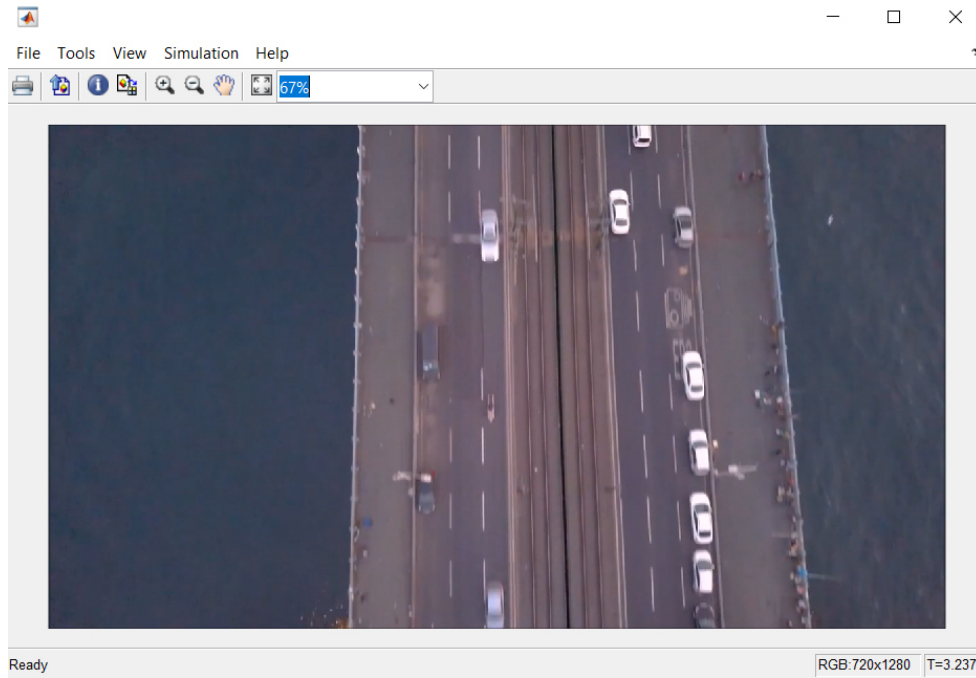
Şekil 6.16. Sonuçlar Bloku'nun Simulink modeli

Önceki bölümlerde ele alınan optik akış yöntemlerinden Horn Schunck yöntemi, görüntü boyunca sadece yatay, dikey ve görüntüler arası zamansal türevler alınarak

hesaplandığından diğer optik akış yöntemlerine göre daha hızlı bir yöntemdir. Bu nedenle tezde, Otomobilleri Takip Etmek için kullanılan MATLAB Simulink Modelinde, Horn Schunck yöntemi kullanılarak görüntüler analiz edilmiştir. Model, hareket vektörlerini eşleştirerek, hareketli nesnelerin yerini içeren ikili sayı özellik görüntüsü oluşturmaktadır. Model, ikili özellik görüntülerini kullanarak, her bir ikili özellik görüntüsündeki otomobilleri bulup, otomobillerin etrafında yeşil bir dikdörtgen çizmektedir.

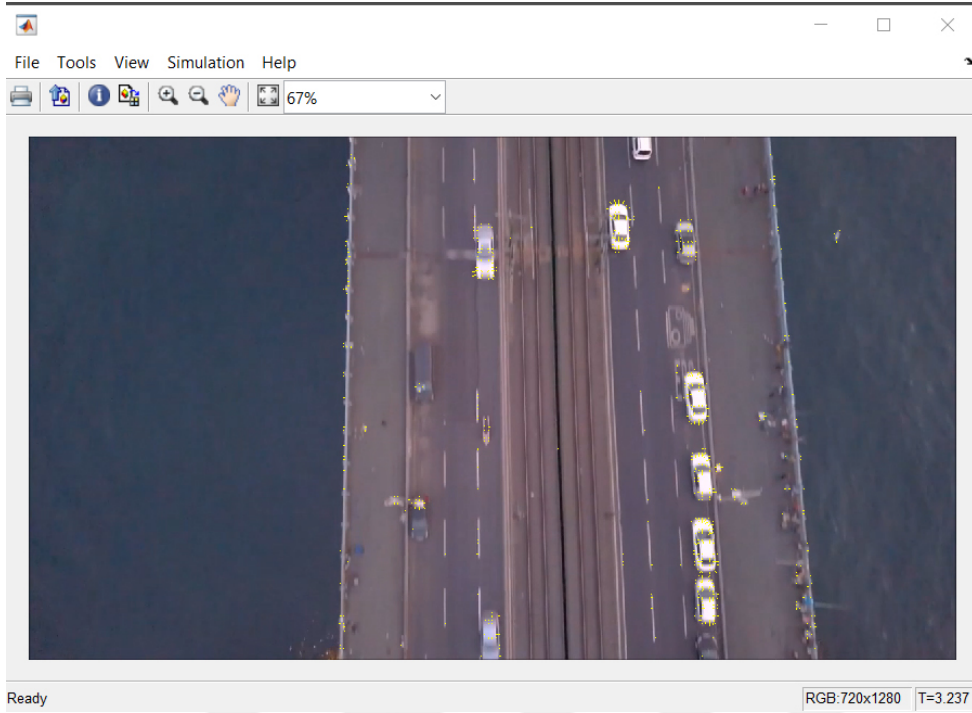
Şekil 6.17-6.20’de Optik Akış Kullanarak Otomobil Takip uygulamasının benzetim sonuçları verilmiştir. Şekiller, video 3,237’ci saniyede iken modelin çalışması dondurularak alınmıştır.

Şekil 6.17’de 3,237’ci saniyedeki özgün görüntü görülmektedir.



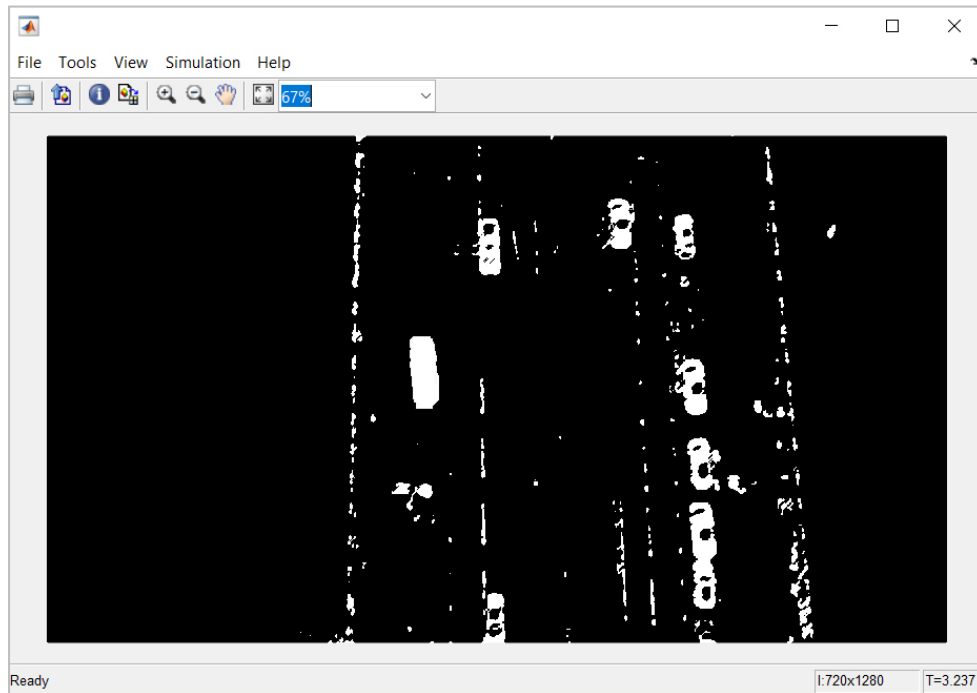
Şekil 6.17. 3,237’ci saniyedeki özgün görüntü

Şekil 6.18’de 3,237’ci saniyedeki hareketli araçların vektörel yön ve hızları görülmektedir.



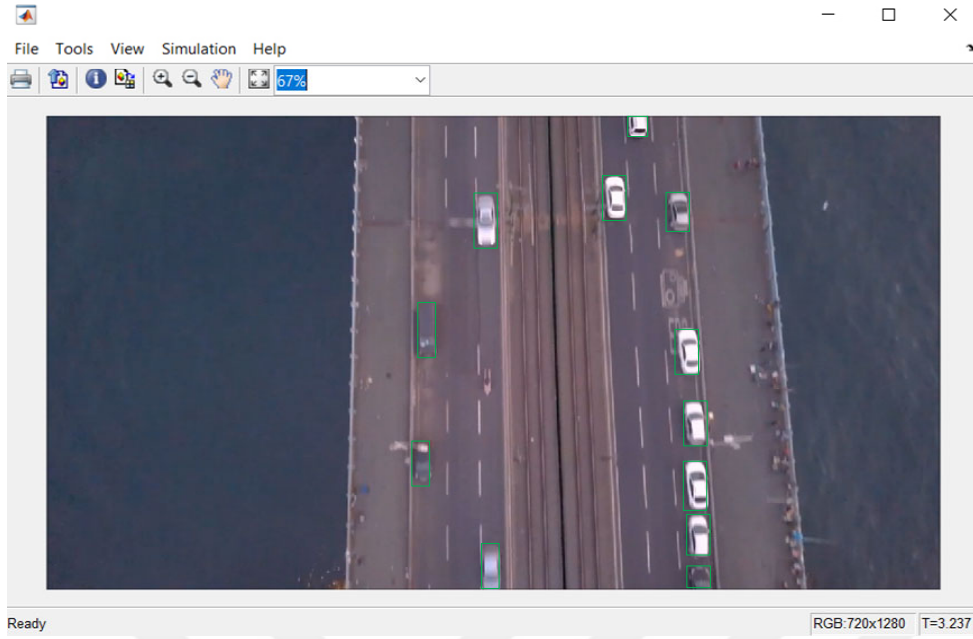
Şekil 6.18. 3,237’ci saniyedeki hareketli araçların vektörel yön ve hızları

Şekil 6.19’da 3,237’ci saniyedeki hareketli araçların ikili sayı özellik görüntüleri görülmektedir.



Şekil 6.19. 3,237’ci saniyedeki hareketli araçların ikili sayı özellik görüntüleri

Şekil 6.20’de 3,237’ci saniyedeki hareketli araçlar çerçeve içinde görülmektedir.



Şekil 6.20. 3,237’ci saniyedeki hareketli araçlar

6.3. MATLAB Grafiksel Kullanıcı Arayüzü Tabanlı Uygulama Tasarımı

Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (Graphical User Interface (GUI)) [52], içeriğinde yer alan nesnelerin kullanılması ile kullanıcıya etkileşim sağlayan grafiksel bir program arayüzüdür. Tez kapsamında bir çokluuçarın kamerasından alınan görüntülerden Optik Akış yöntemi ile hareketli nesneleri tespit ve takip etmek için MATLAB Grafiksel Kullanıcı Arayüzü ortamında bir uygulama yazılmıştır. Şekil 6.21’de GUI arayüzü görülmektedir.



Şekil 6.21. Hareketli nesne tespiti ve takibi için geliştirilen MATLAB GUI arayüzü

Şekil 6.14'te görülen GUI olay tabanlı programlandığı için arayüzde bulunan kameranın çalıştırılması, görüntü aktarımı ve Optik Akış gibi her bir nesne için programlama dosyasında callback diye adlandırılan ayrı alt rutin programlama parçaları bulunmaktadır. Bu tür programlamada MATLAB GUI hem bir arayüz olarak çalışmakta hem de her bir olaya ait alt program parçalarını birbirinden bağımsız olarak çalıştırmaktadır. Geliştirilen arayüzde, değişimlerin nerelerde olduğunu görselleştirmek için hem vektörler ve hem de enerji vektörleri de gösterilmektedir. Değişimlerin olduğu bölgeler, ayrıca kare içine alınarak Hareket eden nesneler belirtilmektedir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde Uçan bir İHA’da bulunan kamerayla elde edilen görüntülerle hareketli nesnelerin tespiti ve takibi ele alınmıştır. İHA uçuğu için üzerinde bulunan kamerada hareket etmektedir. Bu durumda problem hareketli kamerayla hareketli nesnelerin tespiti gibi çözülmesi çok daha zor bir hal almaktadır.

Uçan bir İHA'dan hareket eden nesneleri tespit etmeye çalışırken çözülmesi gereken asıl problem, aracın hareketinin neden olduğu görüntüdeki değişiklikleri hareketli nesnelerden ayırmaktır. Bu tezde, bir çokluuçarda bulunan normal bir kameradan alınan anlık görüntülerden hareketli nesnelerin gerçek zamanlı olarak tespit ve takip edilmesi için bir Optik Akış yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem, kameradan alınan görüntü çerçevelerinin bir optik akış algoritması ile karşılaştırılarak değişikliklerin izlenmesine dayanmaktadır.

Bu tez çalışmasının kapsamında, bir çokluuçarın kameralarından alınan anlık görüntülerden hareketli nesnelerin gerçek zamanlı olarak tespit ve takip edilmesi MATLAB ortamında geliştirilen Optik Akış yöntemlerinin kullanıldığı bir yazılım ile yapılmıştır. En uygun Optik Akış algoritmasının seçilebilmesi için Optik Akış yöntemlerinde kullanılan alan tabanlı teknikler, enerji tabanlı teknikler ve faz tabanlı teknikler MATLAB ortamında test edilerek, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her bir yöntem “Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisi ” kullanılarak sınanmıştır. Çokluuçarın kamerasından alınan görüntülerden Optik Akış yöntemi ile hareketli nesneleri tespit ve takip etmek için MATLAB GUI Arayüzü ortamında bir uygulama yazılmıştır.

Günümüzde donlar, kullanılan motor ya da pervane sayısına ve bunların düzenlenme şekillerine göre adlandırılırlar. Çokluuçarlarda, artı (+), çapraz (x) ve H şekillerinde simetrik olarak düzenlenmiş 3, 4, 6 ve 8’li motor ve pervaneler kullanılmaktadır. Bu tezde genellikle İngilizce olarak kullanılan drone’lar ile ilgili Türkçe terimler oluşturularak, drone için çokluuçar, multicopter ve multirotor için çokluuçar, tricopter için üçuçar, quadcopter ve quadrotror için dörtuçar, hexacopter için altıuçar, octocopter için sekizuçar önerilmiştir.

Tezde, en sıklıkla kullanılan çokluuçarların çalışma ilkeleri ele alınmış, hareket denklemleri çıkarılmış, eksen takımları arasındaki ilişki matematiksel olarak gösterilerek ve Newton'un genelleştirilmiş ikinci yasasından yararlanılarak serbestlik açılarıyla ilişkili eşitlikler elde edilmiştir.

Çokluuçarların pervanelerine gerekli olan güç elektrik motorları ile sağlanmaktadır. Bu nedenle modelleme yapılırken, çokluuçarlarda kullanılan motorlar ve ürettikleri torkların ve döndürdükleri pervanelerin oluşturduğu itki kuvvetlerinin ayrı ayrı analiz edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, tezde kullanılan Fırçasız Doğru Akım Motorlarının (FDAM) benzetim çalışmaları MATLAB Simulink ortamında yapılmıştır. Benzetim Simulink kütüphanesi kullanılarak motor ve sürücü olarak iki bloktan oluşturulmuştur. Fırçasız DC motor ve sürücüsü iç ve dış olmak üzere iki geri besleme döngüsü ile denetlenmektedir. İç geri besleme döngüsü akımı, dış geri besleme döngüsü motor hızını denetlemektedir. Her iki döngüde de PD denetleyicisi kullanılmış ve MATLAB ortamında yapılan benzetim çalışmaları ile test edilmiştir.

Tezde İHA olarak bir dörtuçar kullanılmıştır. Bu dörtuçarın teorik çalışmaları ve performans özelliklerini çıkarmak için “eCalc” programı kullanılmıştır. Bu özelliklere göre çokluuçar genel sistemin ve alt sistemlerin için gerekli olan donanım ve yazılım mimarileri tasarlanarak uygulamada kullanılacak dörtuçar gerçekleştirilmiştir.

Özellikle son yıllarda gerek ülkemizde ve gerekse yurtdışında geliştirilmiş çok sayıda yer kontrol istasyonu yazılımı bulunmaktadır. Bu yazılımların kimisi ticari yazılımlar, kimisi açık kaynak parasız programlardır. Bu tez çalışmasında açık kaynak kodlu Mission Planner kullanılmıştır.

Bu tezde veri ve görüntüler RF analog modemler vasıtası ile kriptosuz olarak aktarılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda veri ve görüntülerin sayısal ve kriptolu olarak aktarılması ile daha hızlı ve güvenilir sistemlerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Kahveci, M., ve Can, N. (2017). İnsansız hava araçların: Tarihçesi, tanımı, dünyada ve Türkiye'deki yasal durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknik Dergisi*, 5(4), 511-535.
2. İnternet: Van Hoy, G. ve Wang, B. Forecast: Personal and Commercial Drones, Worldwide, 2016, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.gartner.com%2Fdoc%2F3557717+&date=2018-12-25>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
3. İnternet: Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Market by Application (ISR, Precision Agriculture, Product Delivery), Class (Tactical, MALE, HALE, UCAV), System (Avionics, Sensors, Payload), MTOW (<25Kg, 25-150Kg, >150kg), Range, Type, and Region - Global Forecast to 2025. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.marketsandmarkets.com%2FPressReleases%2Funmanned-aerial-vehicles-uav.asp+&date=2018-12-25> Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
4. İnternet: İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA). URL: https://iha.shgm.gov.tr/public/document/SHT-IHA_REV1.pdf. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
5. Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası (2011). Savunma Sanayi Müsteşarlığı.
6. Karaağaç, C. (2016). *İHA Sistemleri Yol Haritası Geleceğin Hava Kuvvetleri 2016-2050*, STM.
7. Cömert, R., Avdan, U., ve Şenkal, E. (2012). *İnsansız hava araçlarının kullanım alanları ve gelecekteki beklentiler*. IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, 8.
8. del-Blanco, C. R., Jaureguizar, F., ve García, N. (2012). An Efficient Multiple Object Detection and Tracking Framework for Automatic Counting and Video Surveillance Applications, *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 58, 3.
9. Roy, A., Shindeand, S., ve Kang, K. D. (2010). An Approach for Efficient Real Time Moving Object Detection. *Ecological Society of America ESA- Annual Meeting*.
10. Saif, A. F. M. S., Prabuwno, A. S., ve Mahayuddin, Z. R., (2014). Moving Object Detection Using Dynamic Motion Modelling from UAV Aerial Images. *The Scientific World Journal*, 2014, 890619.
11. Yazdi, M., ve Bouwmans, T., (2018), New Trends on Moving Object Detection in Video Images Captured by a moving Camera: A Survey. *Computer Science Review*. 28, 157–177.

12. Rodríguez-Canosa, G. R., Thomas, S.J., del Cerro, J., Barrientos, A., ve MacDonald, B. A. (2012). A Real-Time Method to Detect and Track Moving Objects (DATMO) from Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Using a Single Camera. *Remote Sensing*, 4(4), 1090-1111.
13. Açarçiçek, A. H. (t.y.). Horn ve Schunck Optik Akış yöntemi ile hareket vektörlerinin gerçek zamanlı veya videolar üzerinden gerçekleşmesi (Matlab), *Sayısal İşaret İşleme Tasarım ve Uygulama Ders Notu*, No: 040100487
14. Ebrahimi, S. G. (2009). *Shadow Aware Object Detection And Vehicle Identification Via License Plate Recognition*, Degree of Master of Science , Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus, 1-6
15. Gökçe, B., ve Sonugür, G. (2016). GPS destekli imge çakıştırma yöntemi ile hareketli nesnelerin tespiti, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(5), 353-360.
16. Güllü, K. (2017). Bilgisayarla Görüye Giriş, Ders 8 – Optik Akış (Optical Flow), *Ders Notu*, Kocaeli Üniversitesi.
17. Malhotra, R. (2008). *Detection and Segmentation Of Moving Objects In Video Using Optical Vector Flow Estimation*, Master Of Science, University Of Saskatchewan, Saskatchewan.
18. Örtten, B. B. (2005). *Moving Object Identification And Event Recognition In Video Surveillance Systems*, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
19. Özüntürk, E. (2007). *Optik Akış ile Hareket Tespiti*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
20. Şencan, O. (2010). *Otonom Mobil Robotlarda Optik Akış Tabanlı Görsel Eş Zamanlı Lokalizasyon ve Haritalama*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
21. Talu, M. F. (2010). Nesne takip yöntemlerinin sınıflandırması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(18), 45-63.
22. İnternet: Liang, O. Sharing Knowledge and Ideas. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Foscarliang.com%2Ftypes-of-multicopter&date=2018-12-25>. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
23. Selim, E., Uyar, E., ve Alcı, M. (2013). Quadcopterin Matematiksel Modeli ve Kontrolü, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, TOK2013, 26-28 Eylül 2013, Malatya.
24. Oscarson, O. (2015). *Design, Modeling and Control of an Octocopter*, Royal Institute of Technology Master's Thesis in Optimization and Systems Theory, ISRN-KTH/MAT/E--15/63—SE, Stockholm, Sweden.

25. Yükselen, M. A. (2011). *Aerodinamik Ders Notları*, İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
26. Aydoğdu, Ö. (2006). *Fırçasız DA Motorlarının Genetik Tabanlı Bulanık Mantık Denetleyici İle Sensörsüz Kontrolü*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 40.
27. Bresciani, T. (2008), *Modelling, Identification and Control of a Quadrotor Helicopter*, Master Thesis, Lund University ISSN 0280-5316 ISRN LUTFD2/TFRT-5823-SE.
28. Tosun, D. C. (2015). *Dört Motorlu Bir İnsansız Hava Aracı için Adaptif Kontrol Sistem Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 16.
29. Güçlü, A. (2012). *Attitude and Altitude Control of an Outdoor Quadrotor*, Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 13.
30. Bayrakçeken, M. K. (2013). *Dikine İniş Kalkış Yapabilen Dört Rotorlu Hava Aracının (Quadrotor) Uçuş Kontrolü*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
31. Akyüz, S. (2013). *Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracı (Quadrotor)'nın PD Ve Bulanık Kontrolcü Tasarımı ve Benzetim Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 22-25.
32. Kıyak, E. (2009). *Durum geribeslemeli uçuş kontrol sistem tasarımı. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25, 409-425.
33. Kahvecioğlu, A., Parlaktuna, O., Korul, H., ve Işık, Y. (2006). Bir uçağın irtifa kontrolünde klasik ve bulanık pd denetleyici performanslarının karşılaştırılması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 2(3), 9-20.
34. Mehmet, E.Ö. (2007). *Dört Kanatlı Bir Döner kanat Sisteminin Modeli ve PD Kontrolör ile Yörünge Kontrolü*, *Türk Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, İstanbul.
35. İnternet: eCalc the most reliable RC Calculator on the Web. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fecalc.ch%2Fxcptercalc.php+&date=2018-12-25>. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
36. İnternet: Dakoju, S., Dynamic (Mathematical) Modeling of Brushless DC Motor (Trapezodial Back EMF) version 1.0.0.0 (107 KB). URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/51069-dynamic-mathematical-modeling-of-brushless-dc-motor-trapezodial-back-emf>. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
37. İnternet: Vervoorst, J. W., A modular simulation environment for the improved dynamic simulation of multirotor unmanned aerial vehicles, M. S. Thesis, University of Illinois at Urbana - Champaign, 2016, URL:

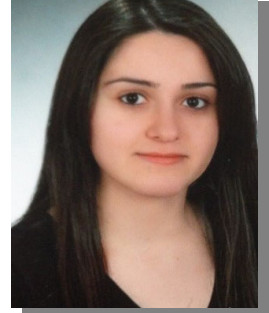
- <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fhdl.handle.net%2F2142%2F90660+&date=2018-12-25>. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
38. Dikmen, İ. C., Arısoy, A., ve Temeltaş, H. (2009). Dikey iniş-kalkış yapabilen dört rotorlu hava aracının (quadrotor) uçuş kontrolü. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 4(3), 33-40.
 39. Mer, Y. ve Bayılmış, C. (2011). Dört rotorlu insansız hava aracı (quadrotor)uygulaması, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May 2011, Elazığ.
 40. İnternet:..PIXHAWK Project, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpx4.io%2F+&date=2018-12-26>. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
 41. İnternet: Limskey power 3S 11.1v 10400mah Lipo Battery, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.aliexpress.com%2Fitem%2FLimskey-power-3S-11-1v-10400mah-Lipo-Battery-30c-For-Helicopter-Four-Axis-RC-Car-Boat%2F32807945299.html%3Fspm%3Da2g0s.9042311.0.0.4f4d4c4dzEyBRq+&date=2018-12-25> Son Erişim Tarihi: 24.08.2018
 42. İnternet: DIY Full Set 2.4GHz 4-Aixs Quadcopter RC Drone . URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.aliexpress.com%2Fitem%2FDIY-Full-Set-2-4GHz-4-Aixs-Quadcopter-RC-Drone-630mm-Frame-Kit-MINI-PIX-GPS%2F32851262028.html%3Fspm%3Da2g0s.9042311.0.0.4f4d4c4dzEyBRq+&ate=2018-12-25>. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018
 43. İnternet: Remote 900 RFD 900MHz Ultra Long Range Radio Telemetry Modem. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F%5B49%5D%09https%3A%2F%2Fwww.aliexpress.com%2Fitem%2FRemote-900-RFD-900MHz-Ultra-Long-Range-Radio-Telemetry-Modem-with-FTDI-Antenna-for-APM-Pixhawk%2F32810218558.html%3Fspm%3Da2g0s.9042311.0.0.4f4d4c4dzEyBRq+&date=2018-12-25>. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018
 44. İnternet: Remote-900-RFD-900MHz-Ultra-Long-Range-Radio-Telemetry-Modem, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.aliexpress.com%2Fitem%2FF18270-RC-FPV-Mini-Video-Camera-COMS-700TVL-2-8mm-Lens-PAL-NTSC-Format-for-DIY%2F32697266975.html%3Fspm%3Da2g0s.9042311.0.0.4f4d4c4dzEyBRq+&ate=2018-12-25>. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
 45. İnternet: Google Maps Platform. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fdevelopers.google.com%2Fmaps%2Fdocumentation%2F+&date=2018-12-25> Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.

46. İnternet: Mission Planner Home. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fardupilot.org%2Fplanner%2F+&date=2018-12-25>. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
47. Barron, J., Fleet, D., and Beauchemin, S. (1994). Performance of optical flow techniques. *International Journal of Computer Vision*, 12(1), 43–77.
48. Thacker, N. A., Clark, A. F. Barron, J.L. and Ross Beveridge, J., Courtney, P., Crum, W. R., Ramesh, V., and Clark, C. (2008). Performance characterization in computer vision: A guide to best practices, *Computer Vision and Image Understanding*, 109(3), 305 - 334.
49. İnternet: Raudies, F. (2013) Optic flow. *Scholarpedia*, 8(7), 30724 http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.scholarpedia.org%2Farticle%2FOptic_flow%23Definitions_of_optic_flow&date=2018-12-25. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
50. İnternet: Raudies. F., Optic Flow Estimation. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fgithub.com%2Ffraudies%2FOptic-flow-estimation+&date=2018-12-26>. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
51. İnternet: Matlab. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mathworks.com&date=2019-03-01>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
52. İnternet: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.mathworks.com%2Fdiscovery%2Fmatlab-gui.html+&date=2018-12-25> Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ELMAS, Elif Ece
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 30.05.1992-Birmingham/İngiltere
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (505) 114 70 18
 e-mail : elmasece.92@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Elektrik Elektronik Müh.	Devam ediyor
Lisans	Başkent Üniversitesi / Elektrik Elektronik Müh.	2015

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	Türk Telekom	Uzman Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayın

Elmas, E.E., ve Alkan, M. (2018). *Project Management in The Aerospace Industry: A Case Study in UAV Applications*. pp. 12-13, PM Kiev '2018, 18-19 May 2018, Kiev, Ukraine.

Hobiler

Yüzme, yoga



GAZİ GELECEKTİR..