



**T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ
ANA BİLİM DALI**

**DÖRT ROTORLU İNSANSIZ HAVA ARACININ
(QUADROTOR) FARKLI HAVA KOŞULLARINDAKİ
DAVRANIŞI ÜZERİNE BİR İNCELEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMİR BULUT

OSMANIYE / 2019

T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ
ANA BİLİM DALI

DÖRT ROTORLU İNSANSIZ HAVA ARACININ (QUADROTOR) FARKLI HAVA
KOŞULLARINDAKİ DAVRANIŞI ÜZERİNE BİR İNCELEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

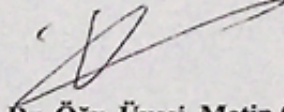
EMİR BULUT

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi. Metin ÖZŞAHİN
Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Emin Sertaç ARI
Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Hikmet MARAŞLI

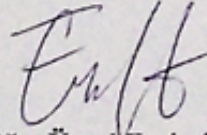
OSMANİYE / 2019

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne;

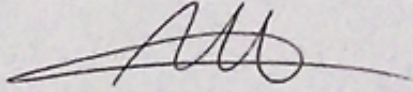
Bu çalışma, jürimiz tarafından Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalı
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.



Başkan: Dr. Öğr. Üyesi. Metin ÖZŞAHİN
(Danışman)



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Emin Sertaç ARI



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hikmet MARAŞLI

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylarım.
.../.../201.

.....
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sosyal Bilimler 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 ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 01 / 08 / 2019

EMİR BULUT

ÖZET

DÖRT ROTORLU İNSANSIZ HAVA ARACININ (QUADROTOR) FARKLI HAVA KOŞULLARINDAKİ DAVRANIŞI ÜZERİNE BİR İNCELEME

EMİR BULUT

Yüksek Lisans Tezi, Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Metin ÖZŞAHİN

Ağustos 2019, 101 sayfa

Geçmişte daha çok askeri alanda kullanılan insansız hava aracı (İHA) gelişen teknolojiyle birlikte günümüzde birçok alanda kullanılmaya başlamıştır. Kargo taşımacılığı, trafik kontrolü, coğrafi bilgi sistemleri, tarım ve kişisel alanlar başta olmak üzere; sınır devriyeleri, arama kurtarma faaliyetleri, hasar tespiti ve benzeri alanlar bunlardan bazılarıdır. Özellikle sivil alanda hobi ve ticari amaçla kullanımının birçok ülkede yaygınlaşması bilinirliğini artırmış, geleceğin yenilikçi teknolojileri arasındaki yerini almasını sağlamıştır.

Bu çalışmada; dört rotorlu insansız hava aracı (Quadrotor) için yapılan çalışmaların büyük bölümünü laboratuvar ortamındaki simülasyonlar ve kontrolcü algoritmalarının oluşturduğu gözlemlenmiştir ve bu gözlemden yola çıkarak Quadrotor'un değişken hava koşullarındaki uçuş parametreleri incelenmiştir.

Çalışmada, Quadrotor'un her bir rotorunun devir bilgisi ile batarya güç tüketimi ve dış ortam uçuşlarında alınan veriler, karşılaştırmalı hava koşullarınca incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Quadrotor, İHA, drone, hava koşulları.

ABSTRACT**A STUDY ABOUT BEHAVIOR OF FOUR ROTORS UMMANNED AERIAL VEHICLE (QUADROTOR) IN THE DIFFERENT WEATHER CONDITIONS****EMİR BULUT****Master Thesis, Department of Management Information Systems****Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Metin ÖZŞAHİN****August 2019, 101 pages**

Unmanned aerial vehicle was used particularly in the military field in the past, however with the development of technology, it's being used in so many different fields. It is used mainly in cargo transportation, traffic checking, geographic information systems, agriculture and personal fields and besides these fields, it is also used in border patrol, search and rescue operations, loss assessment and so on. The usage of unmanned aerial vehicle in civil life with commercial purposes and as a hobby in many countries has risen the recognition of it and these allow it to take part in innovative technologies.

In this study, it is observed that most of the studies for four rotor unmanned aerial vehicle (Quadrotor) are formed by the simulations in laboratory environments and controller algorithms. Based on this observation, the changeable flight parameters of Quadrotor were examined.

In this study, the speed information of each rotor of Quadrotor and the data obtained from battery power consumption and outdoor flights were examined by comparative weather conditions.

Keywords: Quadrotor, UAV, DIY, weather.

ÖN SÖZ

2011 yılında yapılan Hannover Fuarı'nda ilk kez duyduğumuz "Endüstri 4.0" bu günlerde en çok konuşulan konulardan biri olmayı başardı. Endüstri 4.0'ı; yapay zekanın gelişimi, üretimin robotlar ile kontrol edilmesi, üç boyutlu yazıcıların hemen herkes tarafından ulaşılabilir olması ve daha birçok alanda getireceği yenilikler olarak ifade edebiliriz. Quadrotor'lar da bu yeniliklerden olmayı başararak tüm dünyada oldukça yaygınlaştı. Gerek bilimsel amaçla gerekse hobi ve ticari amaçla büyük ilgi görmeye devam ediyor. Özelleştirilebilir yapısı ile ihtiyaç duyulan alana göre tasarlanabilmesi ve kolay ulaşılabilirliği önemli avantajlarından sadece bazıları. Bu çalışmada, Quadrotor'un farklı hava koşullarındaki saha uçuş parametreleri sensörler yardımıyla okunarak, anlık uçuş verileri incelenmiştir.

Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Metin ÖZŞAHİN'e, Sayın Prof. Dr. Mustafa Fedai ÇAVUŞ'a, Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleriyle her zaman destek olan Sayın Öğr. Gör. Ahmet ÇANKAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca manevi desteğini hiç esirgemeyen Nefise ŞİMŞEK'e, büyük emekleri ve destekleri için değerli dostlarım; Nazlıcan ARIK'a, Sefa ALACA'ya, İsa ŞAHİN'e, Besim ULUSEL'e ve Melikşah HATİPOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayattaki en büyük destekçim, bana olan inancından hiç vazgeçmeyen ve daima yanımda olan canım anneme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Emir BULUT
Osmaniye / 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖN SÖZ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GRAFİK LİSTESİ	xv

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Önemi	2
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Çalışmanın Yöntemi ve Sınırlılıkları	3
1.4. Çalışmanın Bölümleri.....	3

BÖLÜM II

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

2.1. Tarihçe	5
2.2. Geçmişte Yapılan İHA Tasarımları	6
2.2.1. Brequet Richet hava aracı	6
2.2.2. De Bothezat hava aracı	7
2.2.3. Oemnichien hava aracı.....	8
2.2.4. Convertawings Model A	9
2.2.5. Curtis – Wright VZ-7	10
2.3. Günümüzde Yaygın Kullanılan Döner Kanat İHA'lar	11
2.4. Literatür Özeti.....	13

BÖLÜM III

QUADROTOR'UN BİLEŞENLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

3.1. Quadrotor Bileşenleri.....	17
3.1.1. Şasi	18

3.1.2. Kontrol Kartı	18
3.1.3. Motor	19
3.1.4. Pervane	21
3.1.5. Motor Sürücü (ESC).....	21
3.1.6. Batarya (LiPO).....	22
3.1.7. Kumanda (Alıcı-Verici)	24
3.1.8. Şarj Aleti	27
3.2. Diğer Bileşenler.	28
3.2.1. Arduino Nano.....	28
3.2.2. Barometrik Basınç Sensörü.....	29
3.2.3. IR (Kızılötesi) Sensör	30
3.2.4. Arduino SD Kart Modülü	31
3.2.5. Anemometre	31
3.3. Quadrotor Çalışma Prensibi.	33
3.3.1. Yalpalama (Roll) Hareketi.....	34
3.3.2. Yunuslama (Pitch) Hareketi	34
3.3.3. Dönme (Yaw) Hareketi.....	35
3.4. Matematiksel Modeli.....	36

BÖLÜM IV

DENEYSEL UÇUŞ VE ANALİZLER

4.1. Hava Şartlarına Bağlı Analizler	39
4.1.1 Sıcak Hava	41
4.1.2 Ilık Hava.....	43
4.1.3 Rüzgârlı Hava.....	44
4.1.4 Yağmurlu Hava	47
4.1.5 Soğuk Hava	48
4.2. SPSS Analizleri	51

BÖLÜM V
BULGULAR VE YORUM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	53
KAYNAKÇA.....	55
EKLER.....	58
ÖZGEÇMİŞ	85



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

w	: Açısal Hız
A	: Akım
B	: Atalet Çevre değeri
I	: Atalet Momenti
a	: Döner Kanadın Ana Merkezinden Motorlara Uzaklığı
$R_m (\gamma)$: Dönme Dönüşümü
m	: Kütle
v	: Lineer Hız
F_1, F_2, F_3, F_4	: Motorların Kaldırma Kuvveti
C_T	: Pervanelerin İtke Faktörü
C_Q	: Pervane Boyutuna Bağlı Dönme Faktörü
J_m	: Rotorun Ataleti
F	: Toplam Kuvvet
τ	: Toplam Tork
V	: Voltaj
β	: Yunuslama Açı Değeri
α	: Yalpalama Açı Değeri
γ	: Dönme Açı Değeri
W	: Watt

KISALTMALAR

AFHDS	: Automatic Frequency Hopping Digital System: Otomatik Frekans Atlamalı Dijital Sistem
DIY	: Do It Yourself: Kendin Yap
DC	: Direct Current: Doğru Akım
ESC	: Electronic Speed Controller: Elektronik Hız Kontrolcüsü
GPS	: Global Positioning System: Küresel Konumlama Sistemi
hPa	: Hektopaskal
IMU	: Inertial Measurement Unit: Atalet Ölçüm Birimi
İHA	: İnsansız Hava Aracı
KV	: Devir Katsayısı
Kt	: Tork Katsayısı
LiPo	: Lityum Polimer
Nicad	: Nikel Kadmiyum
NiMH	: Nikel Metal Hidrit
PID	: Proportional-Integral-Derivative: Oransal-İntegral-Türevsel
RC	: Radyo Controlled: Uzaktan Kumandalı
RF	: Radyo Frekansı
RH	: Rüzgâr Hızı
RORT	: Rotorların Ortalaması
RPM	: Revolution Per Minute: Dakikadaki Devir Sayısı
STM	: STMicroelectronic: Mikroişlemci
SPSS	: Statistical Package For The Social Sciences: Sosyal Bilimler İçin İstatistik Programı
UAV	: Unmanned Aerial Vehicle: İnsansız Hava Aracı
VTOL	: Vertical Take-Off and Landing: Dikey iniş ve kalkış

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1. KK2.0 Kontrol Kartı Teknik Özellikleri.....	18
Tablo 2. Kumandanın Teknik Özellikleri.....	24
Tablo 3. Kumandanın Sistem Menüsü ve İşlevleri	26
Tablo 4. Kumandanın Ayarlar Menüsü ve İşlevleri	26
Tablo 5. iMAX B6 Şarj Aletinin Teknik Özellikleri.....	28
Tablo 6. Arduino Nano Teknik Özellikleri	29
Tablo 7. Modelin Özeti	52
Tablo 8. Modelin Anlamlılığı.....	52
Tablo 9. Modelin Katsayıları.....	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. Breguet-Richet hava aracı	7
Şekil 2. Breguet-Richet hava aracı çizimi.....	7
Şekil 3. De Bothezat hava aracı	8
Şekil 4. Oemnichen hava aracının fotoğrafı	8
Şekil 5. Oemnichen No.2 hava aracının bilgisayar ortamındaki çizimi	9
Şekil 6. Convertawings uçuş sırasında çekilen fotoğrafı.....	10
Şekil 7. Curtis – Wright VZ – 7'nin çekilen bir fotoğrafı	10
Şekil 8. Bell Boeing QuadTiltRotor çizimi	11
Şekil 9. ParrotAR.Drone 2.0.....	12
Şekil 10. STM tabanlı ArduCopter	12
Şekil 11. Platformun tasarımı.....	13
Şekil 12. Üretilen platform	13
Şekil 13. Uçuş kontrol mekanizması	14
Şekil 14. Quadrotor deney düzeneği.....	15
Şekil 15. Bir eksenli deney düzeneği ve deney düzeneğinde kullanılan Quadrotor ..	15
Şekil 16. Bir eksenli deney düzeneği.....	16
Şekil 17. Quadrotor Blok Diyagramı	17
Şekil 18. Çalışmada kullanılan şasi	18
Şekil 19. KK2 Kontrol Kartı.....	19
Şekil 20. Fırçasız Motorun Bağlantısı	20
Şekil 21. Kullanılan Pervaneler	21
Şekil 22. Zarar Gören Pervaneler	21
Şekil 23. Çalışmada Kullanılan ESC	22
Şekil 24. Çalışmada Kullanılan Batarya	24

Şekil 25. Çalışmada Kullanılan Kumanda	24
Şekil 26. Kumandanın Menüleri	25
Şekil 27. Çalışmada Kullanılan Alıcı	27
Şekil 28. Batarya Şarj Cihazı	27
Şekil 29. Arduino Nano	29
Şekil 30. BME280 Basınç Sensörü.....	30
Şekil 31. BME280 Blok Diyagramı.....	30
Şekil 32. Kızıl Ötesi (IR) Sensörün Çalışma Prensibi	31
Şekil 33. SD Kart Modülü	31
Şekil 34. Anemometre Tipleri	32
Şekil 35. Çalışmada Kullanılan Anemometre.....	33
Şekil 36. Pervanelerin Dönüş Yönleri	33
Şekil 37. Yalpalama (Roll) Hareketi.....	34
Şekil 38. Yunuslama (Pitch) Hareketi	35
Şekil 39. Dönme (Yaw) Hareketi	35
Şekil 40. Matematiksel Model Parametreleri	36
Şekil 41. Sensörlerin Programlanması.....	40
Şekil 42. Rotorların Sıralaması	40
Şekil 43. Sıcak Hava Durumu Bilgisi	41
Şekil 44. Ilık Hava Durumu Bilgisi	43
Şekil 45. Rüzgârlı Hava Durumu Bilgisi	45
Şekil 46. Rüzgârlı Havada Yapılan Uçuşta Quadrotor'un Düşme Anı	46
Şekil 47. Yağmurlu Hava Durumu Bilgisi.....	47
Şekil 48. Soğuk Hava Durumu Bilgisi.....	49
Şekil 49. Yedikuyular, Ahır Dağında Gerçekleştirilen Uçuş.....	50

GRAFİK LİSTESİ

Grafik 1. Sıcak Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Ortalama Rüzgâr Hızları	41
Grafik 2. Sıcak Havada Yapılan Uçuşta Rotorların Ortalama Rpm Değerleri	42
Grafik 3. Sıcak Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Batarya Voltajı	42
Grafik 4. Ilık Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Ortalama Rüzgâr Hızları	43
Grafik 5. Ilık Havada Yapılan Uçuşta Rotorların Ortalama Rpm Değerleri	44
Grafik 6. Rüzgârlı Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Ortalama Rüzgâr Hızları	45
Grafik 7. Rüzgârlı Havada Yapılan Uçuşta Rotorların Ortalama Rpm Değerleri	46
Grafik 8. Yağmurlu Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Ortalama Rüzgâr Hızları.....	47
Grafik 9. Yağmurlu Havada Yapılan Uçuşta Rotorların Ortalama Rpm Değerleri..	48
Grafik 10. Soğuk Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Ortalama Rüzgâr Hızları.....	48
Grafik 11. Soğuk Havada Yapılan Uçuşta Rotorların Ortalama Rpm Değerleri.....	49
Grafik 12. Soğuk Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Batarya Voltajı.....	50

BÖLÜM I

GİRİŞ

Son zamanların popüler cihazları haline gelen robotlara duyulan ilgiyle arz ve talep de gün geçtikçe artmaktadır. İş gücü, zaman ve maliyetten tasarruf sağlayan, yaşamı kolaylaştıran bu robotlar; endüstriyel kullanım alanları, çalışma çevresinin fiziki kusurları ve uygun olmayan şartları ile hatalı davranışların tehlike yaratacağı iş ortamı ve koşullarında insan yerine tercih edilmektedir. Günümüzde herkes tarafından bilinen ismi ile Drone (Erkek Arı) da bu bağlamda değerlendirilmektedir. Kuş benzeri yapılandırmalar, tek rotorlu helikopterler, balon yapılar üç eksenle hareketi elde edebilmek için kullanılmaktadır. Küçük ebatlarda olması, dikey iniş kalkış yapabilen döner kanat yapısının bulunması, daha iyi manevra yeteneği, havada asılı durabilme, düşük hızda uçabilmesi gibi birçok avantajı mevcuttur. Farklı rotorlu döner kanatlar daha çok askeri alanlarda kullanılsa da, sivil alanlarda da farklı amaçlar için yatırımlar yapılmaktadır. Bunlardan bazıları; tarım, iletim hatları kontrolü, petrol ve doğalgaz aramaları, topoğrafya, sınır devriyeleri, yangın izleme ve arama-kurtarma faaliyetleri başlıca kullanım alanları arasındadır.

İHA'lar, çapraz biçimde monte edilmiş uçlarında dört tane ve hareketi sağlayan motor bulunan, döner kanatlılardır. Aynı zamanda Quadrotor, Quadcopter, Quadrocopter ve Quadracopter isimleri de verilen dört rotorlu İHA'larda sağ-sol ve ön-arka tarafta olmak üzere dört adet motor bulunmaktadır. Bu motorlara enerji verilmesiyle motorlara bağlı olan pervaneler harekete geçerler. Pervaneler, sağ ve solda saat yönünde, ön ve arkada ise saat yönünün tersi istikametinde dönüş yapmaktadır. Böylece İHA'nın merkezinde oluşan tork pervanelerinin eşit bir şekilde dönmesiyle dengelenir ve yönelme açısı olarak bilinen kendi ekseni çevresindeki dönüş açısı da sabit olarak kalır (Erginer, 2007, s. 1-3).

Yalpalama açısı hızları farklı olan sol ve sağ pervanelerin kaldırma kuvvetlerinde oluşan farktan dolayı değişir. Yunuslama açısı da ön ve arkadaki pervanelerin farklı hızlarda dönmesi durumunda değişir. Quadrotor aynı oranda tüm pervanelerin hızlarının değiştirilmesiyle z-ekseni istikametinde hareket eder.

Quadrotor'un aynı yönde dönen pervane hızlarının, farklı yönde hareket eden iki pervaneye göre değiştirilmesi İHA'nın kendi ekseninde dönüş yapmasını sağlar (Erginer, 2007, s. 1-3).

İHA'lar iskelet sistemine (çerçeve) ek olarak; güç sistemi, motorlar, iletişim sistemi, kameralar, sensörler (ultrasonik sensör, jiroskop, barometre, GPS, ivmeölçer vb.), pervaneler, elektronik hız denetleyicileri gibi kendileri için gerekli donanımsal birimlere sahiptirler. Uçuş esnasında iyi bir biçimde ayarlanmayan uçuş parametreleri istenmeyen kazalara neden olabilmektedir. Ulaşılabilmesi uzun süren ve fazla maliyetli donanımsal birimler kullanıldığından parametre ve denetleyici ayarlarının İHA kullanımında doğru olarak yapılması önemlidir.

Bu çalışmada, parçaları ayrı ayrı birleştirilen Quadrotor'un farklı hava koşullarındaki uçuş parametreleri incelenmiştir. Her bir rotorun deviri, rüzgâra karşı direnci, soğuk ve yağmurlu ortamdaki anlık tepkileri ile Quadrotor'un pil tüketimi sensörler yardımıyla kaydedilerek dış ortamda alınan veriler incelenmiştir.

1.1. Çalışmanın Önemi

Geçmişte askeri amaçla kullanılan İHA'lar gelişen teknolojiyle birlikte sivil kullanıma geçmiştir. Bu gelişmelerle kullanım alanları genişlemiş, boyutları küçülmüş ve birçok araştırmaya konu olmuştur. Aktif olarak farklı hava koşullarında uçabilen dört rotorlu insansız hava aracının bulunmaması, yapılan araştırmaların teorik bulguları ortaya koyması ve çoğu araştırmacının sistemin yazılımsal gelişimi üzerinde durması sebebiyle farklı hava koşullarında saha uçuşlarının yapılmasının önemi tespit edilmiştir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Quadrotorlar ile ilgili yapılan çalışmaların büyük bölümünü laboratuvar ortamındaki benzetimler ve kontrolcü algoritmaları oluşturmaktadır. Bu gözlemden yola çıkarak değişken hava koşullarındaki deneysel analizi yapılmıştır. Buna göre Quadrotor'un her bir motorunun deviri ve batarya güç tüketimi karşılaştırmalı hava koşullarınca incelenmiştir.

1.3. Çalışmanın Yöntemi ve Sınırlılıkları

Çalışmada kullanılan Quadrotor'un sistemine harici eklenen Arduino Nano (mini elektronik programlama kartı), sıcaklık sensörü, basınç sensörü, sistemden alınacak verilerin kayıt edileceği hafıza kartı modülü, pil doluluk göstergesi, IR (Kızılötesi) optik sensör ve rüzgâr ölçer (Anemometre) kullanılarak uçuş gerçekleştirilmiştir. Arduino Nano ile diğer sensörler arasındaki bağlantılar programlanarak okunan veriler anlık olarak hafıza kartına kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler daha sonra analiz edilerek karşılaştırmalı grafiklerle incelenmiştir.

Çalışmanın uygulama aşamasında Kahramanmaraş ilinde bulunan Ahır Dağı'nın doğu kısmında yer alan Yedikuyular Kayak Merkezi ve Osmaniye ili Merkez ilçesine bağlı Fakıuşağı Mahallesi'nde saha uçuşları gerçekleştirilmiştir. Uçuşlar; soğuk ve yüksek rakımlı, hafif yağmurlu, hafif ve orta şiddetli rüzgârlı, ılık ve sıcak hava koşullarında yapılmıştır.

Çalışma sınırlılıkları bakımından,

- Kullanılan bileşenlerin diğer İHA'lar için farklılık gösterebilecek olması
 - Elektronik sensörlerin profesyonel düzeyde olmaması
 - Belirlenen bölgelerde ve hava koşullarında analiz yapılabilmesi
 - Bazı hava şartlarının bölge açısından oluşmaması
- şeklinde sıralanabilir.

1.4. Çalışmanın Bölümleri

Bu çalışma 5 ana bölümden oluşmaktadır. Bölümler sırasıyla: giriş, insansız hava araçları, Quadrotor'un bileşenleri ve çalışma prensibi, deneysel uçuş ve analizler ile sonuç bölümleridir. Çalışmanın birinci bölümü giriş olup, bu bölümde, çalışmanın önemi, amacı, yöntem ve sınırlılıkları ile bölümleri hakkında bilgilere değinilmiştir.

İkinci bölümde, İHA'ların tanımı, kavramı, temel özellikleri, gelişimi ve genişleyen kullanım alanlarına değinilmiştir.

Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan Quadrotor'un bileşenleri ile uçuş prensipleri ve matematiksel ifadelerine değinilmiştir.

Çalışmanın yöntemine ilişkin detayların yer aldığı dördüncü bölümde, deneye konu olan Quadrotor'un, farklı hava koşullarında toplanan uçuş parametrelerine yönelik grafiksel karşılaştırmalara yer verilmiştir. En son aşamada faydalı olabilecek tespitlerde bulunulmuş, öneriler yapılmıştır.



BÖLÜM II

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

2.1. Tarihçe

İHA'lar bir müdahaleye ihtiyaç duymadan otonom olarak veya yer istasyonundan gönderilen RF (Radyo Frekansı) sinyalleriyle ve donanımındaki kendi denetleyicileriyle yönlendirilebilen uçan makineler/robotlar olarak tanımlanabilir (Baran, vd., 2008). İHA'lar farklı ihtiyaçlara cevap verebilmektedir. Kullanıldığı alana göre birçok farklı model İHA üretilmiştir. Modellemelerin çeşitliliğindeki temel sebep ise maliyet ve ihtiyaçlardır.

Taylor (1977), İHA'larla alakalı ilk denemelerin 1916 yılında A. M. Low tarafından denendiğini söyler. 1935 yılında ise Reginald Deny daha önce yapılmayan uzaktan kontrollü İHA'yı geliştirmiştir. 1951'de Teledyne Ryan şirketi ilk jet motorlu modeli geliştirmiştir. 1955 senesinde Beechcraft şirketi "Model 1001" adındaki prototipi ABD'nin deniz kuvvetleri kullanım alanına yönelik geliştirmiştir. 1960'a kadar geliştirilen modeller, günümüz İHA tanımını karşılamayıp, uzaktan kontrol edilen uçan çeşitli araçlardan ileriye gidememiştir.

Günümüz İHA'larına olan talebin artmasının temelinde 1980 ve 1990'lı yıllar arasında gerçekleştirilen çalışmalar yatmaktadır. Birkaç yıl öncesine kadar çoğunlukla askeri amaçlı kullanılabilen İHA'lar, teknolojinin ilerlemesi ile uzaktan kontrolün pratikleşmesi, üretim giderlerini azaltmıştır. Bu gelişen teknoloji ile birlikte İHA'lar daha hafif malzemelerden üreilmeye başlamış ve ulaşılabilirliği kolaylaşmıştır. Özellikle doğal afetlerin olumsuz sonuçlarının tespitinde, arama kurtarma faaliyetlerinde, sınır kontrolü, şehir yapılanması, tarım arazilerinde yangın gibi olumsuz durumlara karşı havadan takip edebilme, sanatsal çalışmalar için video kaydı, fotoğraf çekimi gibi çeşitli kullanım aralığına olanak sağlamıştır.

Bu kısımda geçmişte yapılan önemli İHA çalışmalarının ayrıntılarına ve bu İHA'larla yapılmış test uçuşlarının derlemesine yer verilmiştir.

2.2. Geçmişte Yapılan İHA Tasarımları

Dört pervaneli uçan araçlar 2000’li yılların başından günümüz tarihine kadar oldukça popüler olmuştur. Bu tarihlerde tasarımlar insanlı ve insansız olarak yapılmıştır. Aracın kontrolü için teknolojik yetersizlik insansız bir tasarıma yönelmeyi engellemiştir. Teknoloji ile birlikte elektronik çalışmaların ilerlemesi sayesinde döner pervaneli araçların ebatları da kısalmıştır.

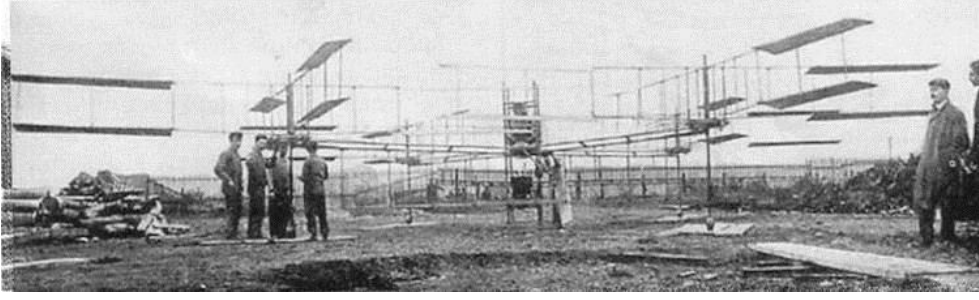
2.2.1. Breguet Richet hava aracı

Uttley’e (2012) göre Charles Richet, 20.yy’ın başlarında tasarımsal olarak küçük sayılabilecek bir insansız helikopter yaptı. Bu çalışma başarısız olmasına rağmen Richet’in bir öğrencisi havacılığın önemli ve öncü bir ismi olan Louis Breguet’e ilham olmuştur.

Aviastar’a (t.y.) göre, Profesör Richet öncülüğünde, Fransız teknisyen Louis Breguet ve kardeşi Jacques Breguet ile birlikte helikopter çalışmalarını yürütmüştür.

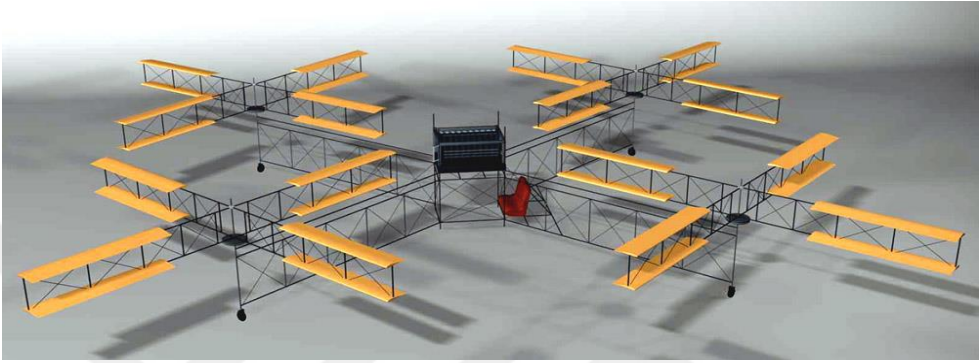
Breguet kardeşler ilk defa insan taşıyabilen bir helikopter ürettiler. Dört rotorlu bu aracı Breguet-Richet Gyroplane No.1 olarak adlandırılmıştır. Tasarımda denge problemleri dikkate alınmıştır. Fakat asıl amacı helikopterin ve pilotun ağırlığını havalandırmaktı.

Breguet-Richet kardeşlerin helikopteri dört tane uzun kirişten oluşmaktadır. Çapraz konumlandırılan yatay kirişlerin malzemesi çelik olup boru şeklinde imal edilmiş ve kaynak ile tutturulmuştur. Rotorların her biri dört tane hafif olan özel bir kumaş ile çift taraflı olarak oluşturulmuştur. Kiriş uçlarına rotorlar konumlandırılmıştı. Karşı karşıya olan döner kanatlar aynı yönde, diğer iki döner kanatlar ters yönde dönmesi sayesinde araca tork etkisi yok edilebilmekteydi. Pilot, helikopterin ortasında ve ateşlemeli sekiz silindirli motorun alt kısmında aracı kontrol etmekteydi. Motorun gücü 40 beygir olup, rotorlar basit yapıya kayışlar ve kasnaklar yardımıyla sürmekteydi. (Aviastar, t.y.). Şekil 1 ve Şekil 2’de hava aracı gösterilmiştir.



Şekil 1. Breguet-Richet hava aracı

Kaynak: Aviastar, t.y.



Şekil 2. Breguet-Richet hava aracı çizimi

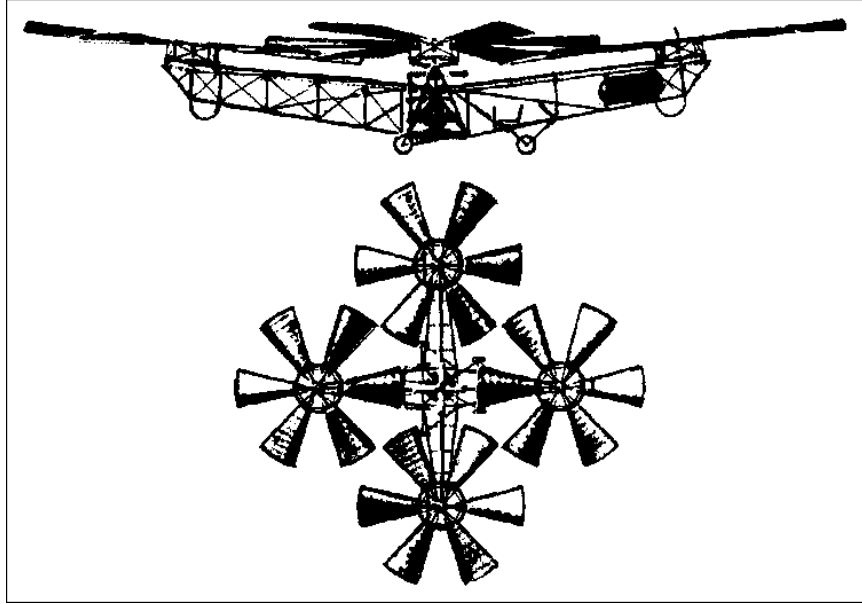
Kaynak: Aviastar, t.y.

2.2.2. De Bothezat hava aracı

Leishman'a (2006) göre, Dr. George de Bothezat ve Ivan Jerome dikey iniş kalkış yapabilen bir aracı üretmek için 1922'de ABD hava kuvvetleri desteği ile üretilmiştir. Şekil 3'de tepeden ve profilden çizimi verilen Bothezat hava aracı, 1678 kg ağırlığında, paçarız bir yapıdan oluşuyordu. Dört kollu hava aracının kollarının her biri 9 metre ve uçlarında 8.1 metrelik altı kanatlı dört rotor bulunmaktaydı.

Yanal kolların sonundaki değişken açılı iki adet ufak pervane itme ve sapma açısını kontrol ediyordu. Her bir pervanenin eğilme açıları kontrol edilerek pervanelerin farklı itme kuvveti oluşturularak aracın hareketi sağlanıyordu.

Üç yolcu ile gerçekleştirilen 100 denemenin ardından son uçuşunu 1923'de yapan hava aracı yerden 100 metre yükselmesi gerekirken, en fazla 5 metre yükselebilmisti.

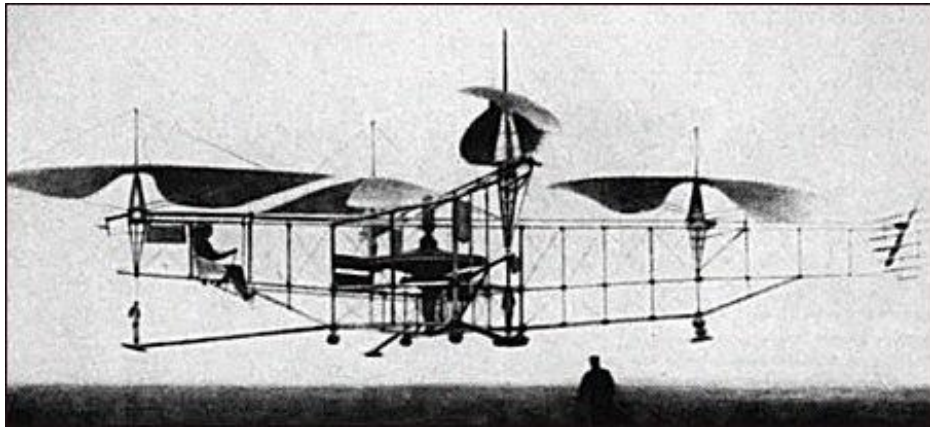


Şekil 3. De Bothezat hava aracı

Kaynak: Aviastar, t.y.

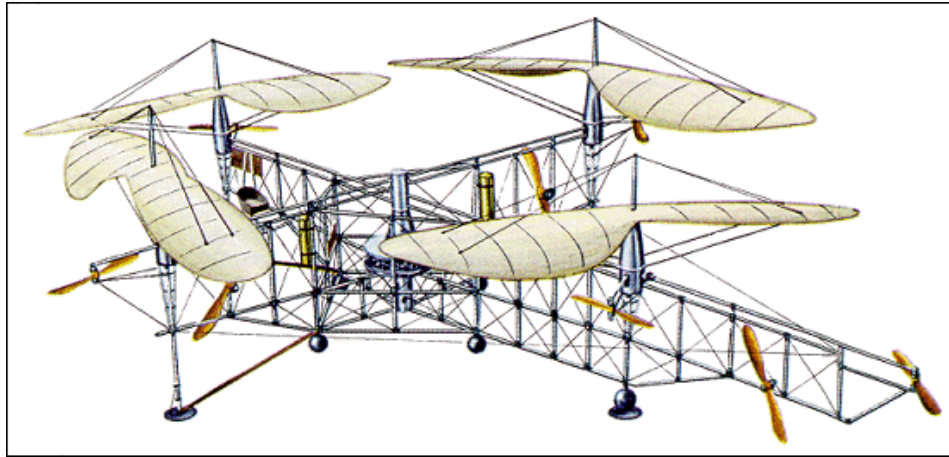
2.2.3. Oemnichen hava aracı

Bryan'a (2019) göre, Etienne Oemnichen'de altı farklı VTOL (Vertical Take-Off and Landing) döner kanatlı araç planlamıştı. En çok bilineni, Oemnichen No.2 adındaki döner kanatlıydı. 4 rotor ve 8 pervanesi bulunan döner kanatın çapraz şeklinde çelik bir iskeleti üzerindeki kanatlar eğilerek açısı değiştirilebiliyordu. Burun kısmında ise başka bir pervane ile yönlendiriliyordu. İki pervane de itme görevini yerine getiriyordu. Şekil 4 ve Şekil 5'de Oemnichen No.2'nin 4 rotoru ve 8 pervanesinin konumu gösterilmiştir.



Şekil 4. Oemnichen hava aracının fotoğrafı

Kaynak: Bryan, 2019



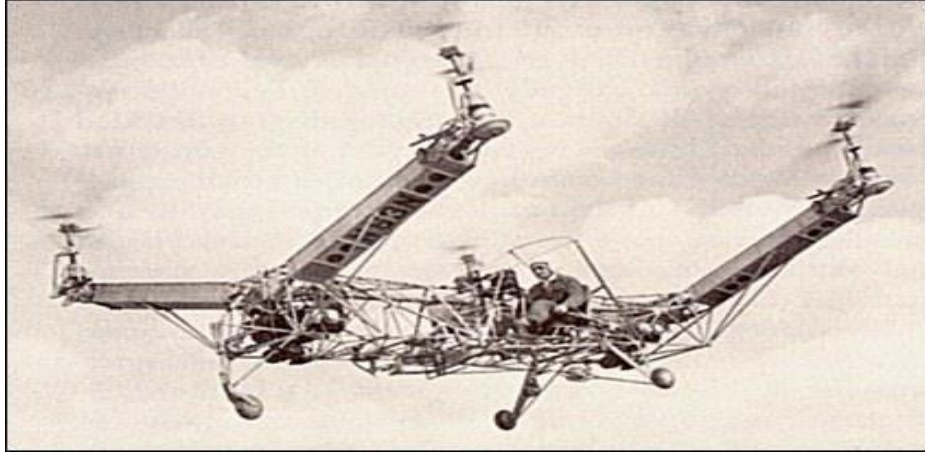
Şekil 5. Oemnichen No.2 hava aracının bilgisayar ortamındaki çizimi

Kaynak: Bryan, 2019

2.2.4. Convertawings Model A

Convertawings, Oemnichen tarafından denenilen ve 1923’de son uçuşunu yapan Bothezat hava araçlarının dört pervane kavramını incelendi. Convertawings çalışmalarının neticesine 1955’de ilk modeli ortaya koyarak uçuşunu başarıyla gerçekleştirdi (Aviastar, t.y.).

Convertawings’in tasarladığı hava aracında bulunan dört pervane, gövdeyi oluşturan iskeletin yanlarından uzanan kolların bitimine yerleştirildi. Hava aracını kontrol eden mekanizma sadeleştirildi. Güç ise çoklu v-kayış sistemiyle rotorlara ileterek elde edilmişti. Şekil 6’da görüleceği gibi kontrol için kuyruk motoru kullanılmamıştı bunun yerine motorların itme gücünden faydalanılmıştı. 3 adet tekerleği olan hava aracının ön tekerlekleri sağ-sol hareketleri yapabiliyordu. 1950’lerin ortasında çok kez başarılı uçuşlar yapmıştı. Ayrıca, ileri uçuş yapabilen ilk dört rotorlu hava aracıdır. Talebin az olması nedeniyle proje sonlandırılmıştır. Fakat gerek tasarımı gerekse kontrol sistemi bakımında kendisinden sonra gelecek olan VTOL araçlarının öncüsü olmuştur.

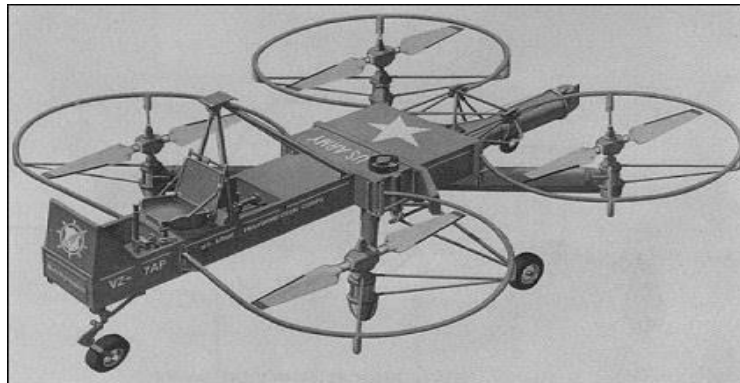


Şekil 6. Convertawings uçuş sırasında çekilen fotoğrafı

Kaynak: Aviastar, t.y.

2.2.5. Curtiss – Wright VZ-7

Curtiss – Wright VZ-7 Amerikan ordusunun uçan nakliye taşıtı isteğiyle bu ihtiyacına yönelik geliştirilen bir VTOL görev aracı olarak tasarlanmıştır. Şekil 7’de görüldüğü gibi dikdörtgen görüntüsünü almasını sağlayan dört pervanenin kare şeklinde yerleştirilmesiydi. Dikdörtgen iskeletin merkezinde ise pilotun koltuğu, kontrol sistemleri, mahruk ve yağ deposunu ve hava aracının tek türbin motorunu taşımaktaydı. VZ-7’nin kontrolü için basit bir sistem kullanılmıştı. Bu sistem temelde, her bir pervanenin itiş kuvveti ilerleme hareketlerini murakabe etmiş, hava aracının arka kısmına konumlandırılan hareketli kanatlarla yönelme açıları verilmişti ve bu sayede denge sorunu da ortadan kaldırılmıştı.



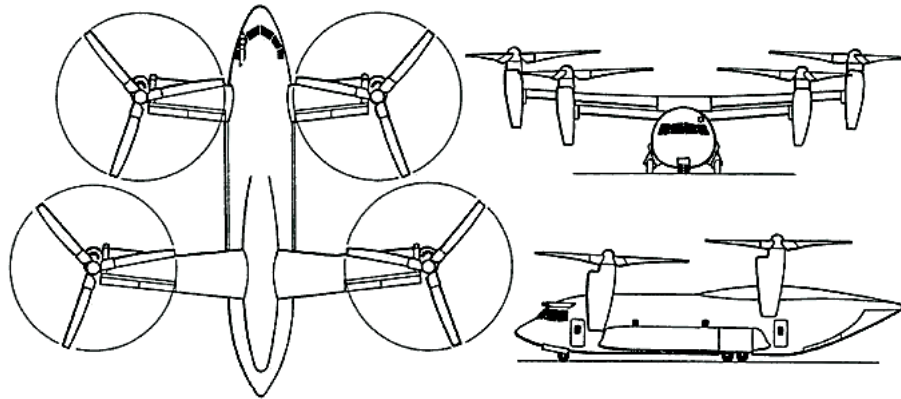
Şekil 7. Curtiss – Wright VZ – 7’nin çekilen bir fotoğrafı

Kaynak: Aviastar, t.y.

2.3. Günümüzde Yaygın Kullanılan Döner Kanat İHA'lar

Günümüzde yapılan çalışmalarda hava araçlarındaki havada sabit kalabilme ve manevra kabiliyetine ihtiyaç duyulmuştur. Dört motorlu tasarım, bu manevra kabiliyetinin fazla güvenilir ve basit olmasına olanak sağlamaktadır. Çevre araştırmaları, İHA'ların çoklu araç iletişimi ve manevra kabiliyeti gibi geliştirmeleri son teknoloji araştırmaları uygulanabilir hale getirmiştir. Gelişen bu teknolojilerin farklı disiplinlerle birleştirilmesi yapılabilirse, başka araçlar tarafından yapılamayan gelişmiş otonom görevleri İHA'larla gerçekleştirebilecektir.

- Bell Boeing QuadTiltRotor Şekil 8'de gösterilmiştir. Bell Boeing QuadTiltRotor C130 boyutunda yapıyı tiltrotolarla birleştirilen sabit dört rotorlu döner kanat ile ileriye götürmektedir.
- AeroQuad ve ArduCopter, Arduino ve STM tabanlı DIY döner kanat açık kaynaklı yazılım ve donanımı bulunan İHA projesidir. AeroQuad bu döner kanatlı İHA'lardan olup Şekil 9'da gösterilmiştir.
- Kontrolü tablet veya akıllı telefonlarla sağlanabilmesi için tasarlanan küçük bir RC insansız hava aracı olan ParrotAR.Drone 2.0'ın üstünde bulunan kameralar Parrot SA tarafından üretilmiştir (Fan & Aramrattana, 2013, s. 11-12). Bu döner kanatlı İHA Şekil 10'da gösterilmiştir.



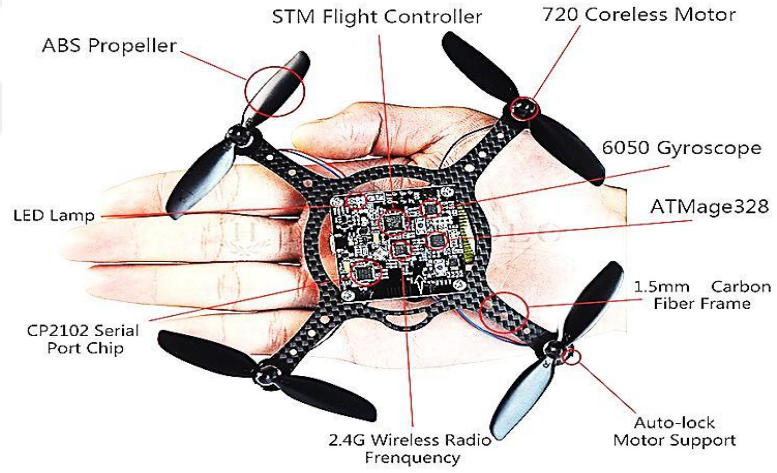
Şekil 8. Bell Boeing QuadTiltRotor çizimi

Kaynak: Aviastar, t.y.



Şekil 9. ParrotAR.Drone 2.0

Kaynak: Fan & Aramrattana, 2013



Şekil 10. STM tabanlı ArduCopter

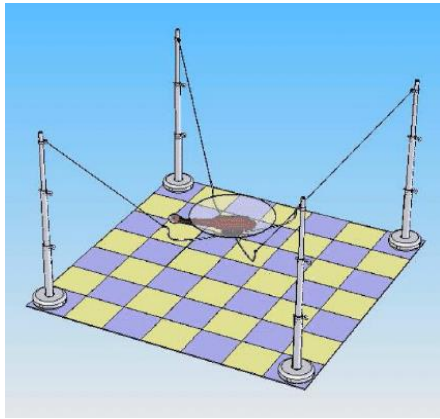
Kaynak: Leishman, 2006

2.4. Literatür Özeti

İnsansız dört rotorlu hava aracı, döner kanatlı ve dört rotorlu İHA'dır. Hata payı olan sensör verileri, hava koşulları, kontrol edilmesi gereken motor sayısının birden fazla olması, yüksek doğrulukla hesaplanamayan açı parametreleri gibi kontrolü güçleştiren bazı etkenler bulunmaktadır. Bundan dolayı otonom bir şekilde çalıştırılması için dört rotorlu İHA'ların birtakım testlere tabi tutulması gerekmektedir. Farklı test düzenekleri, bu sistemleri geliştirmek için gereken süreyi azaltmak, gerekli parametrelerin ayarlarının sorunsuz olmasını sağlamak, test yapımı aşamasında doğabilecek güvenlik ve hasar problemlerini aşabilmek için hazırlanmaktadır (Fernando, vd., 2013, s. 207-212; Jaehong, vd., 2005, s. 2426-2431; Bouabdallah, vd., 2005, s. 2247-2252; 2007).

Örnek çalışmalar çeşitli test düzenekleriyle gerçekleştirilmiş olup literatürde bulunmaktadır. Aşağıda bazıları yer almaktadır;

1. Kontrol algoritmalarının ölçülebileceği bir düzeneğin üretim ve tasarımı Sabancı Üniversitesi bir İHA için yapmıştır. Şekil 11 ve Şekil 12'de gösterilen fotoğraflar bilgisayar çizimi ve geliştirilen test mekanizmasına aittir. (Baran, 2008). Bilyeli mafsal asılı bir şekilde duran yüksek gerilmeye dayanıklı misinalarla 6 serbestlik (3 yönelim ve 3 pozisyon kordinatı) derecesini İHA'ya sağlayan bir test düzeneği oluşturulmuştur.



Şekil 11. Platformun tasarımı

Kaynak: Baran, 2008



Şekil 12. Üretilen platform

Kaynak: Baran, 2008

2. Alüminyum 6067 mekanik yapı malzemesi olarak; kararlı, hafif ve geliştirebilir mekatronik sisteme uygun altyapılı test düzeneği yapılabilmesi ve deneysel çalışmaya elverişli mekanik sistem olabilmesi adına YTÜ (Yıldız Teknik Üniversitesi) ve GYTE (Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü) tarafından hazırlanmış olan test düzeneği için seçilmiştir. Birbirine kardan kavramalı mafsalla bağlanan iki adet sırasıyla 20 ve 30 cm'lik (teflon malzeme) test düzeneğine yataklanmıştır. Hareketli teflon borular ayakları yere sabit monte edilen yataklarda, rulman üzerinden ve öteki sistemde olan kardan kavramalı mafsal dört rotorlu hava aracına bağlanmıştır. Mekanik kilitlenebilen serbestlik dereceleri değişik kontrol algoritmalarının deney düzeneğinde uygulanabilmesi adına sağlanmıştır. Şekil 13'deki sistemde sadece yalpalama kontrolleri /yunuslama, sadece yükselme ve sadece saptama kontrolleri yapılabilmektedir. (Ömürlü, 2011, s. 891-899).



Şekil 13. Uçuş kontrol mekanizması

Kaynak: Ömürlü, 2011

3. Yapay sinir ağlarıyla hazırlanan PID (Proportional-Integral-Derivative.) ile saptama, sadece yalpalama, yunuslama hareketleri için gerçek zamanlı gerçekleştirilen kontrol düzeneği Hava Harp Okulu tarafından yapılmıştır. (Albayrak & Arısoy, 2013, s. 1-7). Bu düzenek Şekil 14'de yer almaktadır.



Şekil 14. Quadrotor deney düzeneği

Kaynak: Albayrak & Arısoy, 2013

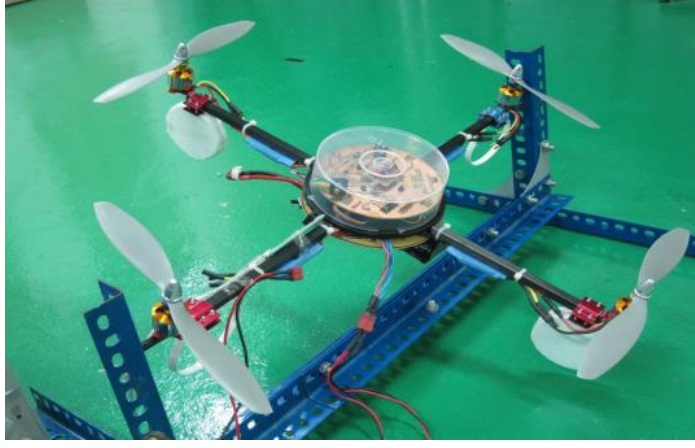
4. Gronka ve arkadaşlarının IMU (inertial measurement unit) sensörüyle gelmiş olan veriler ile döner kanat üzerinde eksenlerin koordinat düzlemi bilgileriyle Şekil 15'deki dört rotorlu tam otonom iç mekânlarda çalışan İHA karşılaştırılması yapılmıştır. (Grzonka, 2011, s. 90-100).



Şekil 15. Bir eksenli deney düzeneği ve deney düzeneğinde kullanılan Quadrotor

Kaynak: Grzonka, 2011

5. Uygulama adına en uygun PID denetleyicisi tasarımı Şekil 16'da Azfar ve arkadaşlarının kontrol düzeneğinde IMU sensörüyle yaptıkları tek eksen için İHA çalışmalarında gerçekleştirmiş oldukları testlerde yapılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında hazırlanan test düzeneği ise İHA'nın yunuslama manevralarını, yalpalama ve dönme hareketini olduğundan fazla kısıtlamıştır.



Şekil 16. Bir eksenli deney düzeneği

Kaynak: Azfar & Hazry, 2011

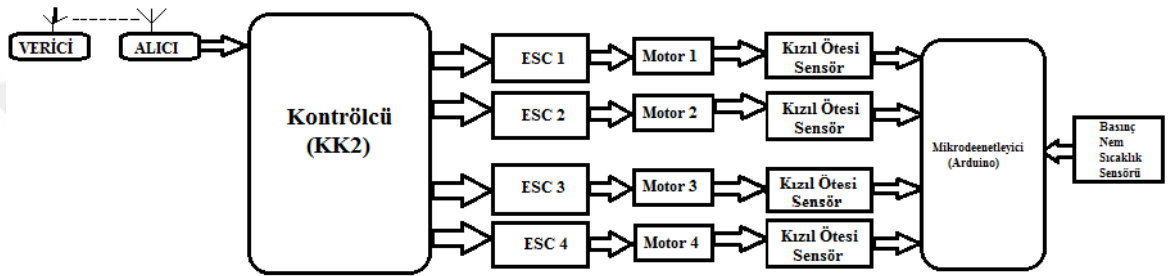


BÖLÜM III

QUADROTOR

3.1. Quadrotor Bileşenleri

Bu bölümde çalışmada kullanılan Quadrotor'un bileşenleri ve bu bileşenlerin özellikleri anlatılmıştır. Blok diyagramı Şekil 17'deki gibidir.



Şekil 17. Quadrotor Blok Diyagramı

Quadrotor'u fiziksel olarak bir araya getiren temel ve yardımcı bileşenler şunlardır:

- Şasi
- Kontrol Kartı
- Motor
- Pervane
- Motor Sürücü (ESC)
- Batarya (LiPo)
- Kumanda (Alıcı-Verici)
- Şarj Aleti

3.1.1. Şasi

Quadrotor'un şasi için maliyet ve piyasada kolay bulunabilir olmasından dolayı dört kollu DJI F450 modeli tercih edilmiştir. Çerçeve 450mm uzunluğunda ve yaklaşık 282g ağırlığındadır. Şekil 18'de çalışmada kullanılan şasi gösterilmiştir.



Şekil 18. Çalışmada kullanılan şasi

Aracın uçabilmesine imkân sağlayacak bileşenler insansız hava aracının kurulan ana çerçevesinden sonra eklenmiştir.

3.1.2. Kontrol Kartı

Quadrotor'un en önemli bileşenlerinden birisi de aracın beyni diyebileceğimiz tüm sistemi kontrol eden elektronik karttır. Çalışmada, düşük maliyeti ve görece kullanım kolaylığı bakımından Şekil 19'da gösterilen KK2.0 kontrol kartı tercih edilmiştir. Kartın teknik özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1

KK2.0 Kontrol Kartı Teknik Özellikleri

Çalışma Voltaj Aralığı	DC 4.8~6.0 Volt
Mikroçip	Atmega324 PA
İvme Sensörü	MPU6050
Sinyal Aralığı	1520us
Ağırlık	21g
Boyutlar	50.5x50.5x12mm

Kaynak: KK2.0 Datasheet



Şekil 19. KK2 Kontrol Kartı

3.1.3. Motor

DC (Doğru Akım) elektrik motorları içlerinde bulunan sargılar ve mıknatıslarla manyetik alan oluşturarak mekanik enerji üretirler. DC elektrikli motorlar, fırçalı ve fırçasız olarak ikiye ayrılırlar. Fırçasız motorlarda sargılar sabitken mıknatıslar hareketlidir ve içerisinde elektronik sensörler bulunur. Fırçalı motorlardaysa mıknatıslar sabitken sargılar dönmektedir ve içerisinde mekanik aksam bulunur. Fırçasız motorlar daha az ısınır, aşınır ve sürtünmeden dolayı yaşadığı kayıplar daha azdır bu sebeple verim kayıpları da düşük olur. Bu avantajlarından dolayı RC araçlar için en çok tercih edilen motorlardır.

Fırçasız motorlar, ESC (Elektronik Hız Denetleyicisi) ile kontrol edilirler ve doğrudan güç kaynağına bağlanarak çalıştırılması mümkün değildir. Doğrudan bağlanması halinde motor kullanılamaz duruma gelecektir. Fırçasız motorlar, hareketli iç kısım ve hareketli dış kısım olarak iki tiptedirler. İç kısımları hareketli motorlarda, sargılar dışıdır ve dış kısım sabit iken rotor dönmektedir. Dış kısımları hareketli motorlar ise merkezde bulunan sargılar ve rotor sabit, dış kısım hareketlidir. Çoğunlukla Döner kanatlı İHA'lar da dış kısımları hareketli fırçasız motorlar kullanılmaktadır.

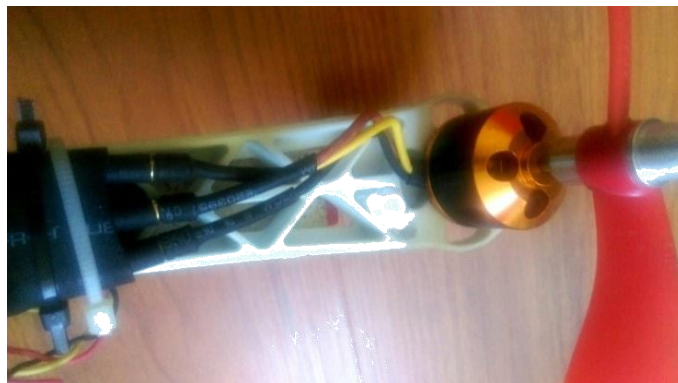
Motor seçiminde bize yardımcı olması için temel elektronik bilgisinin olması gerekir. Motor üzerinde yer alan ifadeleri okuyabilmek, motor seçimi yaparken yardımcı olacaktır. RC araçlarda kullanılan motorların özellikleri genellikle LiPo (Lityum-Polimer) bataryaların hücre sayısına belirtilir. Motor üzerinde belirtilen V (Volt) değeri de bu hücre sayısına göre belirlenir. Motorun üzerinde yer alan diğer bir ifade ise A (Amper) değeridir. Bu değer, motorun yükte çekeceği akımın birim zamandaki miktarını gösterir. Bu iki değere göre de ESC ve

batarya seçimi yapılır. Diğer bir parametre ise motorun pervaneyi döndürmesi için gereken gücü gösteren W (Watt) değeridir. W değerini hesaplamak için, $P=VI$ eşitliği kullanılır. Bu eşitlikte; P değeri güç, V değeri voltaj, I değeri de amperi ifade eder.

Fırçasız motorların üzerinde yer alan KV (Devir Katsayısı) değeri ise voltaj başına dakikadaki devir sayısını temsil eder. Dakikadaki devir sayısı RPM (Revolution Per Minute) olarak ifade edilir. RPM hesaplamak için, motorun KV değeri ile bataryanın voltaj değerini çarparak dakikadaki devir sayısını hesaplamış oluruz.

KT (Tork Katsayısı) ise motor torkunu ifade eden değerdir. Bu değer motorun amper başına üreteceği torku belirtir. Fırçasız DC motorlarda ifade edilen tork aslında motorun taşıyabildiği yük miktarını gösterir. Quadrotor'lar için sistemin ağırlığı önemlidir. Bu ağırlığı ne tür bir motorun taşıyacağını KT değerini hesaplayarak bulabiliriz. KT değeri ile KV değeri ters orantılıdır. Motorun dakikadaki devir sayısı arttıkça torku artmaz, tam aksine düşer. Bu durumdan dolayı yüksek KV değerlerine sahip motorlarda torku artırmak için pervanelerin boyutları değiştirilir veya ekstra dişli mekanizmalar kullanılır (Göl, 2005, s. 16-17).

Çalışmada kullanılan Quadrotor'a dört motor Şekil 20'de gösterildiği gibi konumlandırıldı.



Şekil 20. Fırçasız Motorun Bağlantısı

3.1.4. Pervane

Pervane boyutu, motor hız/gücü ve hatvesi gibi konular birbirine bağlantılıdır. Z eksenindeki sürüklenmeyi zıt yönlere dönen ikişerli takım halinde olan motorlar önlemektedir. Buna göre seçilen pervanelerin ikisi sola ikisi sağa dönüş yapacak bir biçimde ayarlanır. Piyasada pervaneler CW&CCW olarak satılır. Pervanelerin ve motorların dönüş yönleri ABCD şeklinde adlandırılırsa,

- A: Saatin dönüş yönüne (CW)
- B: Saatin dönüş yönünün zıddına (CCW)
- C: Saatin dönüş yönüne (CW)
- D: Saatin dönüş yönünün zıddına (CCW)

dönmektedir. Şekil 21’de çalışmada kullanılmış olan pervaneler gösterilmiştir. Quadrotor üzerinde kullanılan DJI 10.45 pervaneler, agresif uçuşa ve gelebilecek darbelere dayanıklı değildir. Şekil 22’de darbeye dayalı zarar gören pervaneler gösterilmiştir.



Şekil 21. Kullanılan Pervaneler



Şekil 22. Zarar Gören Pervaneler

3.1.5. Motor Sürücü (ESC)

Kelime anlamı olarak Elektronik Hız Denetleyicisi (Electronic Speed Controller) olan ESC, alıcıdan aldığı komutlara göre motorun ihtiyaç duyduğu gücü ayarlayan bileşendir. Tüm elektrikli RC modellerinde kullanılır. Fırçalı ve fırçasız modelleri de bulunan ESC’ler, kullanılacak motorun özelliklerine göre farklılık gösterirler.

RC araçlarda kullanılan DC fırçasız motorlar, terminolojik olarak “Tri Faze” denilen 3 fazlı motorlardır. ESC’ler bataryadan aldıkları enerjiyle motoru sürerler. ESC’nin üzerindeki kabloların anot ve katot ucu bataryaya bağlanırken

diğer 3 ucu faz olarak ayrılır. Uçlarında soket bulunan kablolar ise kontrol kartına bağlanarak ESC'nin Quadrotor ile iletişimi sağlanmış olur. Faz kabloları, kontrol kartından gelen verilere göre motorun saat yönünde veya tam aksinde dönmesini sağlayan, motorun ihtiyacına göre bataryadan çekilecek akımın motora iletiildiği kablolardır. Üç kablodan herhangi ikisinin bağlantısını değiştirerek motorun dönüş yönü ayarlanmış olur.

ESC seçilirken kullanılacak motor ve bataryaya göre seçilmelidir. Genellikle Li-Po piller kullanıldığından hücre sayıları ve verebilecekleri maksimum güçleri önemlidir. Örneğin; 3 hücreli LiPo pillerin her hücresi 3.70 volt ve dolu halleri 4.20 volt olduğundan, bazı ESC'lerde voltaj bilgisi yazarken bazılarında ise hücre sayısı yazar. Araçta kullanılacak bataryaya göre bu değerlerin dışına çıkılmadan tercih yapılır (Sözmen, 2010).

Şekil 23'de, bu çalışmada kullanılan ESC gösterilmiştir. İskelet üzerine plastik kelepçe ile sabitlenen ESC'nin 3 kablosu istenilen dönüş yönüne uygun şekilde motora, iki kablosu bataryaya, ucunda soket bulunan kablolar ise kontrol kartına bağlanmıştır.



Şekil 23. Çalışmada Kullanılan ESC

3.1.6. Batarya (LiPo)

Lityum Polymer (LiPo) bataryalar genellikle robotlarda kullanılan ve şarj edilebilen pillerdir. Nikel Cadmium (Nicaid) veya Nikel Metal Hidrit (NiMH) bataryalardan ziyade RC LiPo'ların uçak ve helikopterler için tercih edilmesinin üç temel sebebi bulunmaktadır.

- RC LiPo pillerin ağır olmayan ve tercih edilen biçim ve ebatta üretilebilir.
- RC LiPo pillerin kapasitesi oldukça fazladır. Ufak ebatta olmasına karşın gücü yükündür.
- RC LiPo pillerin gereksinim olduğunda hızlı bir şekilde deşarj olabilir.

RC modelleri için bunun gibi özellikler önemlidir fakat uçan robotlar için daha önemlidir. Her ne kadar pozitif özellikler barındırsa da dezavantajları da bulunmaktadır. LiPo pillerin dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz;

- Maliyet olarak NiMH ve NiCad ile kıyaslandığında Li-Po piller pahalıdır.
- Uygun bir şekilde kullanıldığında 1000 kez şarj-deşarj kadar kullanım ömrü bulunur fakat kurallara uygun kullanılmazsa 300-400 şarj-deşarj ile ömrü biter. Geliştirilmesine rağmen ömrü uzun değildir.
- LiPo'ların saklama şekilleri önemlidir. Her hücre 3.7volt olduğundan uzun süre kullanılmayacaksa 3.80voltta bekletilmesi gerekir. Şarj işlemi bu piller için uygun cihazlarla balanslı yapılmalıdır.
- Dikkatli kullanılmazsa hücreler arası iletişim bozulabilir ve yüksek oranda yanıcı özelliği bulunduğu için alev alabilir.
- LiPo'lar için özel üretilen yanmaz saklama çantalarında saklanması önerilir.

LiPo'lar plastik malzemeden üretilen film içinde polimer ayraç kullanır. Li-Po'un katot ve anotlarının arasında bu ayraç bulunmaktadır. Bununla farklı biçimlerde oldukça ince hücre yapımına zemin hazırlar. Lityum İyon değişiminin yavaş olması bataryanın şarj vedeşarj sürelerini uzattığından LiPo hücre yapısındaki temel sorunlardan biridir. Bu sorun aşılınca güvenlik sorunları da ortadan kalkacaktır. Oldukça hafif güvenli ve kuru LiPo pillerin üretimi, uçan robotlar ve elektrikli araçların teknolojik gelişimleri ile hız kazanacağı öngörülmektedir. Bu piller teorikte hemen hemen kumaş kadar esnek ve kullanım açısından daha avantajlı olacaktır.

Şekil 24'de bu çalışma için kullanılmış olan LiPo piller gösterilmiştir. Quadrotror'un iskeletine sağlam bir şekilde sabitlenmesi önemlidir. Bu sebeple çalışmada kullanılan Quadrotror'a oluşabilecek kazalarda ve manevralarda düşmeyecek bir biçimde bağlanması sağlanmıştır. Şekil 24'de LiPo Quadrotror'un ortasına sabitlenerek denge gözetilmiş ve herhangi bir kaza anında LiPo'nun zarar görmesi durumunda delinme sonucu oksijen teması ile yanma veya patlama riski oluşturmasının önüne geçilmiştir.



Şekil 24. Çalışmada Kullanılan Batarya

3.1.7. Kumanda (Alıcı-Verici)

Flysky FS-TH9X 9 kanallı, 2.4 Ghz frekans bandında yayın yapan ve Flysky firması tarafından FS-TH9X model ismiyle üretilmiş bir kumandadır. Çalışmada kullanılan kumanda Şekil 25’de teknik özellikleri ise Tablo 2’de gösterilmiştir.



Şekil 25.Çalışmada Kullanılan Kumanda

Teknik Özellikleri

Tablo 2

Kumandanın Teknik Özellikleri

Giriş voltajı	12VDC
Kanal Sayısı	9 Kanal
Desteklediği Araçlar	Helikopter, Uçak, Planör, Araba, Tekne
Frekans Aralığı	2.408-2.475GHz
Alıcı Anten Gücü	20dBm
Bant Genişliği	500KHz
2.4GHz Protokolü	AFHDS 2A

Ekran	128x64mm LCD
Veri Tipi	PPM (Analog Radyo Sinyalı) ve PCM (Dijital Radyo sinyali)
Boyutlar	180x220x70mm
Ağırlık	670g

Kaynak: Flysky Datasheet

Kullandığı Teknoloji

Yeni kumanda modülü (TH9X) AFHDS (Otomatik Frekans Atlayan Geniş Spektrum) tipidir ve frekans atlama teknolojisi kullanır. Bu teknoloji farklı frekans değerleri alarak, aynı anda birden fazla sinyalin karışmasını önler ve güvenli bir iletişim protokolü sağlar.

Ana Ekran ve Menüler

Kumandanın orta kısmında ekranın üzerindeki açma-kapama düğmesini yukarı ve aşağı hareket eden bir anahtar kullanır. Anahtar yukarı konuma getirildiğinde içerisinde bulunan ses sensöründen gelen "Bip" sesinden sonra ana ekran gelmektedir. Ana ekran Şekil 26'da gösterilmiştir.

Ana ekranda, "Sistem" ve "Ayar" menüleri bulunur. Bu menüler ve işlevleri Tablo 3 ve Tablo 4'de görülmüştür.



Şekil 26. Kumandanın Menüleri

Tablo 3

Kumandanın Sistem Menüsü ve İşlevleri

Sistem Menüsü	İşlevleri
Mode Select	Uçuş yapılacak modelin seçimi
Mode Name	Model ismi tanımlama
Type Sele	Modelin tipi; uçak (ACRO), helikopter (HELi), Planör (GLIDE)
Modevat	PPM (Analog Radyo Sinyalı) ve PCM (Dijital Radyo sinyali) seçimi
Stick Set	Kumanda modu seçimi (Model, 2, 3, veya 4)
Copy	Bir modelin ayarlarını başka bir modele kopyalar
Adj Contrast	LCD ekranın parlaklığını ayarlar

Kaynak: Flysky Datasheet

Tablo 4

Kumandanın Ayarlar Menüsü ve İşlevleri

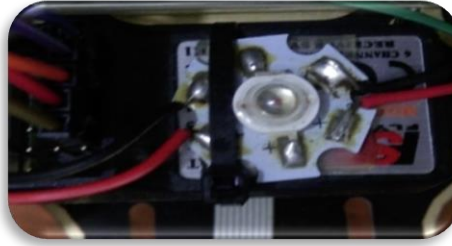
Ayarlar	İşlevleri
REVERSE	Motorların dönüş yönelerinin kontrolünü sağlar
SUBTRIM	Aracın kontrolü için hassas ayar yapmayı sağlar. Aynı zamanda bu ayar kumanda üzerinde bulunan küçük butonlarla da değiştirilebilir.
AILVATOR	Yalpalma (roll) eksenindeki kontrolü sağlar
AUX-CH	9 kanala kadar atama yapılabilir. Bu kanallar belirli fonksiyonlar için kullanılabilir. Örneğin, açılır kapanır iniş takımları
TIMER	Belli bir zamana ayarlayarak kumandanın ayarlanan zaman sonunda sesli uyarı vermesini sağlar. Bu özellik sayesinde araç pili bitmeden yere indirilebilir
DISPLAY	Tüm kanalların hareketlerini gösterir

Kaynak: Flysky Datasheet

Alıcının Genel Özellikleri

Çalışmada kullanılan alıcı Şekil 27'de gösterilmiştir. 18 gram ağırlığında ve 8 kanallıdır. Anteni tek bir kablodan oluşur ve ucunda kırmızı ısıyla daralan

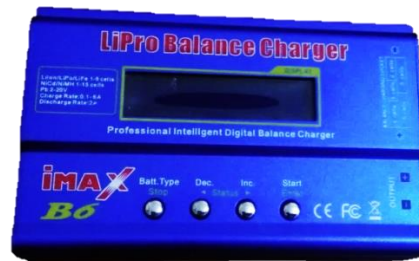
makaron vardır. Alıcının anteni, vericiyle iletişimini etkilememesi için elektronik ve metal aksamdan uzak tutulmalı ve dik konumda olmalıdır.



Şekil 27. Çalışmada Kullanılan Alıcı

3.1.8. Şarj Aleti

LiPo bataryalar diğer piller gibi şarj edilemezler. LiPo'ların ucunda bulunan soketli kablo ile uygun şarj aleti kullanarak balanslı şarj yapılması gerekir. Hücreler arası doldurma işleminin eşit ve düzgün bir şekilde yapılmaması kısa bir süre sonra bataryada şişme ve bazı hücrelerde verim kaybına sebep olur. Bu sebeple şarj aletinin seçimi bataryanın ömrünü etkileyen önemli faktörlerdendir. Tüm bu bilgiler ve fiyat konusu ele alındığında, çalışmada kullanılan LiPo bataryayı şarj etmek için iMAX B6 şarj aleti kullanılmıştır. Ayrıca bu şarj aleti birçok batarya türünü de desteklemektedir. Şekil 28'de şarj aleti ve Tablo 5'de genel özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 28. Batarya Şarj Cihazı

Tablo 5

iMAX B6 Şarj Aletinin Teknik Özellikleri

Çalışma Voltaj Aralığı	DC 11.0~18.0 Volt
Maksimum Şaj Gücü	50W
Maksimum Deşarj Gücü	5W
Şarj akımı aralığı	0.1~5.0A
Deşarj akımı aralığı	0.1~1.0A
Li-Po hücre başına drenaj	300mAh/Hücre
NiCd / NiMH pil hücresi sayısı	1~15 hücre
Li-Ion / Li-Po hücre sayısı	1~6 hücre
Pb akü gerilimi	2V~20V
Ağırlık	277g
Boyutlar	133x87x33mm

Kaynak: iMAX B6 Datasheet

3.2. Diğer Bileşenler

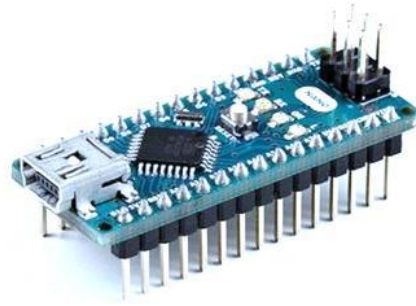
Çalışmada, hava durumunu, irtifa, basınç bilgisini, rüzgâr hızını ve motorların RPM bilgisini ve bu bilgileri anlık olarak kaydedebilmek için aşağıdaki sensörler kullanılmıştır:

- Arduino Nano
- Barometrik Basınç Sensörü
- Kızıl Ötesi (IR) Sensörü
- Anemometre
- Arduino SD Kart Modülü

3.2.1. Arduino Nano

Arduino, İtalyan bir firma tarafından üretilen açık kaynak kodlu, üzerinde programlanabilir mikroişlemci bulunan mikrokontrolcü kartıdır. Basit kullanımı, kolay programlanabilme özelliği ve üzerinde bulunan Giriş/Çıkış pinleri ile küçük/orta ölçekte projeler yapabilmeye olanak sağlar.

Bu çalışmada, Quadrotor'un uçuş esnasındaki sıcaklık, yükseklik, basınç, RPM gibi bilgileri sensörler aracılığıyla okuyabilmek için Arduino Nano tercih edilmiştir. Şekil 29'da Arduino Nano ve Tablo 6'da teknik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 29. Arduino Nano

Kaynak: Arduino Nano Datasheet, t.y.

Tablo 6

Arduino Nano Teknik Özellikleri

Mikrodenetleyici	ATmega328
Çalışma Gerilimi	DC 5.0 Volt
Max Giriş Çalışma Gerilimi	DC 7.0~16.0 Volt
Dijital I/O Pinleri	14 (6 tanesi PWM çıkışı)
Analog Giriş Pinleri	8
Her I/O için Akım	40mA
3.3V Çıkış için Akım	50mA
Flash Hafıza	32 KB
Saat Hızı	16 Mhz
Ağırlık	5 g
Boyutlar	45x18mm

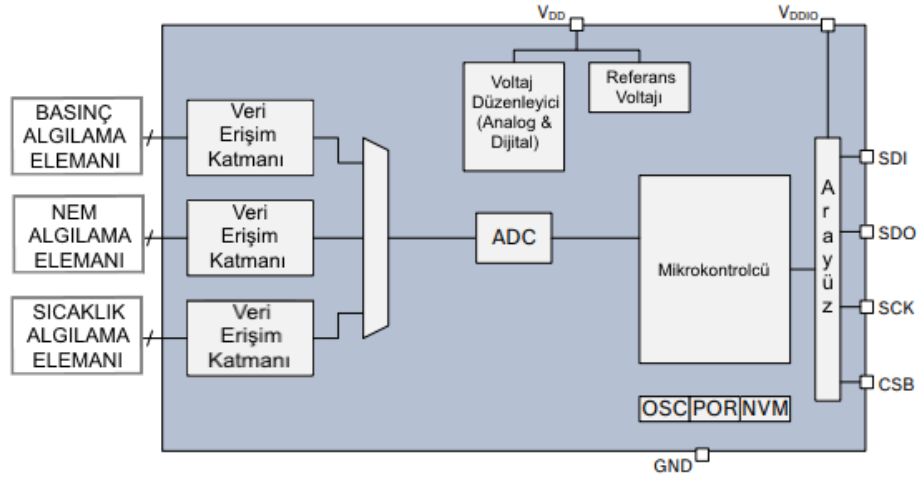
Kaynak: Arduino Nano Datasheet

3.2.2. Barometrik Basınç Sensörü

Basınç sensörleri temelde hava basıncını analog sinyallere dönüştürerek basıncın ölçülmesini sağlarlar. Çalışmada, Bosch firması tarafından üretilen BME280 sensörü kullanılmıştır. Sensör basıncın yanı sıra nem ve sıcaklığı da ölçmektedir. Şekil 30'da BME280 sensörü ve Şekil 31'de blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 30. BME280 Basınç Sensörü

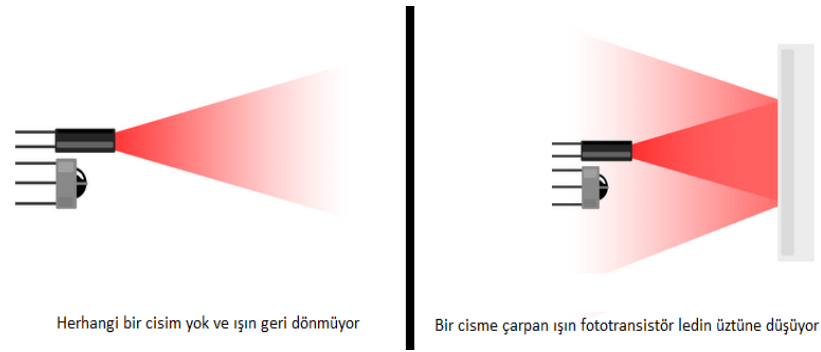


Şekil 31. BME280 Blok Diyagramı

Kaynak: Bosh Sensortec, 2015

3.2.3. IR (Kızıl Ötesi) Sensör

Kızıl Ötesi sensörler iki adet ledten oluşurlar. Ledlerin biri kızıl ötesi ışın yayarken diğeri fototransistör görevi görerek gelen ışığın yakalanmasını sağlar. Kızıl ötesi ışının dalga boyutu ayarlanabilir. Bu sayede herhangi bir cisme çarpıp dönen ışın fototransistörün üzerine düşerek ışının şiddetine göre sinyal üretir. Çalışmada, motorların rpm bilgisi için TCRT5000 kızıl ötesi sensör kullanılmıştır. Şekil 32’de kızıl ötesi sensörün çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 32. Kızıl Ötesi (IR) Sensörün Çalışma Prensipleri

Kaynak: Semiz, 2017

3.2.4. Arduino SD Kart Modülü

SD (Secure Digital) Hafıza Kartı bir veri depolama aygıtıdır. İlk kez SanDisk firması tarafından 2001 yılında MMC (Multimedia Kart) kart teknolojisinin geliştirilmesi üzerine ortaya çıkmıştır. Arduino ile uyumlu olan bu modül, gereksinim duyulan işlemlerin sonuçlarını bir metin dosyası halinde saklayabilmektedir. Şekil 33’de gösterilen modül, diğer bileşenlerden gelen anlık verileri kaydetmek için kullanılmıştır.



Şekil 33. SD Kart Modülü

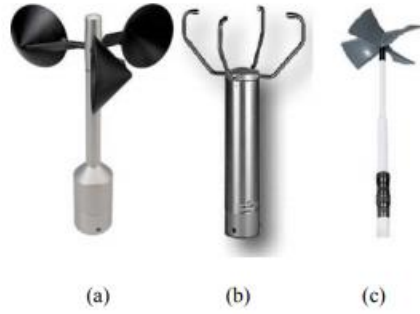
3.2.5. Anemometre

Anemetreler rüzgâr hızını elektriksel sinyale dönüştüren sensörlerdir. Kepçe, ultrasonik ve propeller anemometre olmak üzere 3 tip anemometre vardır (Durak ve Özer, 2008, s. 113-195; Ataseven, M.S. ve Ataseven S., 2012, s. 2). Bunlar;

- (a) Kepçe anemometre

- (b) Ultrasonik anemometre
- (c) Propeller anemometre

Şekil 34’de gösterilmiştir.



Şekil 34. Anemometre Tipleri

Kaynak: Durak ve Özer, 2008

Kepece anemometrede kepece rotorunun bir dönüşü için geçen süreye göre rüzgâr hızı belirlenir (Ataseven, M.S. ve Ataseven S., 2012, s. 2).

Ultrasonik anemometrede her bir uçtan yayılan ses dalgasının diğer kol tarafından alınması sırasında geçen sürenin ölçülmesi prensibi ile çalışmaktadır (Ataseven, M.S. ve Ataseven S., 2012, s. 2.) .

Propeller anemometrenin çalışma prensibi de kepece anemometrelerle aynıdır. Bu tip anemometreler rüzgâr yönüne paralel monte edildiğinde yatay rüzgâr hızını, dik monte edildiğinde de dikey rüzgâr hızını ölçerler (Ataseven, M.S. ve Ataseven S., 2012, s. 2.).

Rüzgâr hızı ölçümlerinde en yaygın olarak kullanılan anemometreler kepece anemometrelerdir (Ataseven, M.S. ve Ataseven S., 2012, s. 2.). Çalışma kapsamında rüzgârın hızını ölçmek için 3B (Üç Boyutlu) yazıcı kullanarak kendi üretimimiz olan kepece tipi anemometre kullanılmıştır. Arduino ve kızıl ötesi sensörler ile ölçülen rüzgâr hızı, hafıza kartına kaydedilmiştir. Şekil 35’de çalışmada kullanılan anemometre gösterilmiştir.

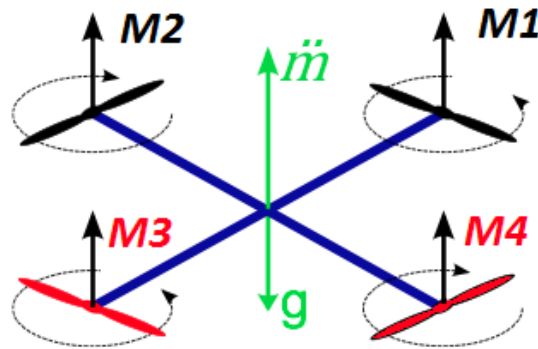


Şekil 35. Çalışmada Kullanılan Anemometre

3.3. Quadrotor Çalışma Prensibi

Quadrotorun x eksenini etrafındaki dönüş hareketine yalpalama, y eksenini etrafındaki dönüş hareketine yunuslama ve z eksenini etrafındaki dönüş hareketine dönme denir (Ökten, vd., 2016, s. 136-141).

Her uçağa ayrı bir motor bulunan dört rotorlu döner kanat iskelet yapısı ‘+’ veya ‘x’ biçimine sahiptir. Uçuş hareketlerini bu tip araçlarda yer alan karşılıklı bir şekilde aynı doğrultuda dönüş yapan pervanelerle yapabilmektedir. Şekil 36’da dönüş yönleri gösterilen dört pervanenin ikisi saatin dönüş yönünde, ikisi ise tam tersi yönde dönüş yapmaktadır. Yunuslama (pitch), dönme (yaw), yalpalama (roll), hareketleri motorlara bağlı hareket eden pervanelerin oluşturduğu kaldırma kuvvetiyle yapılmaktadır. Quadrotorun l eksenini çevresinde gerçekleşen dönüş hareketine yunuslama, m eksenini çevresinde gerçekleşen dönüş hareketine dönme, k eksenini çevresinde gerçekleşen dönüş hareketine yalpalama denir. (Ökten, vd., 2016, s. 136-141).

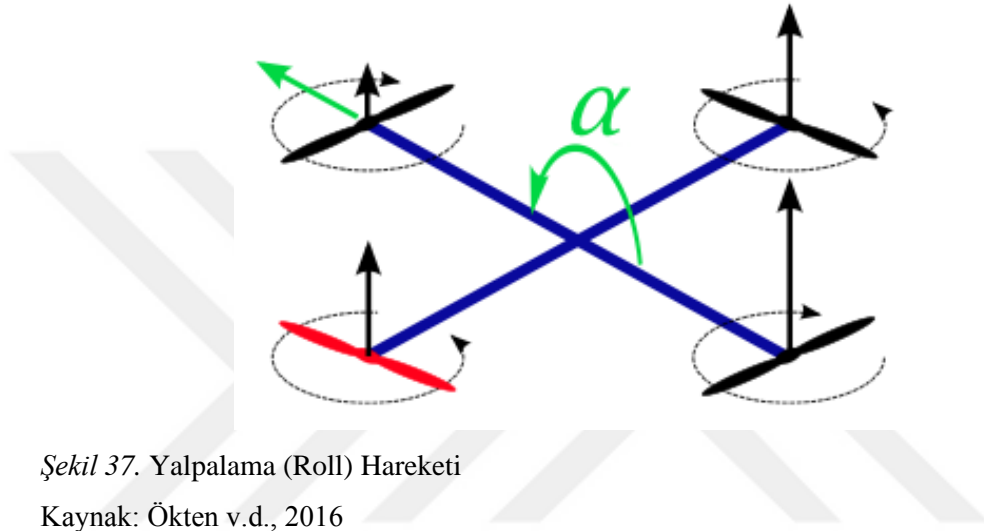


Şekil 36. Pervanelerin Dönüş Yönleri

Kaynak: Ökten v.d., 2016

3.3.1. Yalpalama (Roll) Hareketi

Yalpalama (Roll) hareketi Şekil 37’de gösterilmiştir. Şekilde hız farkı değerlerini Δ_A ve Δ_B , havada askıda kalan sistemin hızını Ω_h , yalpalama açısı ise α ile gösterilmektedir. Quadrotorun, ön ve arka rotorlarının hız değerleri sabit tutulurken, Δ_A kadar artırılan sol rotorun hız değeri ve Δ_B kadar azaltılan sağ rotorun hız değeri ile yalpalama hareketi yapılır. Sola yalpalama soldaki rotorunun hızının sağdakinden az olduğu durumda gerçekleşir.

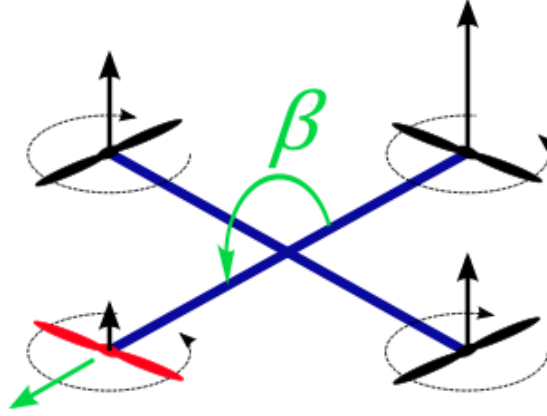


Şekil 37. Yalpalama (Roll) Hareketi

Kaynak: Ökten v.d., 2016

3.3.2. Yunuslama (Pitch) Hareketi

Yunuslama (Pitch) Şekil 38’de gösterilmiştir. β yunuslama açısını Δ_B ve Δ_A hız farkını temsil etmektedir. Quadrotorun, ön tarafa yapacağı yunuslama hareketi için sağ ve sol rotordardan gelen hız değerleri sabit tutulurken, Δ_B kadar azaltılan ön rotorun hız değeri ve Δ_A kadar artırılan arka rotorun hız değeriyle yunuslama hareketi gerçekleşir. Arka tarafa yunuslama aracın arka rotorun hızının ön rotorun hızından az olduğu durumda yapılır.

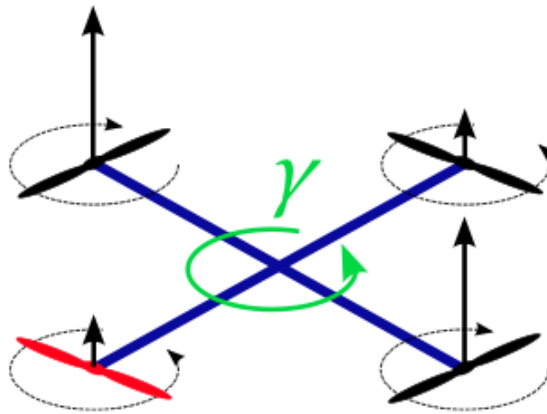


Şekil 38. Yunuslama (Pitch) Hareketi

Kaynak: Ökten v.d., 2016

3.3.3. Dönme (Yaw) Hareketi

Dönme (Yaw) Şekil 39'da gösterilmiştir. Şekilde Dönme açısını γ , havada asılı kalmayı Ω_h , hız farkını Δ_B ve Δ_A temsil etmektedir. Quadroturun saatin ters yönünde dönmesi için Δ_B kadar azaltılan ön rotorun hız değeri ve Δ_A kadar artırılan sağ ve sol rotorların hız değerleriyle yapılır. Dönme hareketi Δ_B kadar azaltılan sağ ve sol rotorun hız değeri, Δ_A kadar artırılan ön ve arka rotorların hız değerleriyle yapılır.

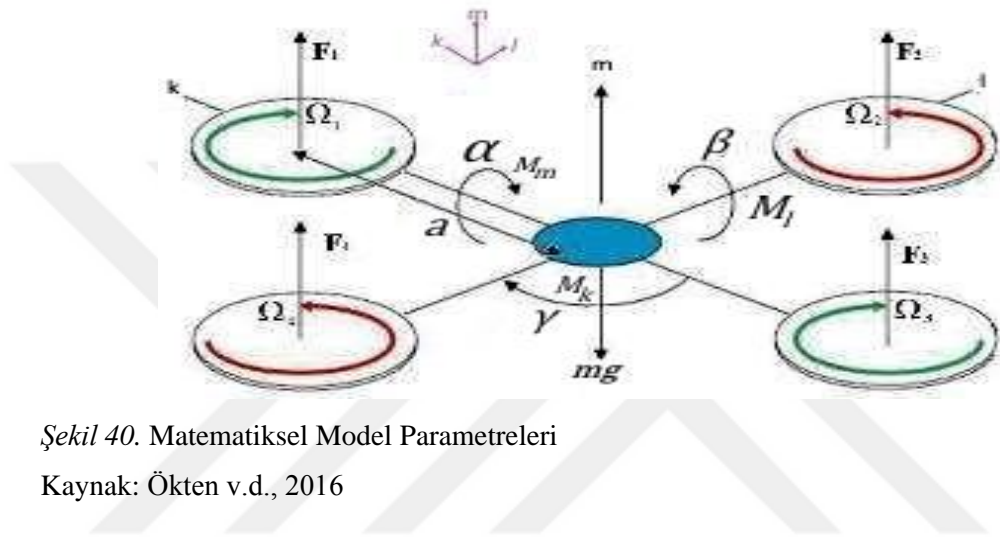


Şekil 39. Dönme (Yaw) Hareketi

Kaynak: Ökten v.d., 2016

3.4. Matematiksel Modeli

Quadrotorun matematiksel modeli için kullanılan parametreler Şekil 40’da gösterilmiştir. Pervanelerin yönleri, kaldırma kuvvetleri, açıları ile motorların kaldırma kuvvetleri “ F_1, F_2, F_3, F_4 ” ve Quadrotorun k, l, m eksenleri etrafındaki, α (Yalpalama Açısı Değeri), β (Yunuslama Açısı Değeri) ve γ (Yönelme Açısı Değeri) açı değerleri görülmektedir.



Şekil 40. Matematiksel Model Parametreleri

Kaynak: Ökten v.d., 2016

Quadrotorun her bir motorunun hızı, birbirinden bağımsız olarak kontrol edilir. Quadrotorun her bir rotoru için aşağıda tanımlanan itki (u_1), yalpalama (u_2), yunuslama (u_3) ve dönme (u_4) eşitlikleri verilmiştir (Castillo, vd., 2006 s. 45-55; Hamel vd., 2002 s. 2-6; Önkol, 2010 s. 20-32)..

$$u_1 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 \quad (3.1)$$

$$u_2 = a. (\tau_2 - \tau_4) \quad (3.2)$$

$$u_3 = a. (\tau_1 - \tau_3) \quad (3.3)$$

$$u_4 = \tau_1 + \tau_2 - \tau_3 - \tau_4 \quad (3.4)$$

Bu denklemde, “ a ” her bir rotorun orta noktaya olan uzaklığını (m), τ_n ise n 'inci rotorun torkunu (N) göstermektedir. Dönme matrisi, Öklid uzayında dönüş gerçekleştirmek için kullanılan matristir. Üç dönme ve üç öteleme hareketi ile altı serbestlik derecesine sahiptir. Bu matrise göre, $R_m(\gamma)$, $R_l(\beta)$, $R_k(\alpha)$ sırasıyla

dönme, yunuslama ve yalpalama dönüşümleri temsil edilmektedir (Castillo, vd., 2006 s. 45-55; Hamel vd., 2002 s. 2-6; Önkol, 2010 s. 20-32).

$$R_m (\gamma) = \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & \sin(\gamma) & 0 \\ -\sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$R_l (\beta) = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & -\sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$R_k (\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ 0 & -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$R_{klm} = R_m (\gamma) \cdot R_l (\beta) \cdot R_k (\alpha) \quad (3.7)$$

bu denklemde, β (yunuslama), α (yalpalama), γ (dönme) açıları gösterilmektedir. Newton-Euler ilkesine göre toplam kuvvet ve toplam tork ifadesi eşitlik (3.8)'de verilmiştir (Castillo, vd., 2006 s. 45-55; Hamel vd., 2002 s. 2-6; Önkol, 2010 s. 20-32):

$$\begin{bmatrix} F \\ \tau \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ \alpha \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w \times mv \\ w \times Iw \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

F toplam kuvveti, τ toplam torku, m kütleyi, I atalet momentini, a ivmeyi, α açısal ivmeyi, w açısal hızı, v lineer hızı temsil etmektedir. Atalet momenti 3x3 matriste (3.9)'da verilmiştir.

$$I = \begin{bmatrix} I_{kk} & 0 & 0 \\ 0 & I_{ll} & 0 \\ 0 & 0 & I_{mm} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Eşitlikte Quadrotorun üç eksenindeki eylemsizliği (I_{kk} , I_{ll} , I_{mm}) ve gövde şasisindeki eylemsizliğidir. Kanatların uyguladığı toplam kaldırma kuvveti (F_T) aşağıda verilmiştir (Castillo, vd., 2006 s. 45-55; Hamel vd., 2002 s. 2-6; Önkol, 2010 s. 20-32):

$$F_T = ct \cdot \sum_{i=1}^4 W_i^2 \quad (3.10)$$

bu eşitlikte C_T pervanelerin itki faktörünü ifade etmektedir. Toplam atalet momenti (F_e) eşitlik (3.11)'de verildiği gibi hesaplanabilir:

$$F_e = R_{mlk} \cdot FT - mg \quad (3.11)$$

bu eşitlikte g yerçekimini ifade etmektedir. Eşitlik (3.8)'de toplam kaldırma kuvvetine ek olarak, yunuslama, yalpalama ve dönme tork değerleri ($\tau_\alpha, \tau_\beta, \tau_\gamma$) yerine yazıldığında aşağıdaki eşitliğe ulaşılır (Castillo, vd., 2006 s. 45-55; Hamel vd., 2002 s. 2-6; Önkol, 2010 s. 20-32):

$$\begin{bmatrix} F_T \\ \tau_\alpha \\ \tau_\beta \\ \tau_\gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_T & c_T & c_T & c_T \\ 0 & dc_T & 0 & -dc_T \\ -dc_T & 0 & dc_T & 0 \\ -c_Q & c_Q & -c_Q & c_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1^2 \\ w_2^2 \\ w_3^2 \\ w_4^2 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

bu eşitlikte C_Q pervane boyutuna oranla dönme faktörünü ifade etmektedir. “a” Quadrotorun merkezinden rotarlara olan kol uzaklığını göstermektedir. Dört pervanenin de meydana getirdiği hareketler ve kaldırma kuvvetleri, torkları oluşturur. Her bir ekseninde bağımsız olarak oluşan tork, diğer eksenlerde oluşan torkların farkına eşittir. Quadrotorun gövde ve kanatlarının hareket etmesiyle ortaya çıkan gyroscopic tork ifadeleri ve gövde şasisinin mevcut moment değeri şu şekildedir (Castillo, vd., 2006 s. 45-55; Hamel vd., 2002 s. 2-6; Önkol, 2010 s. 20-32):

$$\tau_{\alpha G} = J_m Q \left(\frac{\pi}{30} \right) (w_1 - w_2 + w_3 - w_4) \quad (3.13)$$

$$\tau_{\beta G} = J_m P \left(\frac{\pi}{30} \right) (-w_1 + w_2 - w_3 + w_4) \quad (3.14)$$

$$M_a = \begin{bmatrix} dc_T w_2^2 - dc_T w_4^2 & +\tau_{\alpha gyro} \\ -dc_T w_1^2 + dc_T w_3^2 & +\tau_{\beta gyro} \\ -c_Q w_1^2 + c_Q w_2^2 - c_Q w_3^2 + c_Q w_4^2 & \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

burada J_m rotorun ataletini, P , Q , R değerleri Quadrotorun k , l ve m eksenlerindeki dönme açısının değişim oranlarını göstermektedir.

BÖLÜM IV

DENEYSEL UÇUŞ VE ANALİZLER

4.1. Hava Şartlarına Bağlı Analizler

Uçuşlar Kahramanmaraş ve Osmaniye ilinde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen uçuşlar sırasında elektronik kontrolcüden alınan veriler kaydedilerek sistemin kararlılığı hakkında bilgi toplanmıştır. Bu bilgiler grafiklerle gösterilmiş ve Statistical Package For The Social Sciences (SPSS) programında analiz edilerek açıklanmıştır. Hava şartlarına göre sistemin kararlılığını etkileyen faktörler saha uçuşlarında gerçek zamanlı olarak analiz edilmiştir.

Verilerin toplanması ve işlenmesi aşamasında; sıcak, ılık, hafif ve orta şiddette rüzgârlı, hafif yağmurlu ve soğuk havalarda uçuşlar yapılmıştır. Rotorların devir sayısı için kızılötesi sensörler, rüzgâr hızı için anemometre, sıcaklık, nem, basınç bilgileri için barometrik basınç sensörü ve bu verileri kaydetmek için hafıza kartı modülü kullanılmıştır. Sensörlerden gelen sinyaller her 5 saniyede bir arduino ile işlenerek, Quadrotor havadayken otomatik olarak hafıza kartına kaydedilmiştir. Ek-1’de farklı hava durumlarına ait, 12’şer dakikalık uçuş süresince 5’er saniyede bir alınan rüzgâr hızları gösterilmiştir. Ek-2’de ise aynı süreler için kaydedilen rotorların rpmleri gösterilmiştir. Bu bölümde kullanılan Grafiklerde ise sensörlerden gelen değerlerin kendi içinde anlamlı bir bütün oluşturabilmesi için dakikalık ortalaması alınmıştır.

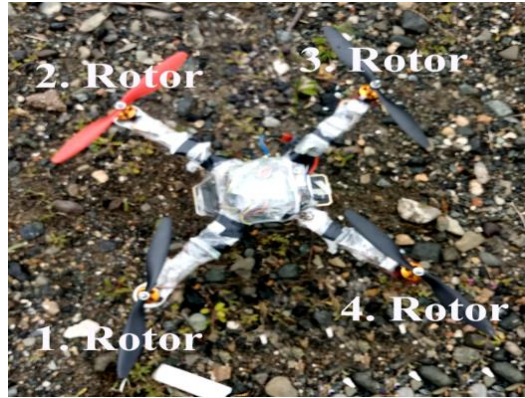
İniş ve kalkış sırasında alınan veriler analizlere dâhil edilmemiştir. Verilerin tutarlı olması açısından, her bir hava koşulunda, aynı işlemler tekrarlanmıştır. Bu sayede, Quadrotor’un simülasyonlar ve test düzeneleri dışında sahada verdiği tepkiler analiz edilmiştir.

Quadrotor'a eklenen sensörlerin Arduino bağlantısı ve programlama aşamaları Şekil 41'de gösterilmiştir.



Şekil 41. Sensörlerin Programlanması

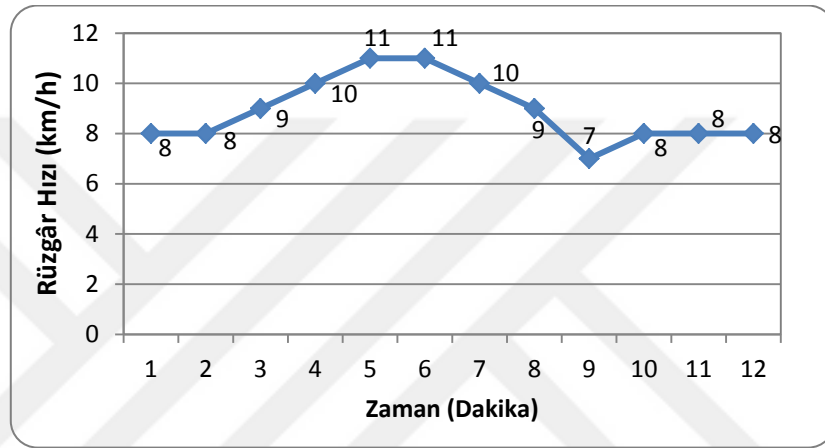
Çalışmada kullanılan Quadrotor'un motor sıralaması Şekil 42'de gösterilmiştir.



Şekil 42. Rotorların Sıralaması

4.1.1. Sıcak Hava

İklimsel sıcaklığın etkisini görebilmek için rüzgârın yavaş olduğu gün uçuş yapılmıştır. Ölçülen sıcaklık değeri 36 santigrat derece, nem 42% ve basınç 1001hPa olarak ölçülmüştür. Anemometre ile elde edilen ortalama rüzgâr hızları Grafik 1’de gösterilmiştir. Ortalama 8-11km/h ile esen rüzgârın ve 10 metre yüksekliğin Quadrotor’un dengesine ve rotorların tepkisine herhangi bir olumsuz etkisi olmamıştır.



Grafik 1. Sıcak Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Ortalama Rüzgâr Hızları

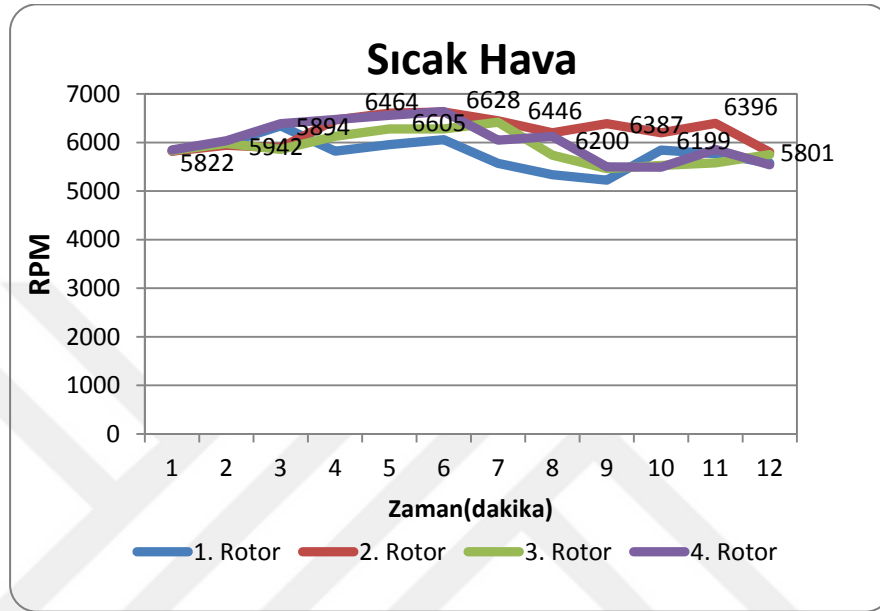
Freemeteo web adresinden uçuşun yapıldığı güne ait hava durumu bilgileri Şekil 43’de gösterilmiştir.

Osmaniye								
« Önceki gün		17 Mayıs 2019 Cuma					sonraki gün »	
Hava durumu istasyonu: Adana 84,9km adlı yerin Osmaniye İstasyon bölgesi: Enlem 36.983 Boylam 35.300 Yükseklik 20m								
Saat	Sıcaklık	Hissedilir Sıcaklık	Rüzgar	Bağıl Nem	Çiğ oluşma derecesi	Basınç	Simge	Tarif > Ayrıntılar
14:20	35°C	35°C	15 Km/h	32%	16°C	1003,0mb		Açık

Şekil 43. Sıcak Hava Durumu Bilgisi

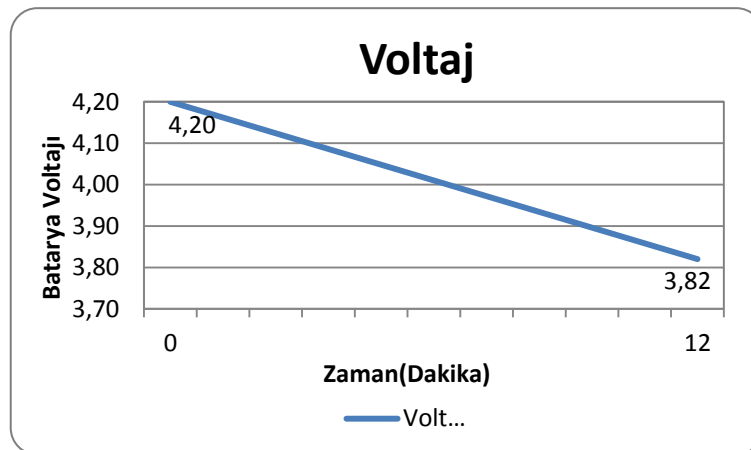
Kaynak: Freemeteo, 2019

Quadrotor'un havada asılı kalma sırasında kendisini dengede tutmak için rotorlardan istediği ortalama rpm'ler Grafik 2'de gösterilmiştir. Grafikte; mavi renkle gösterilen grafik çizgisi birinci rotoru, kırmızı renkle gösterilen çizgi ikinci rotoru, yeşil renkle gösterilen çizgi üçüncü rotoru ve mor renkle gösterilen çizgi dördüncü rotoru temsil etmektedir.



Grafik 2. Sıcak Havada Yapılan Uçuşta Rotorların Ortalama Rpm Değerleri

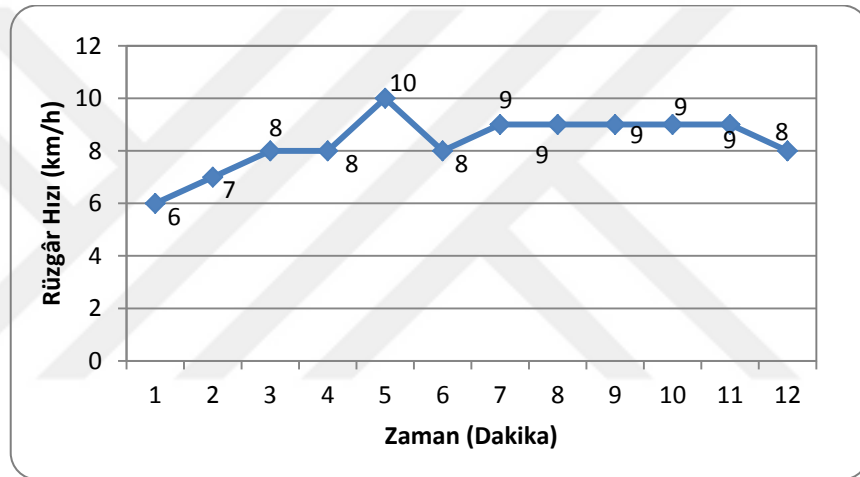
Sıcak havanın bataryanın voltajı ve rotorların rpm değerlerinde olumlu veya olumsuz bir etkisi görülmemiştir. Batarya voltaj değerleri Grafik 3'de gösterildiği gibi kalkışta 4.2 volt olarak ölçülmüş, 12 dakika sonra inişte yapılan ölçümde 3.82 volta düştüğü görülmüştür ve bu değerler nominal değerlerdir.



Grafik 3. Sıcak Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Batarya Voltajı

4.1.2. Ilık Hava

Ilık hava koşulunda yapılan uçuşta, sıcaklık 23 santigrat derece, nem 37% ve basınç 998hPa olarak ölçülmüştür. Anemometre ile elde edilen ortalama rüzgâr hızı ise Grafik 4’de gösterilmiştir. Bu verilere göre; 23 santigrat derece sıcaklığın, ortalama 6-10km/h ile esen rüzgârın ve 10 metre yüksekliğin Quadrotor’un dengesine ve rotorların tepkisine herhangi bir olumsuz etkisi olmamıştır. Uçuş kontrol kartının kalibrasyonu ve pilotajtan dolayı ufak sapmalar görülse de, hava koşulunun doğrudan bir etkisi saptanmamıştır. Uçuş sırasındaki gün ve saate ait hava durumu bilgileri Şekil 44’de gösterilmiştir.



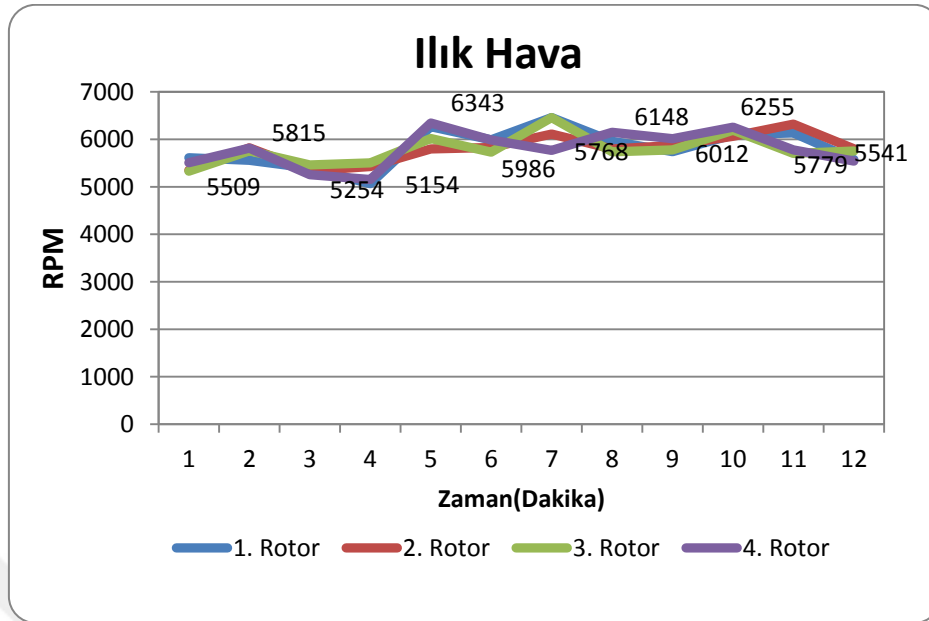
Grafik 4. Ilık Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Ortalama Rüzgâr Hızları

Osmaniye									
« Önceki gün		24 Nisan 2019 Çarşamba						sonraki gün »	
Hava durumu istasyonu: Adana 84,9km adlı yerin Osmaniye İstasyon bölgesi: Enlem 36.983 Boylam 35.300 Yükseklik 20m									
Saat	Sıcaklık	Hissedilir Sıcaklık	Rüzgar	Bağıl Nem	Çiğ oluşma derecesi	Basınç	Simge	Tarif ▶ Ayrıntılar	
15:20	25°C	24°C	11 Km/h	26%	4°C	1023,0mb		Açık	

Şekil 44. Ilık Hava Durumu Bilgisi

Kaynak: Freemeteo, 2019

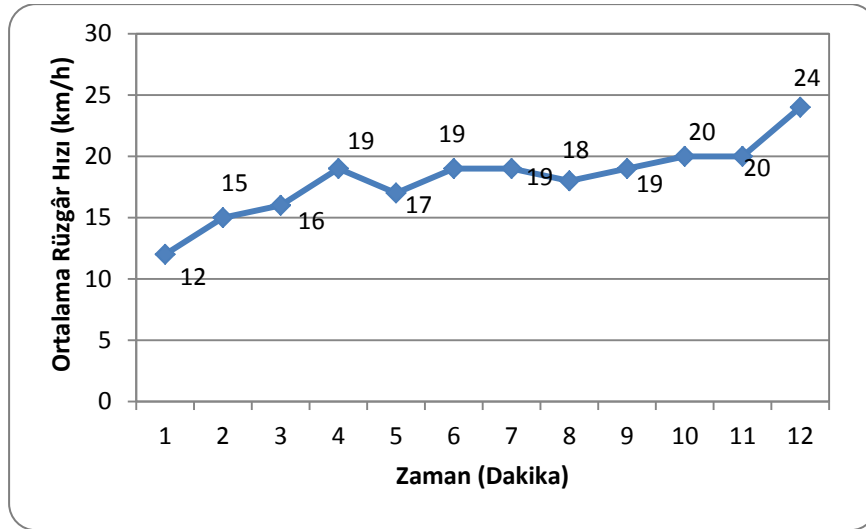
Uçuş sırasında alınan ortalama rpm değerleri Grafik 5’de gösterilmiştir.



Grafik 5. Ilık Havada Yapılan Uçuşta Rotorların Ortalama Rpm Değerleri

4.1.3. Rüzgârlı Hava

Rüzgârlı hava koşulunda, 25 santigrat derece sıcaklık, 45% nem ve 989hPa barometre ölçülmüştür. Anemometreden alınan ortalama rüzgâr hızları Grafik 6’da gösterildiği gibi 12-24km/h arasında olmuştur. Quadrotor’un kendini dengede tutabilmesi için rotordardan istediği devirlerin dakikadaki ortalamaları Grafik 7’de verilmiştir. Uçuş sırasındaki gün ve saate ait hava durumu bilgileri ise Şekil 45’de gösterilmiştir.

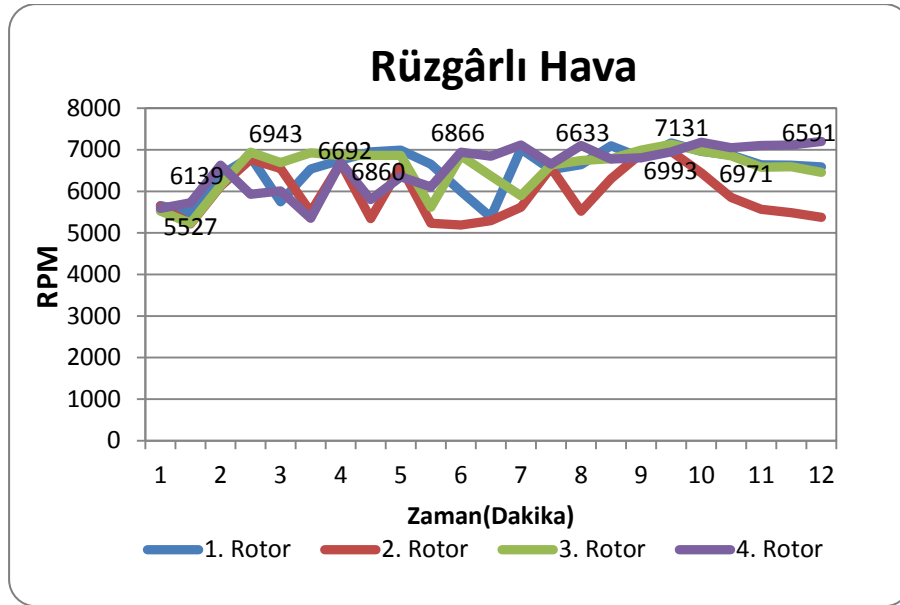


Grafik 6. Rüzgârlı Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Ortalama Rüzgâr Hızları

Osmaniye								
« Önceki gün			28 Nisan 2019 Pazar			sonraki gün »		
Hava durumu istasyonu: Adana 84,9km adlı yerin Osmaniye İstasyon bölgesi: Enlem 36.983 Boylam 35.300 Yükseklik 20m								
Saat	Sıcaklık	Hissedilir Sıcaklık	Rüzgar	Bağıl Nem	Çiğ oluşma derecesi	Basınç	Simge	Tarif » Ayrıntılar
16:20	27°C	27°C	 26 Km/h	39%	12°C	1012,0mb		Açık

Şekil 45. Rüzgârlı Hava Durumu Bilgisi

Kaynak: Freemeteo, 2019



Grafik 7. Rüzgârlı Havada Yapılan Uçuşta Rotorların Ortalama Rpm Değerleri

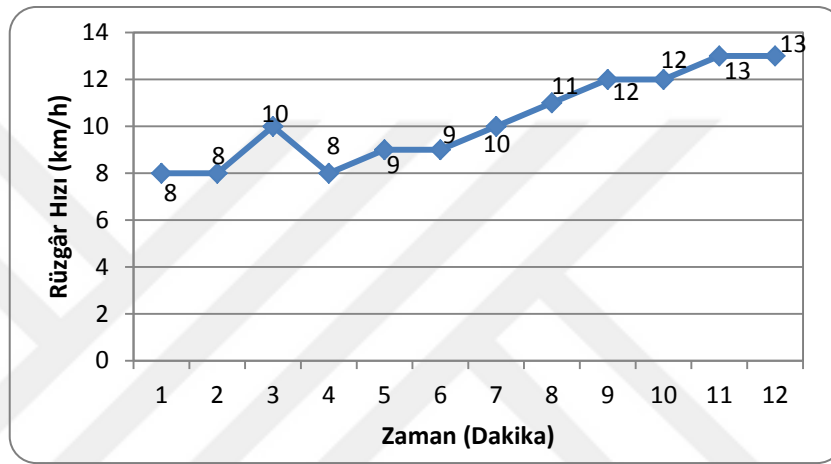
Rüzgâr hızı, rotorların direncinden daha fazla olduğu için rotorların uygulayacağı karışı direnç yetersiz gelerek Quadrotor'un dengesini bozup düşmesine neden olmuştur. Düşme anı Şekil 46'da gösterilmiştir.




Şekil 46. Rüzgârlı Havada Yapılan Uçuşta Quadrotor'un Düşme Anı

4.1.4. Yağmurlu Hava

Hafif yağmurlu havada, 15 santigrat derece sıcaklıkta, 80% nem ve 997hPa basınç ölçülmüştür. Anemometre ile ölçülen ortalama rüzgâr hızları ise Grafik 8’de gösterildiği gibi 9-13km/h arasındadır. Uçuş öncesi elektronik bileşenler streçfilm ile kaplanarak sıvı temasının önüne geçilmiştir. Yağmurun Quadrotora herhangi bir etkisi bulunmadığı gözlemlenmiştir. Grafik 9’da yağmurlu havada rotorların ortalama devirleri, Şekil 47’de ise hava durumu bilgileri verilmiştir.

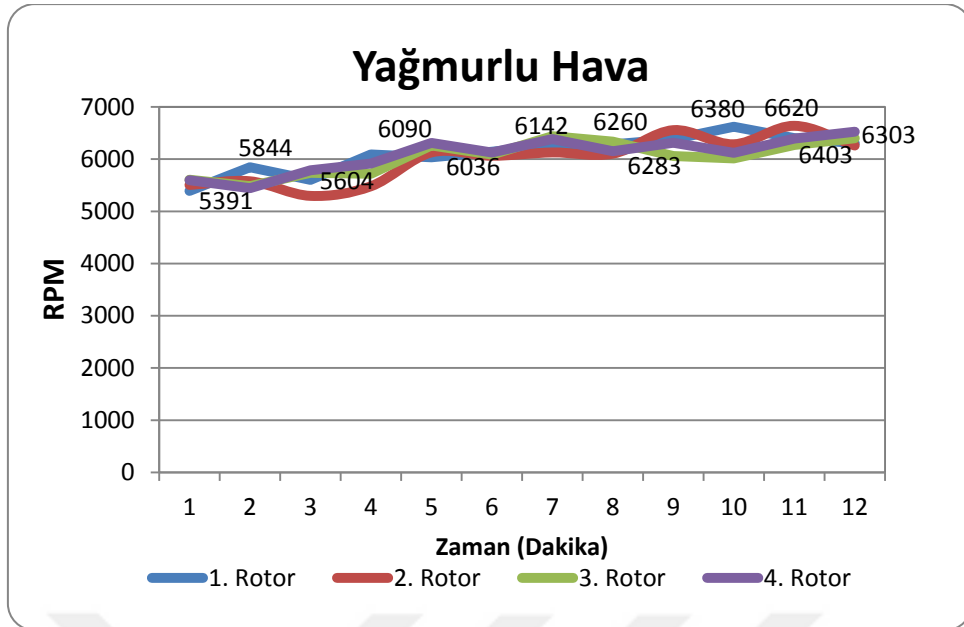


Grafik 8. Yağmurlu Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Ortalama Rüzgâr Hızları

Osmaniye								
« Önceki gün			19 Nisan 2019 Cuma			sonraki gün »		
Hava durumu istasyonu: Adana 84,9km adlı yerin Osmaniye								
İstasyon bölgesi: Enlem 36.983 Boylam 35.300 Yükseklik 20m								
Saat	Sıcaklık	Hissedilir Sıcaklık	Rüzgar	Bağıl Nem	Çiğ oluşma derecesi	Basınç	Simge	Tarif ▾ Ayrıntılar
15:50	16°C	16°C	 13 Km/h	72%	11°C	1011,0mb		Gökgürültüsü

Şekil 47. Yağmurlu Hava Durumu Bilgisi

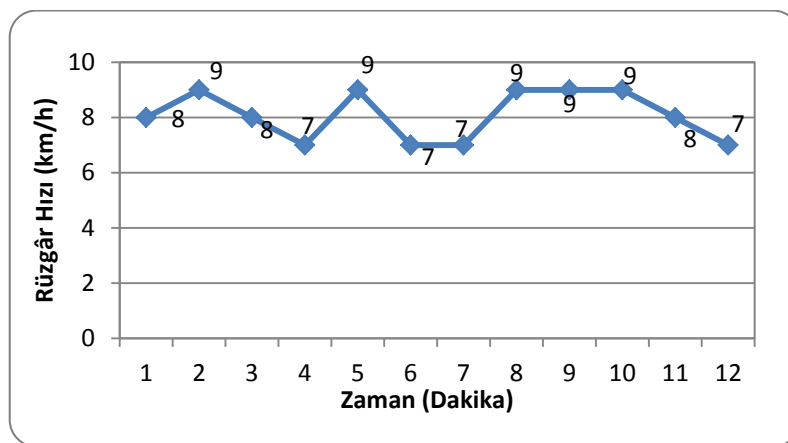
Kaynak: Freemeteo, 2019




Grafik 9. Yağmurlu Havada Yapılan Uçuşta Rotorların Ortalama Rpm Değerleri

4.1.5. Soğuk Hava

Soğuk hava uçuşunda, 1895 rakımlı Kahramanmaraş Ahır Dağı'na bağlı Yedikuyular kayak merkezinde, 5 santigrat derece, 69% nem ve 806hPa basınç ölçülmüştür. Anemometre ile ölçülen ortalama rüzgâr hızları ise Grafik 10'da gösterildiği gibi 7-9km/h arasındadır. Şekil 48'de hava durumu bilgileri ve havada asılı kalarak yapılan uçuşta elde edilen veriler ise Grafik 11'de gösterilmiştir.

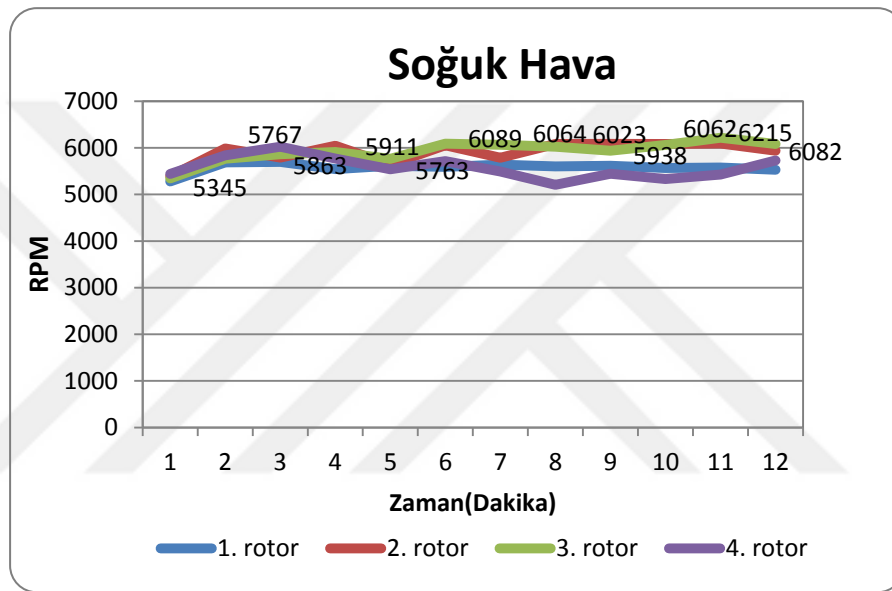


Grafik 10. Soğuk Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Ortalama Rüzgâr Hızları

Ahır Dağı								
« Önceki gün		21 Ocak 2019 Pazartesi			sonraki gün »			
Hava durumu istasyonu: Kahramanmaraş 7,6km adlı yerin Ahır Dağı İstasyon bölgesi: Enlem 37.600 Boylam 36.933 Yükseklik 572m								
Saat	Sıcaklık	Hissedilir Sıcaklık	Rüzgar	Bağıl Nem	Çiğ oluşma derecesi	Basınç	Simge	Tarif > Ayrıntılar
14:50	6°C	4°C	7 Km/h	53%	-3°C	1022,0mb		Parçalı bulutlu

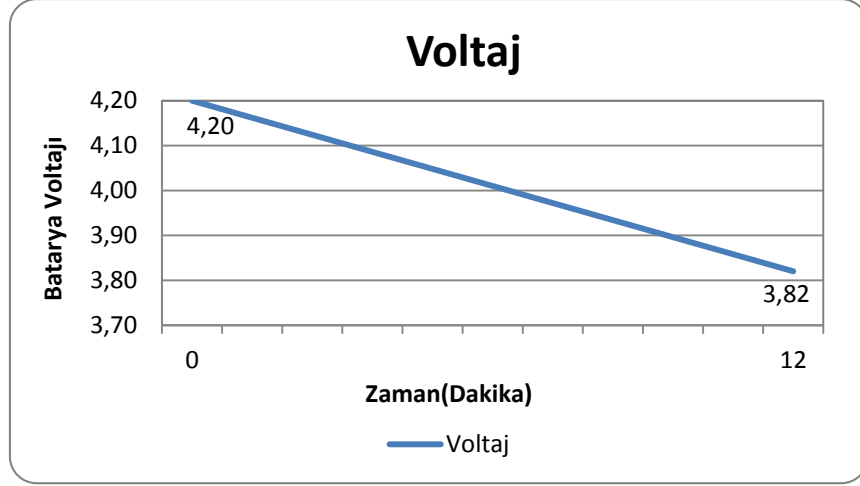
Şekil 48. Soğuk Hava Durumu Bilgisi

Kaynak: Freemeteo, 2019



Grafik 11. Soğuk Havada Yapılan Uçuşta Rotorların Ortalama Rpm Değerleri

Batarya voltajı uçuş öncesinde ve uçuş sonrasında ölçülmüştür. Basıncın düşmesi ve havanın 5 santigrat derecede olması Grafik 12’de gösterildiği gibi batarya voltajını etkilememiştir. Batarya voltaj değerleri sıcak hava koşulunda olduğu gibi, kalkışta 4.2 voltan 3.82 volta düşmüştür ve bu değerler nominal değerlerdir. Soğuk havanın uçuşa olumlu veya olumsuz bir etkisi olmamıştır.



Grafik 12. Soğuk Havada Yapılan Uçuşta Ölçülen Batarya Voltajı



Şekil 49. Yedikuyular, Ahır Dağında Gerçekleştirilen Uçuş

4.2. SPSS Analiz Sonuçları

Quadrotor'un tamamına etki eden rüzgârı görmek için 5 farklı hava olayı ve 4 farklı rotordan alınan verilerin SPSS üzerinden ortalaması alınmıştır. Analizde kullanılan değerler Ek-3'de verilmiştir. Elde edilen verilerin güvenilirlik analizi yapılarak, güvenilir olduğu belirlenmiştir.

Tablo 7

Modelin Özeti

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahminin Standart Hatası	Durbin-Watson
1	,871 ^a	,758	,754	152,63107	1,662

a. Tahmin Değişkenleri: (Sabit), RH

b. Bağımlı Değişken: RORT

Tablo 7'de Adjusted R Square değeri 0,754 olarak hesaplanmıştır. Buna göre bağımsız değişken olan Ruzgar Hızı (RH), bağımlı değişken olan Rotorların Ortalaması (RORT)'ndaki değişimin %75,4'ünü açıklayabilmektedir. Bu değer tatmin edicidir. Durbin-Watson analizinde ise 1,5 ile 2,5 arasındaki değerler otokorelasyon olmadığını gösterir (Kalaycı, 2009, s. 259-269). Durbin Watson değerinin 1,662 olduğu görülmektedir.

Tablo 8

Modelin Anlamlılığı

Model		Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.
1	Regresyon	4237172,86	1	4237361,86	181,82	,000 ^b
	Artan	1351693,74	58	23305,06		
	Toplam	5589055,60	59			

a. Tahmin Değişkenleri: (Sabit), RH

b. Bağımlı Değişken: RORT

Tablo 8’de modelin anlamlılığını gösteren Anova testinin sonuçları gösterilmiştir. Burada önemli olan Sig. değeri 0,000’dır ve anlamlılık düzeyimiz olan 0,05’den küçük olduğundan modelin anlamlı olduğunu söyleyebiliriz. Bağımlı değişken RORT’u, bağımsız değişken RH ile açıklamaya çalıştığımız regresyon modeli bir bütün olarak anlamlıdır sonucu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 9

Modelin Katsayıları

Model		Standartlaşmamış Katsayılar		Standartlaşmış Katsayılar		Eşdoğrusallık İstatistikleri		
		B	Hata	Beta	t	Sig.	Tolerans	VIF
1	(Sabit)	5298,882	57,848		91,600	,000		
	RH	68,105	5,051	,871	13,484	,000	1,000	1,000

a.Bağımlı Değişken: RORT

Tablo 9’da regresyon modelinin katsayıları ve anlamlılık değerleri gösterilmiştir. Buna göre sabit değişkenin (RORT) katsayısı (B) 5298,882 olarak hesaplanmış ve Sig. değeri 0,000 çıkmıştır ve sabit değişken anlamlıdır.

RH regresyon modeli katsayısı 68,105 ve T testi sonucunda anlamlılık değeri Sig. 0,000 olarak hesaplanmıştır. Anlamlılık düzeyimiz olan 0,05’ten küçük olduğu için, %5 anlamlılık derecesinde istatistiksel olarak anlamlıdır sonucuna varılabilir. Buna göre RH ile RORT arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Eşdoğrusallık istatistikleri ise 1,000 çıkmıştır. 5 ve daha yüksek olmadığı için bağımsız değişkenler arasında korelasyon olmadığı ve her iki değişkenin de modelde kalmasının uygun olacağı şeklinde yorumlanabilir. RH’daki 1 birimlik artış RORT’u 68,105 birim arttıracaktır. Bu da rüzgâr hızının hava aracına etkisinin ne kadar büyük olduğunu göstermiştir.

BÖLÜM V

BULGULAR VE YORUM

Yapılan uçuşlarda iklimsel hava koşullarının, Quadrotor'un uçuşuna doğrudan bir etkisi saptanmamıştır. Quadrotor'a etki eden en önemli faktör rüzgâr olmuştur. Rüzgârın hızı, Quadrotor'un kendini dengede tutabilmek için verebileceği maksimum güçten fazla olması durumunda, denge kaybı yaşayarak düşmesine veya savrulmasına sebep olmuştur. Uçuşlarda yaklaşık 19-25km/h aralığında esen rüzgârın Quadrotor'un dengesini bozmada yeterli olduğu görülmüştür.



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, herhangi bir kontrollü alan oluşturmadan, anlık değişen koşullarda uçuşlar yapılmıştır. İncelenen literatür çalışmalarında da kontrolcü algoritmaları ve deney düzeneklerinin üzerinde yoğun olarak durulduğu görülmüştür. Bu çalışma, rüzgârın etkilerini ortaya koyarak gelecek çalışmalarda alınabilecek önemler hususunda fikir vermesi açısından önemlidir. Bir bütün olarak Quadrotor'un denge merkezi yerine, her rotorda oluşan etkileri görebilmek açısından da ayrı bir öneme sahiptir.

İlerleyen çalışmalarda, aerodinamik ve sert hava koşulları için geliştirilecek sistem tasarımları üzerinde durulabilir. Gelişmiş sensörler kullanılarak daha hassas ölçümler yapılabilir ve bu sayede geliştirilecek sistemlerin stabilizasyonu artırılabilir. Sistemi internet ortamına aktararak canlı müdahalelerde bulunulması, elde edilen bilgilerin açık kaynak olarak paylaşılması ve geliştirilmesi düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Albayrak, M., ve Arısoy, A. (2013). Dört Rotorlu Hava Aracı İçin Gerçek Zamanda Yapay Sinir Ağları İle Kontrolör Tasarımı, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Vol 6, 1-7.
- Ataseven M.S., Ataseven S. (2012), Rüzgar Ölçüm Sistemler, http://www.emo.org.tr/ekler/457ed884716a0c9_ek.pdf, Erişim tarihi: 19 Haziran 2019.
- Aviastar, Helicopters built between 1907 and 1935 http://www.aviastar.org/helicopters_eng/france.html, Erişim tarihi: 17 Mayıs 2019.
- Azfar, Z.A., and Hazry, D. (2011). "A Simple Approach On Implementing Imu Sensor Fusion in PID Controller For Stabilizing Quadrotor Flight Control", 2011 IEEE 7th International Colloquium On Signal Processing And Its Applications, Penang, Vol 7, 28-32.
- Baran, E.A., Hançer, C., Çalikoğlu, E., Duman, E., Çetinsoy, E., Ünel, M., ve Akşit, M.F. (2008). "İnsansız Hava Araçları İçin Test Düzeneği Tasarımı Ve Üretimi", Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK'08.
- Bryan R. Swopes, "4 May 1924", <http://www.thisdayinaviation.com/4-1924/>, (Ziyaret edilme tarihi 25.05.2019).
- Bosch Sensortec, BME280 sensör datasheet, https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280-DS002.pdf, Erişim tarihi: 15 Haziran 2019.
- Bouabdallah, S., and Siegwart, R. (2005). "Backstepping and Sliding-mode Techniques Applied to an Indoor Micro Quadrotor", Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2247-2252.
- Castillo, P., Albertos, P., Garcia, P., Lozano, R., Stabilization of a Mini Rotorcraft with Four Rotors (2006), IEEE Conference on Decision & Control, Vol 25, 45-55
- Digi-Key Electronics, Arduino Nano datasheet, <http://media.digikey.com/PDF/Data%20Sheets/Arduino%20PDFs/A000005.pdf>, Erişim tarihi: 5 Temmuz 2019.

- Durak, M., Özer, S., & Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği. (2008). Rüzgâr enerjisi teori ve uygulama. Ankara: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği, s. 113-195.
- Erginer, B. (2007). “Quadrotor VTOL Aracının Modellenmesi ve Kontrolü”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fan, Y., & Aramrattana, M. (2013). “Exploration and Mapping of Warehouses Using Quadrotor Helicopters, Master Thesis, Halmstad University, Sweden.
- Fernando, H.C.T.E., De Silva, A.T.A., De Zoysa, M.D.C., Dilshan, K.A.D.C., and Munasinghe, S.R. (2013). “Modelling, simulation and implementation of a quadrotor UAV”, Industrial and Information Systems (ICIIS), 2013 8th IEEE International Conference, Peradeniya, 207-212.
- Flysky Technologies, FS-TH9X kumanda datasheet, <https://static1.squarespace.com/static/5bc852d6b9144934c40d499c/t/5c6233b5104c7b8c8db4465c/1549939775278/FS-TH9X+User+Manual+20170721.pdf>, Erişim tarihi: 5 Temmuz 2019.
- Freemeteo, Hava tahmin sitesi, <https://tr.freemeteo.com/havadurumu/osmaniye>, Erişim tarihi: 20 Mayıs 2019.
- Göl G. (2015), “Quadcopter nedir, nasıl çalışır?”, https://www.academia.edu/10150955/Quadcopter_nedir_nas%C4%B1_u%C3%A7ar_, Erişim tarihi: 20 Mayıs 2019.
- Grzonka, S., Grisetti, G., and Burgard, W., (2011). A Fully Autonomous Indoor Quadrotor, IEEE Transactions On Robotics, Vol 28, 90-100.
- Hamel, T., Mahony, R., Lozano, R., Ostrowski, J. (2002), Dynamic Modeling and Configuration Stabilization for an X4-Flyer, IFAC 15th Triennial World Congress.
- Hobbyking, KK2.0 multi-rotor kontrol kartı datasheet, <https://hobbyking.com/media/file/1026124741X1235859X24.pdf>, Erişim tarihi: 20 Haziran 2019.
- Jaehong, L., Changmin L., and DaeEun K. (2013). Attitude Control of Quadrotor with On- Board Visual Feature Projection System, Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference, Tokyo, 2426-2431.
- Kalaycı, Ş. (2009). *SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri*. 4. Baskı, 259-269. Ankara: Asil Yayın Dağıtım.

- Leishman J. G. (2006). *Principles of Helicopter Aerodynamics*, Cambridge Aerospace Series.
- Ökten, İ., Üçgün, H., Yüzgeç, U., ve Kesler, M. (2016). Döner Kanat İnsansız Hava Aracının Dinamik Modellenmesi ve Benzetimi, Mahmut Hekim, Kenan Zengin ve İlker Günay, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, 136-141.
- Önkol, M., Dönerkanat tipinde bir insansız hava aracının tasarımı, modellenmesi ve kontrolü (2010). Yüksek lisans tezi, TOBB ekonomi ve teknoloji üniversitesi, Ankara, 20-32.
- Ömürlü, V.E., Engin Ş.N., Kırılı, A., Kurtoğlu, ve S., Büyükşahin, U. (2011). A stationary, variable DOF flight control system for an unmanned quadcopter, Turk J Elec Eng&Comp Sci, 19(6): 891-899.
- SkyRC Technology, iMAX B6 şarj aleti datasheet, http://www.ittgroup.ee/files/IMAX_B6_manual.pdf, Erişim tarihi: 3 Temmuz 2019.
- Sözmen H., ESC nedir, Ne işe yarar, Nasıl Seçilir, Nelere dikkat Edilmelidir?, <http://www.heliteknik.com/forum/esc-regulator-governor/1643-esc-nedir-ne-ise-yarar-nasil-secilir-nelere-dikkat-edilmelidir.html>, Erişim tarihi: 03 Ocak 2019.
- Taylor, J.W.R. (1977). *Jane's pocket book of remotely piloted vehicles*, Collier Books, London.
- Uttley M.R.H. (2002). *Westland and the British Helicopter Industry, 1945-1960* New York, NY.

EK-1**Anemometreden Alınan Rüzgar Hızları****Sıcak Havada Alınan Rüzgâr Hızları**

Saniye	Rüzgar (Km)											
5.Sn	9	8	8	7	8	8	13	10	9	8	6	6
10.Sn	6	6	8	8	11	11	14	6	6	7	7	8
15.Sn	7	7	6	12	14	10	10	5	7	6	11	12
20.Sn	9	5	7	13	13	12	8	9	9	11	8	10
25.Sn	5	6	9	11	7	9	8	13	2	8	8	6
30.Sn	6	11	7	9	10	14	12	13	7	10	6	5
35.Sn	11	7	9	15	12	8	7	12	4	6	12	8
40.Sn	5	5	13	7	10	9	11	5	10	5	6	10
45.Sn	11	9	8	11	13	16	8	7	6	11	11	9
50.Sn	7	9	12	10	13	13	7	5	9	7	9	10
55.Sn	11	8	9	8	13	16	9	9	4	9	4	9
60.Sn	7	11	9	14	8	12	10	9	8	11	12	5
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Ilık Havada Alınan Rüzgâr Hızları

Saniye	Rüzgar (Km)											
5.Sn	7	7	7	5	7	5	12	10	11	9	7	6
10.Sn	4	5	7	6	10	8	13	6	8	8	8	8
15.Sn	5	6	5	10	13	7	9	5	9	7	12	12
20.Sn	7	4	6	11	12	9	7	9	11	12	9	10
25.Sn	3	5	8	9	6	6	7	13	4	9	9	6
30.Sn	4	10	6	7	9	11	11	13	9	11	7	5
35.Sn	9	6	8	13	11	5	6	12	6	7	13	8
40.Sn	3	4	12	5	9	6	10	5	12	6	7	10
45.Sn	9	8	7	9	12	13	7	7	8	12	12	9
50.Sn	5	8	11	8	12	10	6	5	11	8	10	10
55.Sn	9	7	8	6	12	13	8	9	6	10	5	9
60.Sn	5	10	8	12	7	9	9	9	10	12	13	5
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Rüzgarlı Havada Alınan Rüzgâr Hızları

Saniye	Rüzgar (Km)											
5.Sn	10	11	22	22	24	25	23	18	17	27	22	16
10.Sn	12	17	18	11	23	20	15	18	12	26	15	18
15.Sn	17	17	12	10	13	15	20	17	27	16	19	23
20.Sn	14	20	10	16	22	14	28	21	16	14	27	22
25.Sn	12	14	14	19	14	25	12	21	15	26	25	24
30.Sn	11	20	21	17	20	23	20	20	13	23	17	21
35.Sn	14	17	16	25	13	12	26	13	25	22	13	28
40.Sn	12	12	21	25	12	22	25	19	27	19	20	21
45.Sn	13	19	13	13	13	25	15	13	17	16	23	26
50.Sn	10	12	13	22	13	13	12	18	16	14	18	29
55.Sn	10	11	15	25	13	13	19	24	26	14	22	30
60.Sn	12	12	23	24	20	18	19	12	17	28	23	25
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Yağmurlu Havada Alınan Rüzgâr Hızları

Saniye	Rüzgar (Km)											
5.Sn	9	8	9	5	6	6	13	12	14	12	11	11
10.Sn	6	6	9	6	9	9	14	8	11	11	12	13
15.Sn	7	7	7	10	12	8	10	7	12	10	16	17
20.Sn	9	5	8	11	11	10	8	11	14	15	13	15
25.Sn	5	6	10	9	5	7	8	15	7	12	13	11
30.Sn	6	11	8	7	8	12	12	15	12	14	11	10
35.Sn	11	7	10	13	10	6	7	14	9	10	17	13
40.Sn	5	5	14	5	8	7	11	7	15	9	11	15
45.Sn	11	9	9	9	11	14	8	9	11	15	16	14
50.Sn	7	9	13	8	11	11	7	7	14	11	14	15
55.Sn	11	8	10	6	11	14	9	11	9	13	9	14
60.Sn	7	11	10	12	6	10	10	11	13	15	17	10
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Soğuk Havada Alman Rüzgâr Hızları

Saniye	Rüzgar (Km)											
	5.Sn	9	9	7	4	6	4	10	10	11	9	6
10.Sn	6	7	7	5	9	7	11	6	8	8	7	7
15.Sn	7	8	5	9	12	6	7	5	9	7	11	11
20.Sn	9	6	6	10	11	8	5	9	11	12	8	9
25.Sn	5	7	8	8	5	5	5	13	4	9	8	5
30.Sn	6	12	6	6	8	10	9	13	9	11	6	4
35.Sn	11	8	8	12	10	4	4	12	6	7	12	7
40.Sn	5	6	12	4	8	5	8	5	12	6	6	9
45.Sn	11	10	7	8	11	12	5	7	8	12	11	8
50.Sn	7	10	11	7	11	9	4	5	11	8	9	9
55.Sn	11	9	8	5	11	12	6	9	6	10	4	8
60.Sn	7	12	8	11	6	8	7	9	10	12	12	4
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Ek-2**Kızıl Ötesi Sensörlerden Alınan Devirler****Sıcak Havada Alınan Devirler**

Saniye	1. Rotor (RPM)											
5.Sn	5616	5559	6558	5850	5663	6164	5987	5858	4897	5893	6380	6030
10.Sn	6059	5482	6477	5638	5965	6202	5754	5144	5301	5327	5675	5528
15.Sn	6095	5896	5806	5521	5814	5943	6187	5528	5194	6181	5101	5486
20.Sn	6061	6759	6548	6173	6452	6528	4933	5311	5934	5940	6411	5490
25.Sn	6336	5510	5965	5914	5764	5852	6179	5619	4656	6471	5378	5615
30.Sn	5373	5463	6019	5451	6577	5776	5593	5239	4681	6349	5342	5188
35.Sn	5851	6784	6820	6516	5408	5642	5412	5170	4875	5136	5635	6230
40.Sn	6035	5559	6413	6065	5333	6553	5228	5124	5744	6148	5629	4966
45.Sn	5443	6197	5921	5525	6066	6266	4945	4781	5536	5312	5998	5403
50.Sn	5247	6637	6639	5574	5657	6014	6043	5885	4733	5914	6183	5868
55.Sn	6466	6171	6821	5985	6324	6147	5067	4992	5778	5277	5487	5794
60.Sn	5329	5795	6103	5628	6473	5600	5526	5405	5386	6181	6008	5332
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	2. Rotor (RPM)											
5.Sn	5612	5517	6111	6494	6310	6735	6862	6720	6058	6248	7007	6254
10.Sn	6055	5440	6030	6282	6612	6773	6629	6006	6462	5682	6302	5752
15.Sn	6091	5854	5359	6165	6461	6514	7062	6390	6355	6536	5728	5710
20.Sn	6057	6717	6101	6817	7099	7099	5808	6173	7095	6295	7038	5714
25.Sn	6332	5468	5518	6558	6411	6423	7054	6481	5817	6826	6005	5839
30.Sn	5369	5421	5572	6095	7224	6347	6468	6101	5842	6704	5969	5412
35.Sn	5847	6742	6373	7160	6055	6213	6287	6032	6036	5491	6262	6454
40.Sn	6031	5517	5966	6709	5980	7124	6103	5986	6905	6503	6256	5190
45.Sn	5439	6155	5474	6169	6713	6837	5820	5643	6697	5667	6625	5627
50.Sn	5243	6595	6192	6218	6304	6585	6918	6747	5894	6269	6810	6092
55.Sn	6462	6129	6374	6629	6971	6718	5942	5854	6939	5632	6114	6018
60.Sn	5325	5753	5656	6272	7120	6171	6401	6267	6547	6536	6635	5556
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	3. Rotor (RPM)											
5.Sn	5623	5553	6073	6157	5985	6387	6834	6260	6134	5576	6191	6206
10.Sn	6066	5476	5992	5945	6287	6425	6601	5546	6538	5010	5486	5704
15.Sn	6102	5890	5321	5828	6136	6166	7034	5930	6431	5864	4912	5662
20.Sn	6068	6753	6063	6480	6774	6751	5780	5713	7171	5623	6222	5666
25.Sn	6343	5504	5480	6221	6086	6075	7026	6021	5893	6154	5189	5791
30.Sn	5380	5457	5534	5758	6899	5999	6440	5641	5918	6032	5153	5364
35.Sn	5858	6778	6335	6823	5730	5865	6259	5572	6112	4819	5446	6406
40.Sn	6042	5553	5928	6372	5655	6776	6075	5526	6981	5831	5440	5142
45.Sn	5450	6191	5436	5832	6388	6489	5792	5183	6773	4995	5809	5579
50.Sn	5254	6631	6154	5881	5979	6237	6890	6287	5970	5597	5994	6044
55.Sn	6473	6165	6336	6292	6646	6370	5914	5394	7015	4960	5298	5970
60.Sn	5336	5789	5618	5935	6795	5823	6373	5807	6623	5864	5819	5508
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	4. Rotor (RPM)											
5.Sn	5637	5611	6606	6504	6263	6747	6466	6644	5170	5540	6467	5994
10.Sn	6080	5534	6525	6292	6565	6785	6233	5930	5574	4974	5762	5492
15.Sn	6116	5948	5854	6175	6414	6526	6666	6314	5467	5828	5188	5450
20.Sn	6082	6811	6596	6827	7052	7111	5412	6097	6207	5587	6498	5454
25.Sn	6357	5562	6013	6568	6364	6435	6658	6405	4929	6118	5465	5579
30.Sn	5394	5515	6067	6105	7177	6359	6072	6025	4954	5996	5429	5152
35.Sn	5872	6836	6868	7170	6008	6225	5891	5956	5148	4783	5722	6194
40.Sn	6056	5611	6461	6719	5933	7136	5707	5910	6017	5795	5716	4930
45.Sn	5464	6249	5969	6179	6666	6849	5424	5567	5809	4959	6085	5367
50.Sn	5268	6689	6687	6228	6257	6597	6522	6671	5006	5561	6270	5832
55.Sn	6487	6223	6869	6639	6924	6730	5546	5778	6051	4924	5574	5758
60.Sn	5350	5847	6151	6282	7073	6183	6005	6191	5659	5828	6095	5296
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

İlk Havada Alınan Devirler

Saniye	1. Rotor (RPM)											
5.Sn	5404	5134	5609	5096	5970	6098	6875	6478	5412	6142	6746	6030
10.Sn	5847	5057	5528	4884	6272	6136	6642	5764	5816	5576	6041	5528
15.Sn	5883	5471	4857	4767	6121	5877	7075	6148	5709	6430	5467	5486
20.Sn	5849	6334	5599	5419	6759	6462	5821	5931	6449	6189	6777	5490
25.Sn	6124	5085	5016	5160	6071	5786	7067	6239	5171	6720	5744	5615
30.Sn	5161	5038	5070	4697	6884	5710	6481	5859	5196	6598	5708	5188
35.Sn	5639	6359	5871	5762	5715	5576	6300	5790	5390	5385	6001	6230
40.Sn	5823	5134	5464	5311	5640	6487	6116	5744	6259	6397	5995	4966
45.Sn	5231	5772	4972	4771	6373	6200	5833	5401	6051	5561	6364	5403
50.Sn	5035	6212	5690	4820	5964	5948	6931	6505	5248	6163	6549	5868
55.Sn	6254	5746	5872	5231	6631	6081	5955	5612	6293	5526	5853	5794
60.Sn	5117	5370	5154	4874	6780	5534	6414	6025	5901	6430	6374	5332
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	2. Rotor (RPM)											
5.Sn	5138	5398	5557	5458	5503	5936	6526	6318	5540	6112	6930	6254
10.Sn	5581	5321	5476	5246	5805	5974	6293	5604	5944	5546	6225	5752
15.Sn	5617	5735	4805	5129	5654	5715	6726	5988	5837	6400	5651	5710
20.Sn	5583	6598	5547	5781	6292	6300	5472	5771	6577	6159	6961	5714
25.Sn	5858	5349	4964	5522	5604	5624	6718	6079	5299	6690	5928	5839
30.Sn	4895	5302	5018	5059	6417	5548	6132	5699	5324	6568	5892	5412
35.Sn	5373	6623	5819	6124	5248	5414	5951	5630	5518	5355	6185	6454
40.Sn	5557	5398	5412	5673	5173	6325	5767	5584	6387	6367	6179	5190
45.Sn	4965	6036	4920	5133	5906	6038	5484	5241	6179	5531	6548	5627
50.Sn	4769	6476	5638	5182	5497	5786	6582	6345	5376	6133	6733	6092
55.Sn	5988	6010	5820	5593	6164	5919	5606	5452	6421	5496	6037	6018
60.Sn	4851	5634	5102	5236	6313	5372	6065	5865	6029	6400	6558	5556
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	3. Rotor (RPM)											
5.Sn	5119	5334	5679	5536	5721	5838	6876	6257	5450	6240	6314	6206
10.Sn	5562	5257	5598	5324	6023	5876	6643	5543	5854	5674	5609	5704
15.Sn	5598	5671	4927	5207	5872	5617	7076	5927	5747	6528	5035	5662
20.Sn	5564	6534	5669	5859	6510	6202	5822	5710	6487	6287	6345	5666
25.Sn	5839	5285	5086	5600	5822	5526	7068	6018	5209	6818	5312	5791
30.Sn	4876	5238	5140	5137	6635	5450	6482	5638	5234	6696	5276	5364
35.Sn	5354	6559	5941	6202	5466	5316	6301	5569	5428	5483	5569	6406
40.Sn	5538	5334	5534	5751	5391	6227	6117	5523	6297	6495	5563	5142
45.Sn	4946	5972	5042	5211	6124	5940	5834	5180	6089	5659	5932	5579
50.Sn	4750	6412	5760	5260	5715	5688	6932	6284	5286	6261	6117	6044
55.Sn	5969	5946	5942	5671	6382	5821	5956	5391	6331	5624	5421	5970
60.Sn	4832	5570	5224	5314	6531	5274	6415	5804	5939	6528	5942	5508
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	4. Rotor (RPM)											
5.Sn	5299	5390	5471	5184	6048	6093	6184	6668	5683	6304	6390	5994
10.Sn	5742	5313	5390	4972	6350	6131	5951	5954	6087	5738	5685	5492
15.Sn	5778	5727	4719	4855	6199	5872	6384	6338	5980	6592	5111	5450
20.Sn	5744	6590	5461	5507	6837	6457	5130	6121	6720	6351	6421	5454
25.Sn	6019	5341	4878	5248	6149	5781	6376	6429	5442	6882	5388	5579
30.Sn	5056	5294	4932	4785	6962	5705	5790	6049	5467	6760	5352	5152
35.Sn	5534	6615	5733	5850	5793	5571	5609	5980	5661	5547	5645	6194
40.Sn	5718	5390	5326	5399	5718	6482	5425	5934	6530	6559	5639	4930
45.Sn	5126	6028	4834	4859	6451	6195	5142	5591	6322	5723	6008	5367
50.Sn	4930	6468	5552	4908	6042	5943	6240	6695	5519	6325	6193	5832
55.Sn	6149	6002	5734	5319	6709	6076	5264	5802	6564	5688	5497	5758
60.Sn	5012	5626	5016	4962	6858	5529	5723	6215	6172	6592	6018	5296
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Rüzgârlı Havada Alman Devirler

Saniye	1. Rotor (RPM)											
5.Sn	5449	5966	7049	5778	6454	7101	6939	7333	6838	7012	7240	7043
10.Sn	5892	5889	6968	5566	6756	7139	6706	6619	7242	6446	6535	6541
15.Sn	5928	6303	6297	5449	6605	6880	7139	7003	7135	7300	5961	6499
20.Sn	5894	7166	7039	6101	7243	7465	5885	6786	7875	7059	7271	6503
25.Sn	6169	5917	6456	5842	6555	6789	7131	7094	6597	7590	6238	6628
30.Sn	5206	5870	6510	5379	7368	6713	6545	6714	6622	7468	6202	6201
35.Sn	5684	7191	7311	6444	6199	6579	6364	6645	6816	6255	6495	7243

40.Sn	5868	5966	6904	5993	6124	7490	6180	6599	7685	7267	6489	5979
45.Sn	5276	6604	6412	5453	6857	7203	5897	6256	7477	6431	6858	6416
50.Sn	5080	7044	7130	5502	6448	6951	6995	7360	6674	7033	7043	6881
55.Sn	6299	6578	7312	5913	7115	7084	6019	6467	7719	6396	6347	6807
60.Sn	5162	6202	6594	5556	7264	6537	6478	6880	7327	7300	6868	6345
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	2. Rotor (RPM)											
5.Sn	5429	5698	6985	6580	6390	6706	6984	7426	6633	6494	6097	5828
10.Sn	5872	5621	6904	6368	6692	6744	6751	6712	7037	5928	5392	5326
15.Sn	5908	6035	6233	6251	6541	6485	7184	7096	6930	6782	4818	5284
20.Sn	5874	6898	6975	6903	7179	7070	5930	6879	7670	6541	6128	5288
25.Sn	6149	5649	6392	6644	6491	6394	7176	7187	6392	7072	5095	5413
30.Sn	5186	5602	6446	6181	7304	6318	6590	6807	6417	6950	5059	4986
35.Sn	5664	6923	7247	7246	6135	6184	6409	6738	6611	5737	5352	6028
40.Sn	5848	5698	6840	6795	6060	7095	6225	6692	7480	6749	5346	4764
45.Sn	5256	6336	6348	6255	6793	6808	5942	6349	7272	5913	5715	5201
50.Sn	5060	6776	7066	6304	6384	6556	7040	7453	6469	6515	5900	5666
55.Sn	6279	6310	7248	6715	7051	6689	6064	6560	7514	5878	5204	5592
60.Sn	5142	5934	6530	6358	7200	6142	6523	6973	7122	6782	5725	5130
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	3. Rotor (RPM)											
5.Sn	5317	5714	7160	6722	6565	6973	7049	7513	6802	7020	7202	6911
10.Sn	5760	5637	7079	6510	6867	7011	6816	6799	7206	6454	6497	6409
15.Sn	5796	6051	6408	6393	6716	6752	7249	7183	7099	7308	5923	6367
20.Sn	5762	6914	7150	7045	7354	7337	5995	6966	7839	7067	7233	6371
25.Sn	6037	5665	6567	6786	6666	6661	7241	7274	6561	7598	6200	6496
30.Sn	5074	5618	6621	6323	7479	6585	6655	6894	6586	7476	6164	6069
35.Sn	5552	6939	7422	7388	6310	6451	6474	6825	6780	6263	6457	7111
40.Sn	5736	5714	7015	6937	6235	7362	6290	6779	7649	7275	6451	5847
45.Sn	5144	6352	6523	6397	6968	7075	6007	6436	7441	6439	6820	6284
50.Sn	4948	6792	7241	6446	6559	6823	7105	7540	6638	7041	7005	6749
55.Sn	6167	6326	7423	6857	7226	6956	6129	6647	7683	6404	6309	6675
60.Sn	5030	5950	6705	6500	7375	6409	6588	7060	7291	7308	6830	6213
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	4. Rotor (RPM)											
5.Sn	5381	6206	6145	6040	6398	6458	7069	7326	6622	7229	7727	7654
10.Sn	5824	6129	6064	5828	6700	6496	6836	6612	7026	6663	7022	7152
15.Sn	5860	6543	5393	5711	6549	6237	7269	6996	6919	7517	6448	7110
20.Sn	5826	7406	6135	6363	7187	6822	6015	6779	7659	7276	7758	7114

25.Sn	6101	6157	5552	6104	6499	6146	7261	7087	6381	7807	6725	7239
30.Sn	5138	6110	5606	5641	7312	6070	6675	6707	6406	7685	6689	6812
35.Sn	5616	7431	6407	6706	6143	5936	6494	6638	6600	6472	6982	7854
40.Sn	5736	6206	6000	6255	6068	6847	6310	6592	7469	7484	6976	6590
45.Sn	5144	6844	5508	5715	6801	6560	6027	6249	7261	6648	7345	7027
50.Sn	4948	7284	6226	5764	6392	6308	7125	7353	6458	7250	7530	7492
55.Sn	6167	6818	6408	6175	7059	6441	6149	6460	7503	6613	6834	7418
60.Sn	5030	6442	5690	5818	7208	5894	6608	6873	7111	7517	7355	6956
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Yağmurlu Havada Alınan Devirler

Saniye	1. Rotor (RPM)											
5.Sn	5181	5419	5821	6120	5741	6249	6676	6803	6051	6669	7014	6756
10.Sn	5624	5342	5740	5908	6043	6287	6443	6089	6455	6103	6309	6254
15.Sn	5660	5756	5069	5791	5892	6028	6876	6473	6348	6957	5735	6212
20.Sn	5626	6619	5811	6443	6530	6613	5622	6256	7088	6716	7045	6216
25.Sn	5901	5370	5228	6184	5842	5937	6868	6564	5810	7247	6012	6341
30.Sn	4938	5323	5282	5721	6655	5861	6282	6184	5835	7125	5976	5914
35.Sn	5416	6644	6083	6786	5486	5727	6101	6115	6029	5912	6269	6956
40.Sn	5600	5419	5676	6335	5411	6638	5917	6069	6898	6924	6263	5692
45.Sn	5008	6057	5184	5795	6144	6351	5634	5726	6690	6088	6632	6129
50.Sn	4812	6497	5902	5844	5735	6099	6732	6830	5887	6690	6817	6594
55.Sn	6031	6031	6084	6255	6402	6232	5756	5937	6932	6053	6121	6520
60.Sn	4894	5655	5366	5898	6551	5685	6215	6350	6540	6957	6642	6058
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	2. Rotor (RPM)											
5.Sn	5295	5151	5513	5510	5833	6171	6544	6624	6226	6334	7249	6713
10.Sn	5738	5074	5432	5298	6135	6209	6311	5910	6630	5768	6544	6211
15.Sn	5774	5488	4761	5181	5984	5950	6744	6294	6523	6622	5970	6169
20.Sn	5740	6351	5503	5833	6622	6535	5490	6077	7263	6381	7280	6173
25.Sn	6015	5102	4920	5574	5934	5859	6736	6385	5985	6912	6247	6298
30.Sn	5052	5055	4974	5111	6747	5783	6150	6005	6010	6790	6211	5871
35.Sn	5530	6376	5775	6176	5578	5649	5969	5936	6204	5577	6504	6913
40.Sn	5714	5151	5368	5725	5503	6560	5785	5890	7073	6589	6498	5649
45.Sn	5122	5789	4876	5185	6236	6273	5502	5547	6865	5753	6867	6086
50.Sn	4926	6229	5594	5234	5827	6021	6600	6651	6062	6355	7052	6551

55.Sn	6145	5763	5776	5645	6494	6154	5624	5758	7107	5718	6356	6477
60.Sn	5008	5387	5058	5288	6643	5607	6083	6171	6715	6622	6877	6015
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	3. Rotor (RPM)											
5.Sn	5396	5059	5955	5750	5965	6195	6854	6856	5731	6063	6883	6853
10.Sn	5839	4982	5874	5538	6267	6233	6621	6142	6135	5497	6178	6351
15.Sn	5875	5396	5203	5421	6116	5974	7054	6526	6028	6351	5604	6309
20.Sn	5841	6259	5945	6073	6754	6559	5800	6309	6768	6110	6914	6313
25.Sn	6116	5010	5362	5814	6066	5883	7046	6617	5490	6641	5881	6438
30.Sn	5153	4963	5416	5351	6879	5807	6460	6237	5515	6519	5845	6011
35.Sn	5631	6284	6217	6416	5710	5673	6279	6168	5709	5306	6138	7053
40.Sn	5815	5059	5810	5965	5635	6584	6095	6122	6578	6318	6132	5789
45.Sn	5223	5697	5318	5425	6368	6297	5812	5779	6370	5482	6501	6226
50.Sn	5027	6137	6036	5474	5959	6045	6910	6883	5567	6084	6686	6691
55.Sn	6246	5671	6218	5885	6626	6178	5934	5990	6612	5447	5990	6617
60.Sn	5109	5295	5500	5528	6775	5631	6393	6403	6220	6351	6511	6155
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	4. Rotor (RPM)											
5.Sn	5386	5019	6003	5944	6015	6235	6800	6672	5985	6169	7005	6977
10.Sn	5829	4942	5922	5732	6317	6273	6567	5958	6389	5603	6300	6475
15.Sn	5865	5356	5251	5615	6166	6014	7000	6342	6282	6457	5726	6433
20.Sn	5831	6219	5993	6267	6804	6599	5746	6125	7022	6216	7036	6437
25.Sn	6106	4970	5410	6008	6116	5923	6992	6433	5744	6747	6003	6562
30.Sn	5143	4923	5464	5545	6929	5847	6406	6053	5769	6625	5967	6135
35.Sn	5621	6244	6265	6610	5760	5713	6225	5984	5963	5412	6260	7177
40.Sn	5805	5019	5858	6159	5685	6624	6041	5938	6832	6424	6254	5913
45.Sn	5213	5657	5366	5619	6418	6337	5758	5595	6624	5588	6623	6350
50.Sn	5017	6097	6084	5668	6009	6085	6856	6699	5821	6190	6808	6815
55.Sn	6236	5631	6266	6079	6676	6218	5880	5806	6866	5553	6112	6741
60.Sn	5099	5255	5548	5722	6825	5671	6339	6219	6474	6457	6633	6279
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Soğuk Havada Alman Devirler

Saniye	1. Rotor (RPM)											
5.Sn	5069	5262	5916	5573	5320	5697	6055	6123	5286	5616	6190	5984
10.Sn	5512	5185	5835	5361	5622	5735	5822	5409	5690	5050	5485	5482
15.Sn	5548	5599	5164	5244	5471	5476	6255	5793	5583	5904	4911	5440
20.Sn	5514	6462	5906	5896	6109	6061	5001	5576	6323	5663	6221	5444
25.Sn	5789	5213	5323	5637	5421	5385	6247	5884	5045	6194	5188	5569
30.Sn	4826	5166	5377	5174	6234	5309	5661	5504	5070	6072	5152	5142
35.Sn	5304	6487	6178	6239	5065	5175	5480	5435	5264	4859	5445	6184
40.Sn	5488	5262	5771	5788	4990	6086	5296	5389	6133	5871	5439	4920
45.Sn	4896	5900	5279	5248	5723	5799	5013	5046	5925	5035	5808	5357
50.Sn	4700	6340	5997	5297	5314	5547	6111	6150	5122	5637	5993	5822
55.Sn	5919	5874	6179	5708	5981	5680	5135	5257	6167	5000	5297	5748
60.Sn	4782	5498	5461	5351	6130	5133	5594	5670	5775	5904	5818	5286
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	2. Rotor (RPM)											
5.Sn	5181	5562	6008	6075	5344	6162	6204	6602	5758	6133	6704	6391
10.Sn	5624	5485	5927	5863	5646	6200	5971	5888	6162	5567	5999	5889
15.Sn	5660	5899	5256	5746	5495	5941	6404	6272	6055	6421	5425	5847
20.Sn	5626	6762	5998	6398	6133	6526	5150	6055	6795	6180	6735	5851
25.Sn	5901	5513	5415	6139	5445	5850	6396	6363	5517	6711	5702	5976
30.Sn	4938	5466	5469	5676	6258	5774	5810	5983	5542	6589	5666	5549
35.Sn	5416	6787	6270	6741	5089	5640	5629	5914	5736	5376	5959	6591
40.Sn	5600	5562	5863	6290	5014	6551	5445	5868	6605	6388	5953	5327
45.Sn	5008	6200	5371	5750	5747	6264	5162	5525	6397	5552	6322	5764
50.Sn	4812	6640	6089	5799	5338	6012	6260	6629	5594	6154	6507	6229
55.Sn	6031	6174	6271	6210	6005	6145	5284	5736	6639	5517	5811	6155
60.Sn	4894	5798	5553	5853	6154	5598	5743	6149	6247	6421	6332	5693
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	3. Rotor (RPM)											
5.Sn	5135	5342	6080	5941	5468	6196	6480	6543	5609	6111	6826	6535
10.Sn	5578	5265	5999	5729	5770	6234	6247	5829	6013	5545	6121	6033
15.Sn	5614	5679	5328	5612	5619	5975	6680	6213	5906	6399	5547	5991
20.Sn	5580	6542	6070	6264	6257	6560	5426	5996	6646	6158	6857	5995
25.Sn	5855	5293	5487	6005	5569	5884	6672	6304	5368	6689	5824	6120
30.Sn	4892	5246	5541	5542	6382	5808	6086	5924	5393	6567	5788	5693

35.Sn	5370	6567	6342	6607	5213	5674	5905	5855	5587	5354	6081	6735
40.Sn	5554	5342	5935	6156	5138	6585	5721	5809	6456	6366	6075	5471
45.Sn	4962	5980	5443	5616	5871	6298	5438	5466	6248	5530	6444	5908
50.Sn	4766	6420	6161	5665	5462	6046	6536	6570	5445	6132	6629	6373
55.Sn	5985	5954	6343	6076	6129	6179	5560	5677	6490	5495	5933	6299
60.Sn	4848	5578	5625	5719	6278	5632	6019	6090	6098	6399	6454	5837
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Saniye	4. Rotor (RPM)											
5.Sn	5229	5414	6240	5801	5244	5822	5907	5727	5116	5378	6038	6182
10.Sn	5672	5337	6159	5589	5546	5860	5674	5013	5520	4812	5333	5680
15.Sn	5708	5751	5488	5472	5395	5601	6107	5397	5413	5666	4759	5638
20.Sn	5674	6614	6230	6124	6033	6186	4853	5180	6153	5425	6069	5642
25.Sn	5949	5365	5647	5865	5345	5510	6099	5488	4875	5956	5036	5767
30.Sn	4986	5318	5701	5402	6158	5434	5513	5108	4900	5834	5000	5340
35.Sn	5464	6639	6502	6467	4989	5300	5332	5039	5094	4621	5293	6382
40.Sn	5648	5414	6095	6016	4914	6211	5148	4993	5963	5633	5287	5118
45.Sn	5056	6052	5603	5476	5647	5924	4865	4650	5755	4797	5656	5555
50.Sn	4860	6492	6321	5525	5238	5672	5963	5754	4952	5399	5841	6020
55.Sn	6079	6026	6503	5936	5905	5805	4987	4861	5997	4762	5145	5946
60.Sn	4942	5650	5785	5579	6054	5258	5446	5274	5605	5666	5666	5484
Dakika	1.Dk	2.Dk	3.Dk	4.Dk	5.Dk	6.Dk	7.Dk	8.Dk	9.Dk	10.Dk	11.Dk	12.Dk

Ek-3

SPSS Analiz Verileri

	Sıcak Hava											
1. ROTOR (RPM)	5616	6059	6095	6061	6336	5373	5851	6035	5443	5247	6466	5329
	5559	5482	5896	6759	5510	5463	6784	5559	6197	6637	6171	5795
	6558	6477	5806	6548	5965	6019	6820	6413	5921	6639	6821	6103
	5850	5638	5521	6173	5914	5451	6516	6065	5525	5574	5985	5628
	5663	5965	5814	6452	5764	6577	5408	5333	6066	5657	6324	6473
	6164	6202	5943	6528	5852	5776	5642	6553	6266	6014	6147	5600
	5987	5754	6187	4933	6179	5593	5412	5228	4945	6043	5067	5526
	5858	5144	5528	5311	5619	5239	5170	5124	4781	5885	4992	5405
	4897	5301	5194	5934	4656	4681	4875	5744	5536	4733	5778	5386
	5893	5327	6181	5940	6471	6349	5136	6148	5312	5914	5277	6181
	6380	5675	5101	6411	5378	5342	5635	5629	5998	6183	5487	6008
	6030	5528	5486	5490	5615	5188	6230	4966	5403	5868	5794	5332
2. ROTOR (RPM)	5612	6055	6091	6057	6332	5369	5847	6031	5439	5243	6462	5325
	5517	5440	5854	6717	5468	5421	6742	5517	6155	6595	6129	5753
	6111	6030	5359	6101	5518	5572	6373	5966	5474	6192	6374	5656
	6494	6282	6165	6817	6558	6095	7160	6709	6169	6218	6629	6272
	6310	6612	6461	7099	6411	7224	6055	5980	6713	6304	6971	7120

2. ROTOR (RPM)	6735	6773	6514	7099	6423	6347	6213	7124	6837	6585	6718	6171
	6862	6629	7062	5808	7054	6468	6287	6103	5820	6918	5942	6401
	6720	6006	6390	6173	6481	6101	6032	5986	5643	6747	5854	6267
	6058	6462	6355	7095	5817	5842	6036	6905	6697	5894	6939	6547
	6248	5682	6536	6295	6826	6704	5491	6503	5667	6269	5632	6536
	7007	6302	5728	7038	6005	5969	6262	6256	6625	6810	6114	6635
	6254	5752	5710	5714	5839	5412	6454	5190	5627	6092	6018	5556
3. ROTOR (RPM)	5623	6066	6102	6068	6343	5380	5858	6042	5450	5254	6473	5336
	5553	5476	5890	6753	5504	5457	6778	5553	6191	6631	6165	5789
	6073	5992	5321	6063	5480	5534	6335	5928	5436	6154	6336	5618
	6157	5945	5828	6480	6221	5758	6823	6372	5832	5881	6292	5935
	5985	6287	6136	6774	6086	6899	5730	5655	6388	5979	6646	6795
	6387	6425	6166	6751	6075	5999	5865	6776	6489	6237	6370	5823
	6834	6601	7034	5780	7026	6440	6259	6075	5792	6890	5914	6373
	6260	5546	5930	5713	6021	5641	5572	5526	5183	6287	5394	5807
	6134	6538	6431	7171	5893	5918	6112	6981	6773	5970	7015	6623
	5576	5010	5864	5623	6154	6032	4819	5831	4995	5597	4960	5864
	6191	5486	4912	6222	5189	5153	5446	5440	5809	5994	5298	5819
6206	5704	5662	5666	5791	5364	6406	5142	5579	6044	5970	5508	
4. ROTOR (RPM)	5637	6080	6116	6082	6357	5394	5872	6056	5464	5268	6487	5350
	5611	5534	5948	6811	5562	5515	6836	5611	6249	6689	6223	5847
	6606	6525	5854	6596	6013	6067	6868	6461	5969	6687	6869	6151
	6504	6292	6175	6827	6568	6105	7170	6719	6179	6228	6639	6282
	6263	6565	6414	7052	6364	7177	6008	5933	6666	6257	6924	7073

4. ROTOR (RPM)	6747	6785	6526	7111	6435	6359	6225	7136	6849	6597	6730	6183
	6466	6233	6666	5412	6658	6072	5891	5707	5424	6522	5546	6005
	6644	5930	6314	6097	6405	6025	5956	5910	5567	6671	5778	6191
	5170	5574	5467	6207	4929	4954	5148	6017	5809	5006	6051	5659
	5540	4974	5828	5587	6118	5996	4783	5795	4959	5561	4924	5828
	6467	5762	5188	6498	5465	5429	5722	5716	6085	6270	5574	6095
	5994	5492	5450	5454	5579	5152	6194	4930	5367	5832	5758	5296
Rüzgâr Hızları (km/h)	9	6	7	9	5	6	11	5	11	7	11	7
	8	6	7	5	6	11	7	5	9	9	8	11
	8	8	6	7	9	7	9	13	8	12	9	9
	7	8	12	13	11	9	15	7	11	10	8	14
	8	11	14	13	7	10	12	10	13	13	13	8
	8	11	10	12	9	14	8	9	16	13	16	12
	13	14	10	8	8	12	7	11	8	7	9	10
	10	6	5	9	13	13	12	5	7	5	9	9
	9	6	7	9	2	7	4	10	6	9	4	8
	8	7	6	11	8	10	6	5	11	7	9	11
	6	7	11	8	8	6	12	6	11	9	4	12
6	8	12	10	6	5	8	10	9	10	9	5	
RORT	6104,4	5945,81	5962,48	6278,15	6004,73	5820,73	6023,06	5966,23	5849,23	6099,31	6092,23	5963,65
RH	8,33	8,17	8,92	9,5	7,67	9,17	9,25	8	10	9,25	9,08	9,67

	İlîk Hava											
1. ROTOR (RPM)	5404	5847	5883	5849	6124	5161	5639	5823	5231	5035	6254	5117
	5134	5057	5471	6334	5085	5038	6359	5134	5772	6212	5746	5370
	5609	5528	4857	5599	5016	5070	5871	5464	4972	5690	5872	5154
	5096	4884	4767	5419	5160	4697	5762	5311	4771	4820	5231	4874
	5970	6272	6121	6759	6071	6884	5715	5640	6373	5964	6631	6780
	6098	6136	5877	6462	5786	5710	5576	6487	6200	5948	6081	5534
	6875	6642	7075	5821	7067	6481	6300	6116	5833	6931	5955	6414
	6478	5764	6148	5931	6239	5859	5790	5744	5401	6505	5612	6025
	5412	5816	5709	6449	5171	5196	5390	6259	6051	5248	6293	5901
	6142	5576	6430	6189	6720	6598	5385	6397	5561	6163	5526	6430
	6746	6041	5467	6777	5744	5708	6001	5995	6364	6549	5853	6374
6030	5528	5486	5490	5615	5188	6230	4966	5403	5868	5794	5332	
2. ROTOR (RPM)	5138	5581	5617	5583	5858	4895	5373	5557	4965	4769	5988	4851
	5398	5321	5735	6598	5349	5302	6623	5398	6036	6476	6010	5634
	5557	5476	4805	5547	4964	5018	5819	5412	4920	5638	5820	5102
	5458	5246	5129	5781	5522	5059	6124	5673	5133	5182	5593	5236
	5503	5805	5654	6292	5604	6417	5248	5173	5906	5497	6164	6313
	5936	5974	5715	6300	5624	5548	5414	6325	6038	5786	5919	5372
	6526	6293	6726	5472	6718	6132	5951	5767	5484	6582	5606	6065
	6318	5604	5988	5771	6079	5699	5630	5584	5241	6345	5452	5865
	5540	5944	5837	6577	5299	5324	5518	6387	6179	5376	6421	6029

2. ROTOR (RPM)	6112	5546	6400	6159	6690	6568	5355	6367	5531	6133	5496	6400
	6930	6225	5651	6961	5928	5892	6185	6179	6548	6733	6037	6558
	6254	5752	5710	5714	5839	5412	6454	5190	5627	6092	6018	5556
3. ROTOR (RPM)	5119	5562	5598	5564	5839	4876	5354	5538	4946	4750	5969	4832
	5334	5257	5671	6534	5285	5238	6559	5334	5972	6412	5946	5570
	5679	5598	4927	5669	5086	5140	5941	5534	5042	5760	5942	5224
	5536	5324	5207	5859	5600	5137	6202	5751	5211	5260	5671	5314
	5721	6023	5872	6510	5822	6635	5466	5391	6124	5715	6382	6531
	5838	5876	5617	6202	5526	5450	5316	6227	5940	5688	5821	5274
	6876	6643	7076	5822	7068	6482	6301	6117	5834	6932	5956	6415
	6257	5543	5927	5710	6018	5638	5569	5523	5180	6284	5391	5804
	5450	5854	5747	6487	5209	5234	5428	6297	6089	5286	6331	5939
	6240	5674	6528	6287	6818	6696	5483	6495	5659	6261	5624	6528
	6314	5609	5035	6345	5312	5276	5569	5563	5932	6117	5421	5942
6206	5704	5662	5666	5791	5364	6406	5142	5579	6044	5970	5508	
4. ROTOR (RPM)	5299	5742	5778	5744	6019	5056	5534	5718	5126	4930	6149	5012
	5390	5313	5727	6590	5341	5294	6615	5390	6028	6468	6002	5626
	5471	5390	4719	5461	4878	4932	5733	5326	4834	5552	5734	5016
	5184	4972	4855	5507	5248	4785	5850	5399	4859	4908	5319	4962
	6048	6350	6199	6837	6149	6962	5793	5718	6451	6042	6709	6858
	6093	6131	5872	6457	5781	5705	5571	6482	6195	5943	6076	5529
	6184	5951	6384	5130	6376	5790	5609	5425	5142	6240	5264	5723
	6668	5954	6338	6121	6429	6049	5980	5934	5591	6695	5802	6215
	5683	6087	5980	6720	5442	5467	5661	6530	6322	5519	6564	6172

4. ROTOR (RPM)	6304	5738	6592	6351	6882	6760	5547	6559	5723	6325	5688	6592
	6390	5685	5111	6421	5388	5352	5645	5639	6008	6193	5497	6018
	5994	5492	5450	5454	5579	5152	6194	4930	5367	5832	5758	5296
Rüzgâr Hızları (km/h)	7	4	5	7	3	4	9	3	9	5	9	5
	7	5	6	4	5	10	6	4	8	8	7	10
	7	7	5	6	8	6	8	12	7	11	8	8
	5	6	10	11	9	7	13	5	9	8	6	12
	7	10	13	12	6	9	11	9	12	12	12	7
	5	8	7	9	6	11	5	6	13	10	13	9
	12	13	9	7	7	11	6	10	7	6	8	9
	10	6	5	9	13	13	12	5	7	5	9	9
	11	8	9	11	4	9	6	12	8	11	6	10
	9	8	7	12	9	11	7	6	12	8	10	12
	7	8	12	9	9	7	13	7	12	10	5	13
6	8	12	10	6	5	8	10	9	10	9	5	
RÖRT	5894,63	5736,04	5752,71	6068,38	5794,96	5610,96	5813,29	5756,46	5639,46	5889,54	5882,46	5753,88
RH	7,75	7,58	8,33	8,92	7,08	8,58	8,67	7,42	9,42	8,67	8,5	9,08

	Rüzgârlı Hava											
1. ROTOR (RPM)	5449	5892	5928	5894	6169	5206	5684	5868	5276	5080	6299	5162
	5966	5889	6303	7166	5917	5870	7191	5966	6604	7044	6578	6202
	7049	6968	6297	7039	6456	6510	7311	6904	6412	7130	7312	6594
	5778	5566	5449	6101	5842	5379	6444	5993	5453	5502	5913	5556
	6454	6756	6605	7243	6555	7368	6199	6124	6857	6448	7115	7264
	7101	7139	6880	7465	6789	6713	6579	7490	7203	6951	7084	6537
	6939	6706	7139	5885	7131	6545	6364	6180	5897	6995	6019	6478
	7333	6619	7003	6786	7094	6714	6645	6599	6256	7360	6467	6880
	6838	7242	7135	7875	6597	6622	6816	7685	7477	6674	7719	7327
	7012	6446	7300	7059	7590	7468	6255	7267	6431	7033	6396	7300
	7240	6535	5961	7271	6238	6202	6495	6489	6858	7043	6347	6868
7043	6541	6499	6503	6628	6201	7243	5979	6416	6881	6807	6345	
2. ROTOR (RPM)	5429	5872	5908	5874	6149	5186	5664	5848	5256	5060	6279	5142
	5698	5621	6035	6898	5649	5602	6923	5698	6336	6776	6310	5934
	6985	6904	6233	6975	6392	6446	7247	6840	6348	7066	7248	6530
	6580	6368	6251	6903	6644	6181	7246	6795	6255	6304	6715	6358
	6390	6692	6541	7179	6491	7304	6135	6060	6793	6384	7051	7200
	6706	6744	6485	7070	6394	6318	6184	7095	6808	6556	6689	6142
	6984	6751	7184	5930	7176	6590	6409	6225	5942	7040	6064	6523
	7426	6712	7096	6879	7187	6807	6738	6692	6349	7453	6560	6973
	6633	7037	6930	7670	6392	6417	6611	7480	7272	6469	7514	7122
	6494	5928	6782	6541	7072	6950	5737	6749	5913	6515	5878	6782

	6097	5392	4818	6128	5095	5059	5352	5346	5715	5900	5204	5725
	5828	5326	5284	5288	5413	4986	6028	4764	5201	5666	5592	5130
3. ROTOR (RPM)	5317	5760	5796	5762	6037	5074	5552	5736	5144	4948	6167	5030
	5714	5637	6051	6914	5665	5618	6939	5714	6352	6792	6326	5950
	7160	7079	6408	7150	6567	6621	7422	7015	6523	7241	7423	6705
	6722	6510	6393	7045	6786	6323	7388	6937	6397	6446	6857	6500
	6565	6867	6716	7354	6666	7479	6310	6235	6968	6559	7226	7375
	6973	7011	6752	7337	6661	6585	6451	7362	7075	6823	6956	6409
	7049	6816	7249	5995	7241	6655	6474	6290	6007	7105	6129	6588
	7513	6799	7183	6966	7274	6894	6825	6779	6436	7540	6647	7060
	6802	7206	7099	7839	6561	6586	6780	7649	7441	6638	7683	7291
	7020	6454	7308	7067	7598	7476	6263	7275	6439	7041	6404	7308
	7202	6497	5923	7233	6200	6164	6457	6451	6820	7005	6309	6830
	6911	6409	6367	6371	6496	6069	7111	5847	6284	6749	6675	6213
4. ROTOR (RPM)	5381	5824	5860	5826	6101	5138	5616	5736	5144	4948	6167	5030
	6206	6129	6543	7406	6157	6110	7431	6206	6844	7284	6818	6442
	6145	6064	5393	6135	5552	5606	6407	6000	5508	6226	6408	5690
	6040	5828	5711	6363	6104	5641	6706	6255	5715	5764	6175	5818
	6398	6700	6549	7187	6499	7312	6143	6068	6801	6392	7059	7208
	6458	6496	6237	6822	6146	6070	5936	6847	6560	6308	6441	5894
	7069	6836	7269	6015	7261	6675	6494	6310	6027	7125	6149	6608
	7326	6612	6996	6779	7087	6707	6638	6592	6249	7353	6460	6873
	6622	7026	6919	7659	6381	6406	6600	7469	7261	6458	7503	7111
	7229	6663	7517	7276	7807	7685	6472	7484	6648	7250	6613	7517

	7727	7022	6448	7758	6725	6689	6982	6976	7345	7530	6834	7355
	7654	7152	7110	7114	7239	6812	7854	6590	7027	7492	7418	6956
Rüzgâr Hızları (km/h)	10	12	17	14	12	11	14	12	13	10	10	12
	11	17	17	20	14	20	17	12	19	12	11	12
	22	18	12	10	14	21	16	21	13	13	15	23
	22	11	10	16	19	17	25	25	13	22	25	24
	24	23	13	22	14	20	13	12	13	13	13	20
	25	20	15	14	25	23	12	22	25	13	13	18
	23	15	20	28	12	20	26	25	15	12	19	19
	18	18	17	21	21	20	13	19	13	18	24	12
	17	12	27	16	15	13	25	27	17	16	26	17
	27	26	16	14	26	23	22	19	16	14	14	28
	22	15	19	27	25	17	13	20	23	18	22	23
16	18	23	22	24	21	28	21	26	29	30	25	
RORT	6638,65	6480,06	6496,73	6812,4	6538,98	6354,98	6557,31	6499,15	6382,15	6632,23	6625,15	6496,56
RH	19,75	17,08	17,17	18,67	18,42	18,83	18,67	19,58	17,17	15,83	18,5	19,42

	Yağmurlu Hava											
1. ROTOR (RPM)	5181	5624	5660	5626	5901	4938	5416	5600	5008	4812	6031	4894
	5419	5342	5756	6619	5370	5323	6644	5419	6057	6497	6031	5655
	5821	5740	5069	5811	5228	5282	6083	5676	5184	5902	6084	5366
	6120	5908	5791	6443	6184	5721	6786	6335	5795	5844	6255	5898
	5741	6043	5892	6530	5842	6655	5486	5411	6144	5735	6402	6551
	6249	6287	6028	6613	5937	5861	5727	6638	6351	6099	6232	5685
	6676	6443	6876	5622	6868	6282	6101	5917	5634	6732	5756	6215
	6803	6089	6473	6256	6564	6184	6115	6069	5726	6830	5937	6350
	6051	6455	6348	7088	5810	5835	6029	6898	6690	5887	6932	6540
	6669	6103	6957	6716	7247	7125	5912	6924	6088	6690	6053	6957
	7014	6309	5735	7045	6012	5976	6269	6263	6632	6817	6121	6642
6756	6254	6212	6216	6341	5914	6956	5692	6129	6594	6520	6058	
2. ROTOR (RPM)	5295	5738	5774	5740	6015	5052	5530	5714	5122	4926	6145	5008
	5151	5074	5488	6351	5102	5055	6376	5151	5789	6229	5763	5387
	5513	5432	4761	5503	4920	4974	5775	5368	4876	5594	5776	5058
	5510	5298	5181	5833	5574	5111	6176	5725	5185	5234	5645	5288
	5833	6135	5984	6622	5934	6747	5578	5503	6236	5827	6494	6643
	6171	6209	5950	6535	5859	5783	5649	6560	6273	6021	6154	5607
	6544	6311	6744	5490	6736	6150	5969	5785	5502	6600	5624	6083
	6624	5910	6294	6077	6385	6005	5936	5890	5547	6651	5758	6171
	6226	6630	6523	7263	5985	6010	6204	7073	6865	6062	7107	6715
	6334	5768	6622	6381	6912	6790	5577	6589	5753	6355	5718	6622

	7249	6544	5970	7280	6247	6211	6504	6498	6867	7052	6356	6877
	6713	6211	6169	6173	6298	5871	6913	5649	6086	6551	6477	6015
3. ROTOR (RPM)	5396	5839	5875	5841	6116	5153	5631	5815	5223	5027	6246	5109
	5059	4982	5396	6259	5010	4963	6284	5059	5697	6137	5671	5295
	5955	5874	5203	5945	5362	5416	6217	5810	5318	6036	6218	5500
	5750	5538	5421	6073	5814	5351	6416	5965	5425	5474	5885	5528
	5965	6267	6116	6754	6066	6879	5710	5635	6368	5959	6626	6775
	6195	6233	5974	6559	5883	5807	5673	6584	6297	6045	6178	5631
	6854	6621	7054	5800	7046	6460	6279	6095	5812	6910	5934	6393
	6856	6142	6526	6309	6617	6237	6168	6122	5779	6883	5990	6403
	5731	6135	6028	6768	5490	5515	5709	6578	6370	5567	6612	6220
	6063	5497	6351	6110	6641	6519	5306	6318	5482	6084	5447	6351
	6883	6178	5604	6914	5881	5845	6138	6132	6501	6686	5990	6511
6853	6351	6309	6313	6438	6011	7053	5789	6226	6691	6617	6155	
4. ROTOR (RPM)	5386	5829	5865	5831	6106	5143	5621	5805	5213	5017	6236	5099
	5019	4942	5356	6219	4970	4923	6244	5019	5657	6097	5631	5255
	6003	5922	5251	5993	5410	5464	6265	5858	5366	6084	6266	5548
	5944	5732	5615	6267	6008	5545	6610	6159	5619	5668	6079	5722
	6015	6317	6166	6804	6116	6929	5760	5685	6418	6009	6676	6825
	6235	6273	6014	6599	5923	5847	5713	6624	6337	6085	6218	5671
	6800	6567	7000	5746	6992	6406	6225	6041	5758	6856	5880	6339
	6672	5958	6342	6125	6433	6053	5984	5938	5595	6699	5806	6219
	5985	6389	6282	7022	5744	5769	5963	6832	6624	5821	6866	6474
	6169	5603	6457	6216	6747	6625	5412	6424	5588	6190	5553	6457

	7005	6300	5726	7036	6003	5967	6260	6254	6623	6808	6112	6633
	6977	6475	6433	6437	6562	6135	7177	5913	6350	6815	6741	6279
Rüzgâr Hızları (km/h)	9	6	7	9	5	6	11	5	11	7	11	7
	8	6	7	5	6	11	7	5	9	9	8	11
	9	9	7	8	10	8	10	14	9	13	10	10
	5	6	10	11	9	7	13	5	9	8	6	12
	6	9	12	11	5	8	10	8	11	11	11	6
	6	9	8	10	7	12	6	7	14	11	14	10
	13	14	10	8	8	12	7	11	8	7	9	10
	12	8	7	11	15	15	14	7	9	7	11	11
	14	11	12	14	7	12	9	15	11	14	9	13
	12	11	10	15	12	14	10	9	15	11	13	15
	11	12	16	13	13	11	17	11	16	14	9	17
	11	13	17	15	11	10	13	15	14	15	14	10
RORT	6154,65	5996,06	6012,73	6328,4	6054,98	5870,98	6073,31	6016,48	5899,48	6149,56	6142,48	6013,9
RH	9,67	9,5	10,25	10,83	9	10,5	10,58	9,33	11,33	10,58	10,42	11

	Soğuk Hava											
1. ROTOR (RPM)	5069	5512	5548	5514	5789	4826	5304	5488	4896	4700	5919	4782
	5262	5185	5599	6462	5213	5166	6487	5262	5900	6340	5874	5498
	5916	5835	5164	5906	5323	5377	6178	5771	5279	5997	6179	5461
	5573	5361	5244	5896	5637	5174	6239	5788	5248	5297	5708	5351
	5320	5622	5471	6109	5421	6234	5065	4990	5723	5314	5981	6130
	5697	5735	5476	6061	5385	5309	5175	6086	5799	5547	5680	5133
	6055	5822	6255	5001	6247	5661	5480	5296	5013	6111	5135	5594
	6123	5409	5793	5576	5884	5504	5435	5389	5046	6150	5257	5670
	5286	5690	5583	6323	5045	5070	5264	6133	5925	5122	6167	5775
	5616	5050	5904	5663	6194	6072	4859	5871	5035	5637	5000	5904
	6190	5485	4911	6221	5188	5152	5445	5439	5808	5993	5297	5818
5984	5482	5440	5444	5569	5142	6184	4920	5357	5822	5748	5286	
2. ROTOR (RPM)	5181	5624	5660	5626	5901	4938	5416	5600	5008	4812	6031	4894
	5562	5485	5899	6762	5513	5466	6787	5562	6200	6640	6174	5798
	6008	5927	5256	5998	5415	5469	6270	5863	5371	6089	6271	5553
	6075	5863	5746	6398	6139	5676	6741	6290	5750	5799	6210	5853
	5344	5646	5495	6133	5445	6258	5089	5014	5747	5338	6005	6154
	6162	6200	5941	6526	5850	5774	5640	6551	6264	6012	6145	5598
	6204	5971	6404	5150	6396	5810	5629	5445	5162	6260	5284	5743
	6602	5888	6272	6055	6363	5983	5914	5868	5525	6629	5736	6149
	5758	6162	6055	6795	5517	5542	5736	6605	6397	5594	6639	6247

	6133	5567	6421	6180	6711	6589	5376	6388	5552	6154	5517	6421
	6704	5999	5425	6735	5702	5666	5959	5953	6322	6507	5811	6332
	6391	5889	5847	5851	5976	5549	6591	5327	5764	6229	6155	5693
3. ROTOR (RPM)	5135	5578	5614	5580	5855	4892	5370	5554	4962	4766	5985	4848
	5342	5265	5679	6542	5293	5246	6567	5342	5980	6420	5954	5578
	6080	5999	5328	6070	5487	5541	6342	5935	5443	6161	6343	5625
	5941	5729	5612	6264	6005	5542	6607	6156	5616	5665	6076	5719
	5468	5770	5619	6257	5569	6382	5213	5138	5871	5462	6129	6278
	6196	6234	5975	6560	5884	5808	5674	6585	6298	6046	6179	5632
	6480	6247	6680	5426	6672	6086	5905	5721	5438	6536	5560	6019
	6543	5829	6213	5996	6304	5924	5855	5809	5466	6570	5677	6090
	5609	6013	5906	6646	5368	5393	5587	6456	6248	5445	6490	6098
	6111	5545	6399	6158	6689	6567	5354	6366	5530	6132	5495	6399
	6826	6121	5547	6857	5824	5788	6081	6075	6444	6629	5933	6454
6535	6033	5991	5995	6120	5693	6735	5471	5908	6373	6299	5837	
4. ROTOR (RPM)	5229	5672	5708	5674	5949	4986	5464	5648	5056	4860	6079	4942
	5414	5337	5751	6614	5365	5318	6639	5414	6052	6492	6026	5650
	6240	6159	5488	6230	5647	5701	6502	6095	5603	6321	6503	5785
	5801	5589	5472	6124	5865	5402	6467	6016	5476	5525	5936	5579
	5244	5546	5395	6033	5345	6158	4989	4914	5647	5238	5905	6054
	5822	5860	5601	6186	5510	5434	5300	6211	5924	5672	5805	5258
	5907	5674	6107	4853	6099	5513	5332	5148	4865	5963	4987	5446
	5727	5013	5397	5180	5488	5108	5039	4993	4650	5754	4861	5274
	5116	5520	5413	6153	4875	4900	5094	5963	5755	4952	5997	5605

	5378	4812	5666	5425	5956	5834	4621	5633	4797	5399	4762	5666
	6038	5333	4759	6069	5036	5000	5293	5287	5656	5841	5145	5666
	6182	5680	5638	5642	5767	5340	6382	5118	5555	6020	5946	5484
Rüzgâr Hızları (km/h)	9	6	7	9	5	6	11	5	11	7	11	7
	9	7	8	6	7	12	8	6	10	10	9	12
	7	7	5	6	8	6	8	12	7	11	8	8
	4	5	9	10	8	6	12	4	8	7	5	11
	6	9	12	11	5	8	10	8	11	11	11	6
	4	7	6	8	5	10	4	5	12	9	12	8
	10	11	7	5	5	9	4	8	5	4	6	7
	10	6	5	9	13	13	12	5	7	5	9	9
	11	8	9	11	4	9	6	12	8	11	6	10
	9	8	7	12	9	11	7	6	12	8	10	12
	6	7	11	8	8	6	12	6	11	9	4	12
5	7	11	9	5	4	7	9	8	9	8	4	
RORT	5845,48	5686,9	5703,56	6019,23	5745,81	5561,81	5764,15	5707,31	5590,31	5840,4	5833,31	5704,73
RH	7,5	7,33	8,08	8,67	6,83	8,33	8,42	7,17	9,17	8,42	8,25	8,83

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLERİ

Adı ve Soyadı : EMİR BULUT
Doğum Yeri : İSTANBUL
Adres : Fakiuşağı Mah. 4008 Sokak No:8 Merkez/Osmaniye
İletişim : emirbult@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans : Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü
Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, 2015-2019.
Lisans : Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler
Fakültesi Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, 2013-2015.

OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 01/08/2019

Tez Başlığı / Konusu: **DÖRT ROTORLU İNSANSIZ HAVA ARACININ (QUADROTOR) FARKLI HAVA KOŞULLARINDAKİ DAVRANIŞI ÜZERİNE BİR İNCELEME**

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam **101** sayfalık kısmına ilişkin, 01/08/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme tiplerinden biri uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %7'dir.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça dâhil,
- 3- Alıntılar dâhil.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar dâhil,
- 4- 5 Kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

01/08/2019

Adı Soyadı: EMİR BULUT

Öğrenci No: 15YLYBS1109

Anabilim Dalı: YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ

Programı: YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ

Statüsü: Y.Lisans Doktora

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Öğr. Üyesi Metin ÖZŞAHİN

ENSTİTÜ ONAYI

UYGUNDUR.

Arş. Gör. Öğr. Üyesi KÜRKLÜ