

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖNER KANATLI İHA'LAR İÇİN OTONOM ŞARJ İSTASYONU

DOKTORA TEZİ

Hakan ÜÇGÜN

Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cüneyt BAYILMIŞ

Ortak Danışman : Prof. Dr. Uğur YÜZGEÇ

Mayıs 2022

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÖNER KANATLI İHA'LAR İÇİN OTONOM ŞARJ
İSTASYONU**

DOKTORA TEZİ

Hakan ÜÇGÜN

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 31/05/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hakan ÜÇGÜN

16.06.2022

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, samimi katkılarından dolayı değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Uğur YÜZGEÇ ile Prof. Dr. Cüneyt BAYILMIŞ'a, tez izleme jürimde bulunan ve teze katkılarından dolayı değerli hocalarım Prof. Dr. Cihan KARAKUZU, Prof. Dr. Kürşat AYAN ve Doç. Dr. Devrim AKGÜN'e ve tez savunma sınavı jürimdeki değerli hocalarım Doç. Dr. Ünal ÇAVUŞOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Abdullah SEVİN'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi, manevi hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen, beni her zaman yüreklendiren aileme, her anımda yanımda olan ve anlayış gösteren sevgili eşim Hacer ÜÇGÜN'e ve hayatıma yeni katılan kızım Asya ÜÇGÜN'e teşekkür ederim.

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanı Murat FİDAN, Yazılım Şube Müdürü Yusuf MUŞTU, Bilgi İşlem Daire Başkanlığındaki çalışma arkadaşlarıma, Öğr. Gör. Cem MORKOÇ, Öğr. Gör. Çağrı ÇİÇEKDEMİR, Öğr. Gör. Ali Rıza GÜN, Dr. Öğr. Üyesi Gürhan ERTAŞGIN ve tez çalışması sırasında küçük veya büyük yardımlarını esirgemeyen hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2017-02.BŞEÜ.03-05) teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını, doktora eğitimim süresince kaybettiğim Babam Kadir ÜÇGÜN'e armağan ediyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Tez Çalışmasının Katkıları.....	3
1.3. Tez Organizasyonu.....	4
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÖZETİ.....	6
2.1. İnsansız Hava Araçları.....	6
2.1.1. İHA modelleri.....	8
2.2. Dört Rotorlu Döner Kanatlı İHA'lar (Quadrotor).....	10
2.3. İHA Batarya Teknolojileri.....	14
2.4. İHA Şarj İstasyonları.....	15
2.4.1. Kablolü/konnektörlü şarj istasyonları.....	16
2.4.2. Kablosuz şarj istasyonları.....	22
2.4.3. Batarya değiştiren şarj istasyonları.....	30
2.4.4. Fotovoltaik (PV, PhotoVoltaic) panel destekli şarj işlemi.....	34
2.4.5. Lazer ışını ile şarj işlemi.....	35

BÖLÜM 3.

İHA ŞARJ İSTASYONU TASARIMI.....	36
3.1. Şarj İstasyonu Tasarımı.....	37
3.2. Şarj Pisti Tasarımı.....	37
3.3. Şarj Sisteminin Tasarımı.....	38
3.3.1. Batarya yönetim sistemi.....	40
3.3.1. Köprü diyot çalışma prensibi.....	41
3.4. Batarya Şarj İzleme Sisteminin Tasarımı.....	42
3.5. Elektronik Kart Tasarımları.....	43

BÖLÜM 4.

ŞARJ İSTASYONUNUN BENZETİM VE BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ	46
4.1. Fotovoltaik Panel (Photovoltaic Panel - PV) Benzetimleri.....	49
4.2. Akü Batarya Benzetimleri	52
4.2.1. Akü batarya şarj benzetimleri (DC/DC Buck).....	53
4.2.2. Akü batarya deşarj benzetimleri (DC/DC Boost).....	57
4.3. LiPo Batarya Benzetimleri.....	60
4.4. PV Panel ve LiPo Batarya Benzetimleri.....	63
4.5. PV Panel ve Akü Batarya Benzetimleri.....	65
4.6. Akü Batarya ve LiPo Batarya Benzetimleri.....	67
4.7. Yönetici Algoritmasının Geliştirilmesi.....	70

BÖLÜM 5.

ŞARJ İSTASYONUNUN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ	72
5.1. LiPo Bataryasının BMS Modülü ile Şarj Edilmesi	73
5.2. Şarj Pisti Test Uygulamaları.....	73
5.3. LiPo Bataryasının BMS Modülü ve Şarj Pisti ile Şarj Edilmesi.....	77
5.4. LiPo Bataryasının Hücre Bilgilerinin Arduino ile Takip Edilmesi...	78
5.5. LiPo Bataryasının Gerçek Zamanlı Olarak Takip Edilmesi.....	80
5.6. Elektronik Kartların Geliştirilmesi ve Test Edilmesi.....	81

5.7. Akü Bataryası ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi.....	82
5.8. PV Panel ile Enerji Elde Edilmesi.....	83
5.9. PV Panel ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi.....	87
5.10. PV Panel ile Akü Bataryasının Şarj Edilmesi.....	91
5.11. PV Panel ile Akü Bataryasının Şarj Edilmesi.....	94
5.12. PV Panel ve Şarj Pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi.....	98
5.13. Akü Batarya ve Şarj Pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi.....	101

BÖLÜM 6.

SONUÇ VE TARTIŞMA.....	106
KAYNAKLAR	110
ÖZGEÇMİŞ	124

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

3D	: 3 Boyutlu
A	: Amper
AC	: Alternating Current
ACE	: Autonomous Control Environment
BMS	: Battery Management System
DC	: Direct Current
Dk	: Dakika
DSP	: Digital Signal Processing
e-İHA	: Elektrikli İnsansız Hava Aracı
ESC	: Elektronik Speed Controller
FEM	: Finite Element Method
GPS	: Global Positioning System
Hz	: Hertz
IMU	: Inertial Measurement Unit
İHA	: İnsansız Hava Aracı
kHz	: Kilo Hertz
Ki	: Türev Katsayısı
Kp	: Polinom Katsayısı
Li-S	: Lityum Sülfür
LiPo	: Lityum Polimer
mA	: Mili Amper
mAh	: Mili Amper/Saat
MAV	: Micro Aerial Vehicle
MHz	: Mega Hertz
MILP	: Mixed Integer Linear Programming
MPPT	: Maximum Power Point Tracking

Ni-Cd	: Nikel Kadmiyum
Ni-Mh	: Nikel Magnezyum
P&O	: Perturb & Observation
PCB	: Printed Circuit Board
PI	: Proportional & Integral
PhD	: Doctor of Philosophy
PIR	: Pasif Kızılötesi
PSIM	: Power Simulator
PWM	: Pulse Width Modulation
PV	: Photovoltaic Panel
Rx	: Receiver
Tx	: Transmitter
UGC	: Unmanned Ground Control
UGS	: Unmanned Ground System
UGV	: Unmanned Ground Vehicle
W	: Watt
WPT	: Wireless Power Transfer
V	: Volt
VICON	: Variable Independent Control
VTOL	: Vertical Take-Off and Landing

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Uçuş Prensipleri ve İtme Kuvvetleri Bakımından İHA'ların sınıflandırılması [43, 44 - 49].....	7
Şekil 2.2. İHA çeşitleri	8
Şekil 2.3. İHA Modelleri: a. Sabit Kanat [63], b. Döner Kanat [61], c. Hareketli Kanat [67].....	9
Şekil 2.4. Quadrotor tipi İHA Modelleri [17][24][42][78].....	11
Şekil 2.5. Quadrotor İHA Materyalleri [86].....	12
Şekil 2.6. Quadrotor Eksen Hareketlerinin Yönleri [90].....	13
Şekil 2.7. Quadrotor Eksen Hareketlerinin Gösterimi [91].....	13
Şekil 2.8. İHA Bataryalarının Karşılaştırılması	15
Şekil 2.9. Kablolü/Konnektörlü şarj istasyonları (a) [101], (b) [102], (c) [104], (d) [105], (e) [107], (f) [108], (g) [109], (h) [110].....	20
Şekil 2.10. Kablosuz şarj istasyonları (a) [116], (b) [117], (c) [118], (d) [119,120], (e) [121], (f) [123], (g) [124].....	28
Şekil 2.11. Döner Kanatlı İHA'lar için Batarya Değişirme Şarj İstasyonları (a) [127,128], (b) [129], (c) [130], (d) [131], (e) [132].....	33
Şekil 3.1. Şarj İstasyonu Genel Öbek Şeması.....	37
Şekil 3.2. Şarj Pistinin Tasarımı	38
Şekil 3.3. Şarj Sistemi Öbek Şeması.....	39
Şekil 3.4. LiPo Batarya ve BMS Modülü Bağlantı Şeması.....	41
Şekil 3.5. Köprü Diyotların Bağlantı Şeması.....	42
Şekil 3.6. Şarj Takip Sisteminin Önek Şeması.....	42
Şekil 3.7. Şarj Takip Sisteminin Akış Diyagramı.....	43
Şekil 3.8. Tasarlanan PCB Kartları (Ön Yüz).....	44
Şekil 3.9. Tasarlanan PCB Kartları (Arka Yüz).....	45
Şekil 4.1. İHA Şarj İstasyonunun Benzetimsel Yapısı.....	48

Şekil 4.2. LiPo Batarya Akım ve Gerilim Benzetimi.....	49
Şekil 4.3. Güneş Panelleri ve Çalışma Alanları.....	49
Şekil 4.4. P&O Algoritmasının Akış Şeması.....	50
Şekil 4.5. PV Panel MPPT Algoritma Sonuçları ve PI Denetleyici Hataları.....	51
Şekil 4.6. PV Panel Boost Sinyali.....	52
Şekil 4.7. Temel Buck Dönüştürücü Devresi.....	54
Şekil 4.8. DC-DC Buck Dönüştürücü Devresi Benzetimi.....	54
Şekil 4.9. DC-DC Buck Dönüştürücü Benzetim Sonucu.....	54
Şekil 4.10. Akü Batarya Şarj İşlemi (1A) ve PI Denetleyici Hata Grafiği.....	55
Şekil 4.11. Akü Batarya Şarj İşlemi (3A) ve PI Denetleyici Hata Grafiği.....	55
Şekil 4.12. Akü Batarya Şarj İşlemi (5A) ve PI Denetleyici Hata Grafiği.....	55
Şekil 4.13. Akü Batarya Buck Sinyali.....	56
Şekil 4.14. Akü Bataryasının Şarj Grafiği.....	57
Şekil 4.15. Temel Boost Dönüştürücü Devresi.....	58
Şekil 4.16. DC-DC Boost Dönüştürücü Devresi Benzetimi.....	58
Şekil 4.17. DC-DC Boost Dönüştürücü Benzetim Sonucu.....	58
Şekil 4.18. Akü Batarya Deşarj İşlemi ve PI Denetleyici Hata Grafiği.....	59
Şekil 4.19. Akü Bataryasının Deşarj Grafiği.....	59
Şekil 4.20. Akü Batarya Boost Sinyali.....	60
Şekil 4.21. LiPo Batarya Şarj İşlemi (1A) ve PI Denetleyici Hata Grafiği.....	61
Şekil 4.22. LiPo Batarya Şarj İşlemi (3A) ve PI Denetleyici Hata Grafiği.....	61
Şekil 4.23. LiPo Batarya Şarj İşlemi (5A) ve PI Denetleyici Hata Grafiği.....	62
Şekil 4.24. LiPo Bataryasının Şarj Grafiği.....	62
Şekil 4.25. LiPo Batarya Buck Sinyali.....	63
Şekil 4.26. PV Panel ile Şarj Sonucu LiPo Batarya ve DC Bara Değerlerinin Gösterimi.....	64
Şekil 4.27. PV Panel ile Şarj Sonucu LiPo Bataryası Şarj Durumu Grafiği.....	64
Şekil 4.28. PV Panel Boost Sinyali Sonuçları 1.....	65
Şekil 4.29. PV Panel ile Şarj Sonucu LiPo Batarya Buck Sinyal Sonuçları.....	65
Şekil 4.30. PV Panel ile Şarj Sonucu Akü Batarya ve DC Bara Değerlerinin Gösterimi.....	66
Şekil 4.31. PV Panel ile Şarj Sonucu Akü Bataryasının Şarj Grafiği.....	66

Şekil 4.32. PV Panel Boost Sinyal Sonuçları 2.....	67
Şekil 4.33. PV Panel ile Şarj Sonucu Akü Batarya Buck Sinyal Sonuçları.....	67
Şekil 4.34. Akü Batarya ile Şarj Sonucu LiPo Batarya ve DC Bara Değerlerinin Gösterimi.....	68
Şekil 4.35. Akü Batarya ile Şarj Sonucu LiPo Bataryasının Şarj Grafiği.....	68
Şekil 4.36. Akü Bataryasının Deşarj Grafiği.....	69
Şekil 4.37. Akü Batarya Boost Sinyal Sonuçları.....	69
Şekil 4.38. Akü Batarya ile Şarj Sonucu LiPo Batarya Buck Sinyal Sonuçları.....	69
Şekil 4.39. Benzetim Çalışmaları Akış Şeması.....	71
Şekil 5.1. LiPo Bataryasının BMS Modülü ile Şarj Edilmesi.....	73
Şekil 5.2. Şarj Pisti Test Çalışmaları.....	74
Şekil 5.3. Şarj Pistinin Yapısal Değişikliği.....	75
Şekil 5.4. Şarj Pistinin Donanımsal Değişikliği.....	76
Şekil 5.5. Şarj Pisti Çalışmasının Akış Diyagramı.....	77
Şekil 5.6. BMS Kartı ve Şarj Pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi.....	78
Şekil 5.7. Şarj Takip Devresi.....	79
Şekil 5.8. Arayüz ile Batarya Hücrelerinin Takibi.....	79
Şekil 5.9. Batarya Şarj ve Anlık Hücre Voltajı Takip Sistemi.....	80
Şekil 5.10. LiPo Batarya Şarj Grafikleri.....	81
Şekil 5.11. Elektronik Kartlarının Test İşlemi.....	82
Şekil 5.12. Akü Bataryası ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi.....	83
Şekil 5.13. PV Panel - DC Bara Test Çalışması (Sistem Boşta - Test 1).....	84
Şekil 5.14. PV Panel - DC Bara Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Boşta - Test 1)	84
Şekil 5.15. PV Panel - DC Bara Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 2).....	85
Şekil 5.16. PV Panel - DC Bara Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 2)	85
Şekil 5.17. PV Panel - DC Bara Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 3).....	86
Şekil 5.18. PV Panel - DC Bara Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 3)	86
Şekil 5.19. PV Panel -LiPo Batarya Test Çalışması (Sistem Boşta - Test 1).....	88

Şekil 5.20. PV Panel - LiPo Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Boşta - Test 1)	88
Şekil 5.21. PV Panel - LiPo Batarya Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 2)...	89
Şekil 5.22. PV Panel - LiPo Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 2)	89
Şekil 5.23. PV Panel - LiPo Batarya Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 2)...	90
Şekil 5.24. PV Panel - LiPo Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 3)	91
Şekil 5.25. Akü Batarya - LiPo Batarya Test Çalışması (Sistem Boşta - Test 1)...	92
Şekil 5.26. Akü Batarya - LiPo Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Boşta - Test 1)	92
Şekil 5.27. Akü Batarya - LiPo Batarya Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 2)	93
Şekil 5.28. Akü Batarya - LiPo Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 2).....	94
Şekil 5.29. PV Panel - Akü Batarya Test Çalışması (Sistem Boşta - Test 1).....	95
Şekil 5.30. PV Panel - Akü Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Boşta - Test 1)	95
Şekil 5.31. PV Panel - Akü Batarya Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 2)...	96
Şekil 5.32. PV Panel - Akü Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 2)	96
Şekil 5.33. PV Panel - Akü Batarya Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 3)...	97
Şekil 5.34. PV Panel - Akü Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 3)	98
Şekil 5.35. PV Panel - Şarj Pisti ile LiPo Bataryanın Şarj Edilmesi (Test 1).....	99
Şekil 5.36. PV Panel - Şarj Pisti ile LiPo Bataryanın Şarj Edilmesi (Test 2).....	99
Şekil 5.37. PV Panel - Şarj Pisti ile LiPo Bataryanın Şarj Edilmesi (Test 3).....	100
Şekil 5.38. PV Panel - Şarj Pisti Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Boşta)	101
Şekil 5.39. PV Panel - Şarj Pisti Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken)	101
Şekil 5.40. Akü Batarya ve Şarj Pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi (Test 1)	102

Şekil 5.41. Akü Batarya ve Şarj Pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi (Test 2)	103
Şekil 5.42. Akü Batarya ve Şarj Pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi (Test 3)	103
Şekil 5.43. Akü Batarya - Şarj Pisti Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Boşta)	104
Şekil 5.44. Akü Batarya - Şarj Pisti Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken)	105



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Kanatlı İHA'ların Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	10
Tablo 2.2. Farklı Tip İHA Bataryalarının Karşılaştırılması [94].....	14
Tablo 2.3. Kablolü/Konnektörlü Şarj İstasyonlarının Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	21
Tablo 2.4. Kablolü/Konnektörlü Şarj İstasyonlarında Kullanılan İHA Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	21
Tablo 2.5. Kablosuz Şarj İstasyonlarının Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması..	29
Tablo 2.6. Kablosuz Şarj İstasyonlarında Kablosuz Güç İletim Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	29
Tablo 2.7. Kablosuz Şarj İstasyonlarında Kullanılan İHA Özelliklerinin aslında Karşılaştırılması.....	30
Tablo 2.8. Batarya Değişirme Şarj İstasyonu Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	34
Tablo 4.1. Benzetimlerde Kullanılan PV Panel Parametreleri	51
Tablo 5.1. Şarj Pisti Üzerinde Şarj Durumlarının Tespiti.....	74

ÖZET

Anahtar kelimeler: İHA, Şarj İstasyonu, LiPo Batarya, Yenilenebilir Enerji, FV Panel

Son yıllardaki teknolojik ilerlemelere bağlı olarak gelişmiş ve gelişmeye devam eden insansız araçlar, uzaktan kumanda kontrollü veya otonom olarak hareket etme kabiliyetine sahip araçlardır. Bu tarz araçlar, insanların giremeyeceği veya girilmesi insan hayatı için tehlikeli olan yerlere girebilmek ve bu yerlerde gözetleme, saldırı, fiziksel etkileşim gibi işlemler yapabilmektedirler. İnsansız Hava Araçları (İHA), üzerinde insan olmasına gerek duymadan uçabilen, otonom olarak ya da uzaktan kumanda aracılığıyla kontrol edilebilen bir hava aracıdır. İHA'lar, sınır koruma ve gözetleme gibi görev uçuşlarında kullanılabilir. Günümüzde kullanılan batarya teknolojileri ile yapılan görev uçuşları kısa sürebilmekte ve İHA'ların sahip oldukları yeteneklerin efektif bir şekilde kullanılmasını engellemektedir. Bu durumun üstesinden gelmek amacıyla görev uçuşu sırasında İHA'ların şarj edilmesi gerekmektedir. Şarj işlemleri için genel olarak İHA şarj istasyonları geliştirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, görev veya normal uçuşlarındaki döner kanat tipi İHA'ların otonom olarak şarj edilebilmesine imkân veren yenilenebilir enerji destekli şarj istasyonu geliştirilmiştir. İstasyon içerisinde enerji kaynağı olarak güneş enerjisi destekli fotovoltaik (FV) paneller ve akü batarya kullanılmıştır. Şarj istasyonunun geliştirilmesi sırasında konsept tasarımı, benzetim uygulamaları ve donanımsal test çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Tasarım çalışmaları sırasında şarj sisteminin genel yapısı, şarj pisti tasarımı, elektronik kart tasarımları ve şarj takip sistemi ele alınmıştır. Tasarım çalışmaları sonrasında benzetim çalışmalarına geçilmiştir. Benzetim çalışmalarında, FV panel, akü batarya ve İHA bataryasına yönelik uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmalarının başarılı olmasının ardından şarj istasyonunda kullanılacak olan elektronik donanımların test işlemlerine geçilmiştir. İstasyon içerisindeki şarj pistine iniş yapan İHA'nın, iniş yönüne bakılmaksızın ve %100'lük bir başarımla herhangi bir kısa devre durumu yaşanmadan, şarj pisti üzerinden dengeli bir şekilde şarj edilmesi sağlanmıştır. Şarj işlemlerine yönelik testlerde üç farklı durum ele alınmıştır. İlk durumda, İHA'nın şarj istasyonunda olması ve FV panelden enerji elde edilerek İHA bataryasını şarj edilmesi ele alınmıştır. İkinci durumda, İHA'nın şarj istasyonunda olması ve akü bataryadan enerji elde edilerek İHA bataryasını şarj edilmesi ele alınmıştır. Üçüncü durumda ise İHA'nın şarj istasyonunda olmadığı durumlarda, FV panel üzerinden akü bataryasının şarj edilmesi durumu ele alınmıştır. Şarj işlemleri esnasında farklı akım referansı değerlerinde, geliştirilen şarj sisteminin verdiği tepki ele alınmış olup sistemin, değişikliklere anında ve doğru bir şekilde tepki verdiği görülmüştür. Şarj işlemleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Şarj işlemleri esnasında İHA bataryasının hücre bilgilerinin anlık olarak takip edilmesine olanak sağlayacak bir arayüz geliştirilmiştir.

AUTONOMOUS CHARGING STATION FOR ROTARY WING UAVs

SUMMARY

Keywords: UAV, Charging Station, LiPo Battery, Renewable Energy, PV Panel

Unmanned vehicles, which have developed and continue to develop depending on the technological advances in recent years, are vehicles that have the ability to act autonomously or with remote control. These vehicles can enter places where people cannot enter or where entering is dangerous for human life, and can perform operations such as surveillance, attack, physical interaction in these places. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is an aircraft that can fly without the need for a human being and can operate autonomously or via remote control. UAVs can be used in mission flights such as border protection and surveillance. Mission flights made with the battery technologies used today can take a short time and prevent the effective use of the capabilities of UAVs. In order to overcome this, UAVs need to be charged during the mission flight. UAV charging stations have been developed for charging operations.

In this thesis, a renewable energy supported charging station has been developed that allows autonomous charging of rotary wing type UAVs in mission or normal flights. Solar energy supported photovoltaic (PV) panels and accumulator batteries were used as energy sources in the station. During the development of the charging station, concept design, simulation applications and hardware tests were carried out. During the design studies, the general structure of the charging system, the design of the charging pad, electronic card designs and the charging tracking system were discussed. After the design studies, simulation studies were started. In the simulation studies, applications for photovoltaic panel, accumulator battery and UAV battery were carried out. After the simulation studies were successful, testing of the electronic equipment to be used in the charging station was started. The UAV, which landed on the charging pad, is charged over the charging pad, regardless of the landing direction and without any short-circuit situation with 100% success. Three different situations were considered in the tests for charging processes. In the first, it is discussed that the UAV is at the charging station and charging the UAV battery by obtaining energy from the PV panel. In the second, it is discussed that the UAV is at the charging station and charging the UAV battery by obtaining energy from the accumulator battery. In the third, it is discussed that charging the accumulator battery by obtaining energy from the PV panel. The response of the charging system in different current references during the charging processes is discussed and it has been observed that the system immediately and accurately responds to changes. Charging processes has been done successfully. An interface has been developed that will allow the cell information of the UAV battery to be monitored instantly during the charging processes.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Teknolojik çalışmalar, insanlar için pek çok yeniliği de beraberinde getirmektedir. Gün geçtikçe yeni teknolojiler meydana çıkmakta ve insanların kullanımına sunulmaktadır. İnsanların geçmiş yıllarda sadece hayalini kurduğu pek çok fikir, günümüzde yapılan bilimsel çalışmalar neticesinde gerçeğe dönüştürülmektedir. Otonom araçlar [1], akıllı şehir sistemleri [2], sanal gerçeklik [3], giyilebilir cihazlar [4], 3D yazıcılar [5], akıllı gözlükler [6] gibi pek çok teknoloji günümüzde kullanılan güncel teknolojiler arasına girmiştir. Teknolojideki gelişmeler, gün geçtikçe ilerlemekte ve çalışmalar sürdükçe de ilerlemeye devam edecektir. İnsansız Hava Araçları (İHA), günümüzde insanların kullanımına sunulan teknolojiler arasında yer edinmiş ve uygulama çalışmaları halen devam eden teknolojilerden bir tanesidir.

İHA'lar, programlı uçuş özelliği ile bağımsız ve planlı bir şekilde uçabilen veya yerden kontrollü uzaktan kumanda ile yer istasyonu aracılığıyla kontrol edilebilen, üzerinden pilot olmasına gerek olmayan hava araçlarıdır [7]. İHA'lar, pilot kayıplarını en aza indirmek, savunma ve saldırı amaçlı olarak kullanmak ve tehlikeli bölgelere giriş yapabilmek amacıyla ilk olarak askeri alanlarda faaliyet göstermişlerdir [8]. İHA'ların bu amaçla kullanımı sayesinde yetişmiş askeri personelin zarar görmemesi sağlanırken, maddi olarak da tasarruf edebilme imkânı sağlanmıştır.

Geçtiğimiz yıllarda askeri alandaki projelerde sıkça kullanılan İHA'lar, son yıllarda popüler konular arasına girmiştir. Bilimsel çalışmaların ışığında gelişen ve ticari alanlarda yer edinmeye başaran İHA'lar, günümüzde kişisel kullanıma yönelik uygulamalarda da kullanılmaktadır [9]. İHA'ların yüksek hareket yeteneği, uzaktan kontrol edilebilmesi, ucuz ürün fiyatları, kolay bakım gibi özelliklerinin bulunması, sivil uygulamalarında çok sık kullanılmasının başlıca sebeplerindendir [10]. Yapısal olarak döner kanatlı ya da sabit kanatlı olarak geliştirilen İHA'lar, ticari ve hobi amaçlı

pek çok alanda kullanılmaktadır [11-16]. Genel olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde sınır koruma [17] ve gözetleme [18], arama ve kurtarma [19], trafik denetleme [20], haritalandırma [21], panoramik gözetleme [22], yapay zekâ teknikleri [23], görüntü işleme [24], sanal gerçeklik [25], bilimsel çalışmalar [26] gibi alanlarda uygulamaların yapıldığı görülmektedir.

Kullanım şekilleri bakımından içerisinde pilot barındıran uçak ve helikopter tipi hava araçları ile karşılaştırıldığında İHA'lar, mürettebat taşıma gereksinimi ve riskinin bulunmaması, esnek olarak kontrol edilebilen uçuş yeteneği, hızlı cevap verme süresi ve manevra yeteneği, düşük bütçeli ürünler barındırması gibi sahip oldukları kabiliyetler ile avantajlı konumda olabilmektedirler [27]. Meteorolojik hava olaylarının bozucu etkileri, düşük kapasitedeki yük taşıma özellikleri, uçuş sürelerinin kısa olması gibi parametreler İHA'ların dezavantajları arasında yer almaktadır.

İHA'lar için en büyük problemlerden bir tanesi hiç kuşkusuz kısa süreli uçuş özellikleridir. İçerisinde barındırdıkları elektronik ekipmanların (denetleyici kartı, motor, elektronik hız denetleyicisi, sensörler) enerji gereksinimini karşılayabilmek ve bu ekipmanların yüksek güç ihtiyacını karşılamak için bataryalar kullanılmaktadır [28-29]. Uçuş esnasında yüksek güç tüketimi sebebiyle bataryaların deşarj olması süresi hızlanmaktadır. Bu sebeple İHA'ların uçuş süreleri kısalmaktadır. İHA'ların üzerindeki bataryalar ile yapılan uçuşlara bakıldığında genel olarak uçuş süresinin 10 ila 30 dakika sürdüğü görülmektedir [30-31]. Bu yüzden uçuş menzilleri ve süreleri kısalan İHA'ların uçuşlarını sürdürüebilmeleri amacıyla üzerlerindeki bataryaların farklı bir batarya ile değiştirilmesi veya şarj edilmesi gerekebilmektedir. İHA'lar için geliştirilen şarj istasyonlarında kablolu veya kablosuz olarak şarj edilebilmektedir [32].

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, insansız hava aracı türlerinden biri olan döner kanat tipi İHA'ların görev veya normal uçuşlarında, şarjlarının azalması durumunda otonom olarak şarj edilip uçuş süresinin arttırılmasına imkân sağlayacak olan yenilenebilir enerji destekli mobil bir şarj istasyonu platformunun tasarımı ve gerçekleştirilmesidir.

Geliştirilen sistemde, şarj istasyonuna iniş yapan İHA, herhangi bir insan müdahalesine gerek duyulmadan otonom olarak şarj edilecektir. Şarj işlemi, istasyonda bulunan şarj pisti ve İHA'nın ayaklarında bulunan şarj konektörlerinin teması ile başlayacaktır. Şarj devresi içerisinde kullanılan batarya yönetim modülü ile İHA bataryası, dengeli bir şekilde şarj edilerek ortaya çıkabilecek problemlerin (ısınma, yapısal bozukluklar, vb.) önüne geçilecek ve bataryanın uzun ömürlü kullanılması sağlanacaktır. Şarj işlemi, bittikten sonra İHA'nın tekrardan havalanıp görevine devam etmesi hedeflenmektedir.

1.2. Tez Çalışmasının Katkıları

Bu tez çalışması kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda, gerçekleştirilen şarj istasyonu sistemlerinde İHA'ların iniş yapacağı pistte genel olarak, pozitif ve negatif güç hatlarının bağlantı uçları belirli konumlarda bulunmaktadır. İHA'nın şarj pistine inişi anındaki yanlış konumlanmasından ötürü kısa devre olma ihtimalinin meydana gelme olasılığı bulunmaktadır. Proje kapsamında geliştirilen şarj istasyonu ile döner kanatlı İHA'nın iniş yaptığı konumuna bağlı olmaksızın şarj işleminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla geliştirilen şarj pisti aracılığıyla İHA'nın herhangi bir kısa devre ihtimali olmadan ve herhangi bir insan müdahalesine gerek duyulmadan otonom olarak şarj edilebilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen sistemde şarj pistinde sıralı halde "+" (kırmızı) ve "-" (mavi) güç hatları bulunmaktadır. İHA'nın ayaklarına yapılacak "+" ve "-" konektörlerin istasyonda bulunan güç hatlarına temas etmesi ile birlikte şarj işlemi başlayacaktır. Bu yöntemle, döner kanatlı İHA'nın şarj pistine inişi sırasında aracın yönünün herhangi bir önemi kalmayacaktır.

Tez çalışması kapsamında, şarj istasyonuna güç sağlamak amacıyla yenilenebilir enerji destekli fotovoltaik paneller (PV) kullanılmıştır. Genel olarak elektrikli araçlarda ve sabit kanatlı İHA'larda yapılan uygulamalarda kullanılan PV paneller, geliştirilen şarj istasyonunda birincil enerji kaynağı olarak yer almıştır. PV panelden alınan enerjinin depolanması ve güneşli olmayan saatlerde şarj istasyonunun çalışmasına devam etmesi amacıyla akü bataryalar kullanılmıştır. Çalışmanın

geliştirilmesiyle döner kanat İHA sistemlerinin şarj işlemleri mobil şarj istasyonları ile otonom bir şekilde yapılacaktır.

Tez çalışması için özel olarak geliştirilen elektronik kartlar ile şarj sisteminin yönetilmesi ve bu bağlamda geliştirilen şarj algoritmaları sunulan özgün değerler arasındadır. Şarj takip algoritmalarıyla verilen farklı şarj referans değerleri üzerinden LiPo bataryasının, PV panel ve akü batarya ile şarj edilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen elektronik kartlar, şarj takip algoritmaları, İHA'ların iniş yönünden bağımsız olarak otonom olarak şarj edilmesi, İHA bataryasının dengeli bir şekilde şarj edilmesi ve şarj sistemindeki enerjinin yenilenebilir enerji destekli teknolojiler üzerinden elde edilmesi, tezde sunulan özgün değerlerin başında gelmektedir.

Tez çalışmasının katkıları şu şekilde özetlenebilir;

- Tez çalışması için geliştirilen DSP tabanlı elektronik kartlar ile şarj istasyonundaki süreçlerin kontrol edilmesi,
- Geliştirilen şarj takip algoritması ile LiPo bataryasının PV Panel ve Akü batarya ile şarj edilmesi,
- İHA'nın şarj istasyonu üzerine indikten sonraki iniş yönüne bakılmaksızın otonom olarak şarj edilmesine imkân sağlayan şarj pisti geliştirilmesi,
- Şarj istasyonundaki İHA'nın bataryasının dengeli bir şekilde şarj edilmesi ve şarj işleminin anlık olarak takip edilmesi,
- Şarj istasyonunda kullanılan yenilenebilir enerji destekli teknolojiler ile şarj işlemlerinde kullanılacak enerjinin elde edilmesi,
- Geliştirilen yenilenebilir enerji destekli otonom şarj tekniği ile İHA'nın enerji ihtiyacı şebeke enerjisine ihtiyaç duyulmadan karşılanabilmesi,

1.3. Tez Organizasyonu

Tez kitabı Şu Şekilde organize edilmiştir; İkinci bölümde, İHA'lar ve türleri, döner kanatlı İHA'lar, İHA'larda kullanılan batarya teknolojileri ve İHA'lar için gerçekleştirilen Şarj istasyonlarına yönelik literatür araŐtırmalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, tez çalışması kapsamında geliştirilen Şarj istasyonu yapısına yönelik tasarım çalışmaları (Şarj sistemi, Şarj pisti, elektronik kontrol kartları ve Şarj takip sistemi) verilmiştir. Dördüncü bölümde, proje kapsamında yapılan benzetim çalışmalarına (PV panel, Akü batarya ve LiPo batarya) verilmiştir. Beşinci bölümde, tez çalışması kapsamında yapılan donanımsal çalışmalar (Şarj pisti, LiPo Batarya, PV panel, Akü batarya ve Kontrolcü kartı) sunulmuştur. Altıncı bölümde, tezde elde edilen sonuçlar sunulmuŐ, genel değerlendirmeler yapılmış ve öneriler verilmiştir.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

İnsansız hava araçları ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, ilk çalışmanın A. M. Low tarafından 1916 yılında yapıldığı görülmüştür [33]. 1935 yılında Reginald Deny tarafından, uzaktan kumandalı ilk İHA modeli geliştirilmiştir. 1960 yılına kadar yapılan çalışmalar, modern İHA tanımına uymamakla beraber, uzaktan kumandalı araç tanımından daha ileriye gidememiştir. Günümüzdeki İHA'ların temeli, 80'li ve 90'lı yıllarda yapılan çalışmalara dayanmaktadır [34]. Bu yıllarda küçültülen ve olgunlaştırılan İHA'lar, askeri alanlarda kullanılmıştır. Bu durumun en önemli nedenleri arasında yetişmiş askeri personel kaybının olmaması ve İHA'ların maliyetlerinin uçaklara göre çok daha ucuz olmasıdır. İHA'lar günümüzde genel olarak keşif, gözlem, denetleme ve hobi amaçlı uçuşlar için kullanılmaktadır.

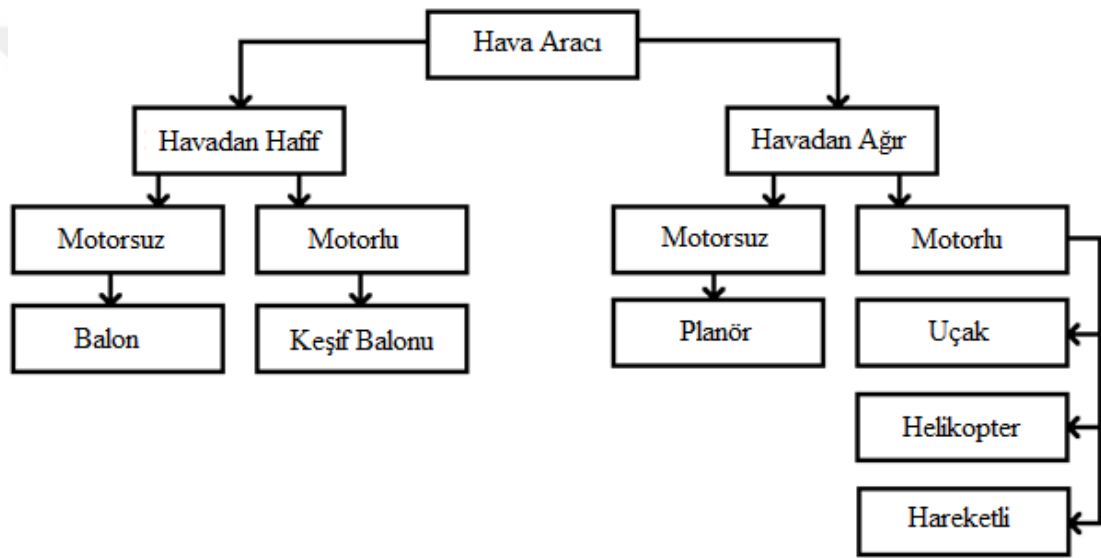
2.1. İnsansız Hava Araçları

İHA'ların kullanımı, son yıllarda hızla artmıştır [35]. Bu araçlar, günlük yaşamda ve literatürde genel olarak "drone" olarak da bilinmektedirler [35-37]. İHA'lar, üzerinde herhangi bir insan operatörü taşımayan, yerdeki bir pilot aracılığıyla ya da üzerinde bulunan mikroişlemciler ve sensörler aracılığıyla otonom olarak uçabilen motorlu hava aracı olarak tanımlanabilir [37-39]. Önceden tanımlı programlar aracılığıyla otonom uçuş özelliği kazanan İHA'lar, havalanmak için aerodinamik kuvvetleri kullanmaktadırlar [39-40].

İHA'lar, genel olarak, açık ve kapalı ortamlarda uçuş yapabilme, havada asılı ve sabit durabilme, çeşitli hız seviyelerine ani bir şekilde çıkabilme ve inebilme, yakın mesafelerde gözlem yapabilme, keskin manevralar yapabilme gibi yetenekleri bakımından insanlı araçlara kıyasla bazı üstünlükler sağlayabilmektedirler. Bu

yetenekleri sayesinde insan müdahalesinin zor ve tehlikeli olduğu yerlerde insanların yerini alabilmekte ve görevlerini başarılı bir şekilde yapabilmektedirler [41].

Günümüzde kullanılan farklı çeşit ve özelliklerde olan pek çok hava aracı bulunmaktadır. Genel olarak belirli amaçları gerçekleştirmek için geliştirilen bu tarz hava araçlarının sahip oldukları mekanizmaları, konfigürasyonları ve karakteristik özellikleri değişebilmektedir. Hava araçları, çalışma şekli, ağırlıkları, hızları ve diğer özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Şekil 2.1.'de uçuş prensipleri ve itme kuvvetleri bakımından farklı tipteki hava araçlarının sınıflandırılması verilmiştir [42-43].



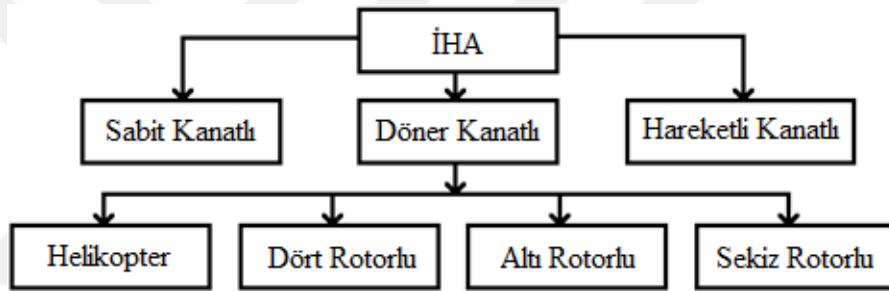
Şekil 2.1. Uçuş Prensipleri ve İtme Kuvvetleri Bakımından İHA'ların sınıflandırılması [43, 44 - 49]

Son yıllardaki haberleşme, sensör teknolojisi ve kontrol yöntemlerindeki gelişmeler, konfigürasyon, şekil ve ağırlık özelliklerine göre değişen çeşitli İHA'ların gelişmesine yol açmıştır. Geliştirilen İHA sistemleri, basit yapılarda, yüksek hızlarda uçabilen, küçük boyutlarda ve yüksek manevra kabiliyetlerine sahiptirler [50]. İHA'ların sahip olduğu özelliklerden bir tanesi de dikey havalanma ve iniş (Vertical Take Off and Landing, VTOL) özelliğidir. VTOL, sabit kanatlı uçakların ve helikopterlerin üstünlüklerinin bir araya getirildiği uçak türüdür. VTOL özellikli hava araçları, yüksek hızda verimlilik, yüksek seyir hızı, dikey olarak havada asılı durabilme, dikey olarak iniş ve kalkış yapabilme özelliklerine sahiptir [51]. Şekil 2.1.'de verilen

sınıflandırmadaki “Motorlu” bölümündeki hava araçları, VTOL özelliklerine sahip İHA’lar arasındadır.

2.1.1. İHA modelleri

İHA’lar üzerinde yapılan çalışmalar, çeşitli görevlerde çalışabilecek olan farklı şekil ve boyutlarda uçak tipleri geliştirilmesini sağlamıştır [41]. Bu bağlamda farklı kanat ve motor yapılarına sahip İHA’lar geliştirilmiştir. Çalışmalar kapsamında, sabit (fixed) kanatlı, döner (rotary) kanatlı ve hareketli (flapping) kanat olmak üzere 3 farklı İHA kategorisine atıfta bulunulmuştur. Şekil 2.2.’de bu özelliklere sahip İHA’lar kategorize edilmiştir.



Şekil 2.2. İHA çeşitleri

Sabit kanatlı İHA’lar, göç eden kuşlar gibi yakın kol mesafesinde uçuş yapabilen, tasarımları sayesinde sürüklenmelerini azaltabilen ve dikey olarak dengede durabilen hava araçlarıdır. Sabit kanatlı İHA’lar, araştırma ve geliştirme alanlarında önemli bir ilgiye sahiptirler. Sabit kanatlı İHA’lar geriye doğru hareket edemez, dönme ve havada asılı durma gibi olaylar gerçekleştiremezler. Sabit kanatlı İHA’lar, genel olarak pervane, motor, ana gövde ve kanatlardan oluşmaktadır. Kanatlar ile kaldırma kuvveti oluşturulurken, motor yardımıyla pervanenin dönmesi sağlanarak uçuş için itiş gücü üretilmektedir [52-56]. Şekil 2.3.a.’da sabit kanatlı İHA’ya ait görsel verilmiştir.

Döner kanatlı İHA’lar, üzerlerindeki rotorlar aracılığıyla oluşturulan kuvveti dengeleyerek uçuş yapabilen araçlardır. Döner kanatlı İHA’lar, mevcut İHA pazarında popülerliklerini sürdürmektedirler. Verilen yörüngeyi takip edebilme, dikey olarak iniş ve kalmış yapabilme, havada asılı durabilme gibi yeteneklere sahiptirler. Bu

yetenekleri sayesinde geniş çalışma alanları bulan döner kanat İHA'lar, pist veya büyük alanlara ihtiyaç duymadığı için araştırma merkezleri ve üniversiteler tarafından havadan robotik araştırmalarında sıkça kullanılmaktadır. Sahip oldukları motor sayılarına göre isimlendirilen döner kanat İHA'ların üç, dört, beş, altı ve sekiz motorlu olmak üzere pek çok çeşidi bulunmaktadır [57-61]. Şekil 2.3.b.'de örnek bir döner kanatlı İHA'ya ait görsel verilmiştir.

Hareketli kanat İHA'lar, kuş ve böceklerin kanat çırpmalarından esinlenilerek geliştirilen bir hava aracıdır. Böceklerin ve kuşların biyolojik yapılarından esinlendiği için uçuş dinamikleri, diğer İHA'lara kıyasla daha karmaşıktır. Bu tarz araçların çoğu elle çalıştırılmakta ve ileri doğru yapılan uçuşlarını başarılı bir şekilde gerçekleştirmektedir. Ek olarak dikey iniş-kalkış ve havada asılı durma özellikleri ile geniş bir uygulama alanı potansiyeli bulunmaktadır [62-66]. Düşük güç tüketen hareketli kanat İHA'lar, düşük yük taşıma kapasitesine ve düşük dayanıklılığa sahiptirler [43]. Şekil 2.3.c.'de hareketli kanat İHA'ya ait bir örnek görsel verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.3. İHA Modelleri: a. Sabit Kanat [63], b. Döner Kanat [61], c. Hareketli Kanat [67]

Sabit kanatlı, döner kanatlı ve hareketli kanat tipi İHA'ların sahip oldukları karakteristik özellikleri ve uygulama alanları bakımından karşılaştırmaları Tablo

2.1.'de verilmiştir [43]. Karşılaştırmalar sırasında düşük, orta ve yüksek değerlikli olarak 3 farklı karşılaştırma derecesi kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda döner kanatlı İHA kategorisinde en sık kullanılan modelin dört rotorlu (quadrotor) döner kanat İHA modelinin olmasından dolayı karşılaştırmalarda bu model döner kanat grubu değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 2.1. Kanatlı İHA'ların Özelliklerinin Karşılaştırılması (Düşük: ▲, Orta: ★, Yüksek: ●)

İHA Özellikleri	Sabit Kanat	Döner Kanat	Hareketli Kanat
Çerçeve ve Onarım [68, 69, 70]	▲	★	●
Fiyat [71]	▲	★	●
Batarya Tüketimi [72, 73]	★	▲	●
Uçuş Manevrası [74]	▲	●	★
Uçuş Menzili [72]	●	★	▲
Uçuş Güvenliği [68, 69]	●	★	▲
Sivil Kullanım [71, 73, 75, 76]	▲	●	●
Askeri Kullanım [72]	★	★	★

Dört rotorlu döner kanat İHA'lar (Quadrotor), küçük boyutları, geleneksel helikopterlere göre sahip oldukları basit yapıları, yüksek çeviklikleri, hızlı manevra kabiliyetleri, dikey iniş ve kalkış yetenekleri gibi sahip oldukları özelliklerinden ötürü son yıllarda insansız hava araçları arasında büyük bir popülerlik kazanmıştır. Sadeliği ve düşük maliyetleri nedeniyle özellikle İHA uygulamalarında olası bir çözüm olarak görülen Quadrotor'lar ile ilgili yapılan araştırma ve geliştirme uygulamalarında son birkaç yılda, gözle görülen bir artış yaşanmıştır [77-80].

2.2. Dört Rotorlu Döner Kanatlı İHA'lar (Quadrotor)

Quadrotor ya da quadcopter olarak adlandırılan İHA'lar, sahip oldukları dört adet motor ve birbirlerine simetrik şekilde yerleştirilen 2 çift pervane (2 Saat yönü, 2 Saat Yönünün Tersisi) ile havalanan ve uçuş yapabilen döner kanatlı İHA'lardandır [81]. Quadrotor'lar, sahip oldukları yüksek manevra kabiliyetleri ile dar alanlarda gezebilme, asılı durabilme, yükselme ve havada dolaşma (seyir, cruise) gibi uçuş özelliklerini yerine getirebilmektedirler [81-82]. Bir quadrotor, dar ve kalabalık ortamlarda zor ve karmaşık görevleri gerçekleştirebilme yeteneğinin yanı sıra diğer

İHA'lara göre daha basit kontrol mekanizmalarına da sahiptir [83]. Bu yeteneklere ek olarak, Quadrotor'lar, karşıt olarak yerleştirilen motorları arasındaki kol uzunluğu sayesinde yüksek açısal ivmelere ulaşabilirler. Bu özellik, quadrotor'ların pek çok standart helikopter ve uçağa göre daha çevik olmasını sağlar. Quadrotor'ların sahip oldukları bu özellikleri ve mekanik dayanıklılıkları nedeniyle son yıllarda robotik ve hobi amaçlı uygulamalarda büyük ölçüde artan bir ilgiye kavuşmuştur [84]. Şekil 2.4.'de farklı model ve şekillerde Quadrotor tipinde İHA görselleri verilmiştir.



Şekil 2.4. Quadrotor tipi İHA Modelleri [17][24][42][78]

Sensör, motor, batarya, mikrodenetleyici, kablosuz iletişim gibi alanlardaki teknolojik ilerlemeler, önceki yıllara göre bu donanımlara erişimin hem kolay hem de ucuz olmasını sağlamıştır. Bu bağlamda, bu teknolojilerin çok rotorlu İHA'larda kullanılmasıyla fiyatların önemli ölçüde düşmesi sağlanmıştır. Teknolojideki gelişmeler İHA'ların kullanımının artmasına önemli derecede etki etmiştir [85].

Quadrotor tipi İHA'lar, sensörler (jiroskop, ivme, pusula, barometre, vb.), atalet ölçüm birimi (IMU), elektronik hız denetleyicisi (ESC), küresel konumlandırma sistemi (GPS), kumanda alıcısı gibi farklı donanımlara sahiptirler [81]. Çalışma amaçlarına göre üzerinde farklı donanımlar taşıyan Quadrotor'lar, genel olarak çerçeve yapısına ek olarak, uçuş kartı, sensör, pervane, fırçasız DC motor, ESC, LiPo batarya ve kumanda alıcı devresine sahiptirler [86]. Uzaktan kumandadan alınan değerler uçuş kontrol kartı aracılığıyla işlenir. Uçuş kontrol kartı tarafından üretilen darbe genişlik

modülasyonu (PWM) kontrol teknikleri ile motorların kontrol edilmesinde kullanılan ESC'lerin değerleri verilmektedir. Her ESC, motorlara bağlıdır ve motorların sürülmesinde bu ESC'ler kullanılmaktadır. Motorlara bağlı olan pervaneler motorların dönüşüyle harekete geçer ve quadrotor'un havalanması sağlanır. [87]. Şekil 2.5.'de, Quadrotor'ler üzerinde kullanılan örnek donanımlar resmedilmiştir.

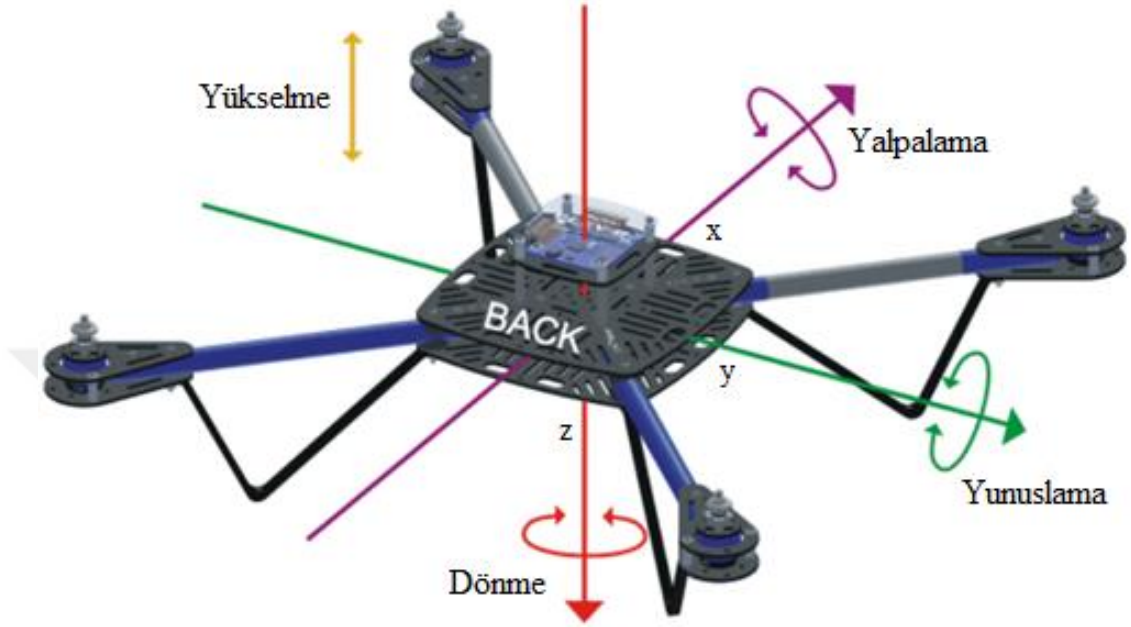


Şekil 2.5. Quadrotor İHA Materyalleri [86]

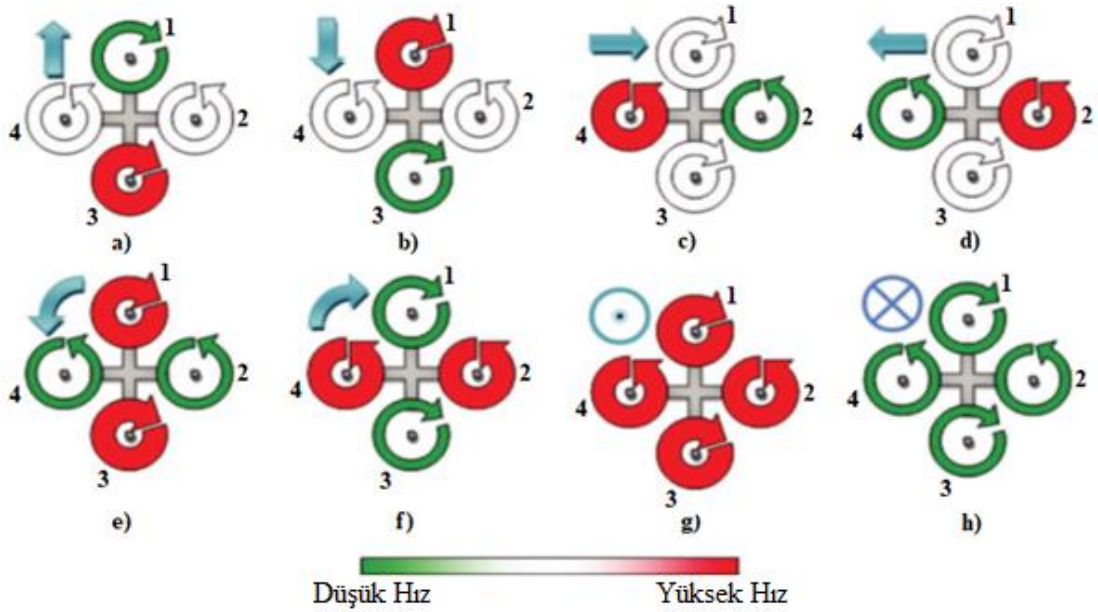
Quadrotor'lar sahip oldukları dört motorun farklı hızlarda dönmesiyle farklı eksenlerde temel uçuş hareketlerini gerçekleştirebilmektedir. Quadrotor'ların yükselme, yalpalama, dönme ve yunuslama olmak üzere dört temel hareketi bulunmaktadır. Yükselme hareketi, quadrotor'ün dikey ekseninde yükselme ve alçalma hareketleri için kullanılmaktadır. Yalpalama hareketi, quadrotor'ün x eksenini üzerinden sağa ve sola doğru hareket için kullanılır. Yunuslama hareketi, quadrotor'ün y ekseninde öne ve arkaya doğru hareket etmek için kullanılır. Dönme hareketi, quadrotor'ün z ekseninde kendi etrafında dönüş yapmak için kullanılır [88-89]. Şekil 2.6.'da quadrotor eksen hareketlerinin yönlerini gösteren resim verilmiştir.

Şekil 2.7.'de quadrotor üzerindeki motor hareketlerine bağlı olarak yapılan eksen hareketlerinin gösterildiği resim verilmiştir. Resimde 1, 2, 3 ve 4 numaraları motorların sahip olduğu hız değerlerine göre hangi eksen hareketinin yapıldığı görülmektedir. Örneğin; Şekil 2.7.a.'da 1. ve 3. motorlar arasındaki hız farkından ötürü yunuslama açısında, Şekil 2.7.c.'deki 2. ve 4. motorlar arasındaki hız farkından ötürü

ise yalpalama açısında değişiklikler yaşanmaktadır [91]. Şekil 2.7.'de sırasıyla, ileri (a), geri (b), sağa (c), sola (d), sola dönüş (e), sağa dönüş (f), yükselme (g) ve iniş (h) gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Quadrotor Eksen Hareketlerinin Yönleri [90]



Şekil 2.7. Quadrotor Eksen Hareketlerinin Gösterimi [91]

2.3. İHA Batarya Teknolojileri

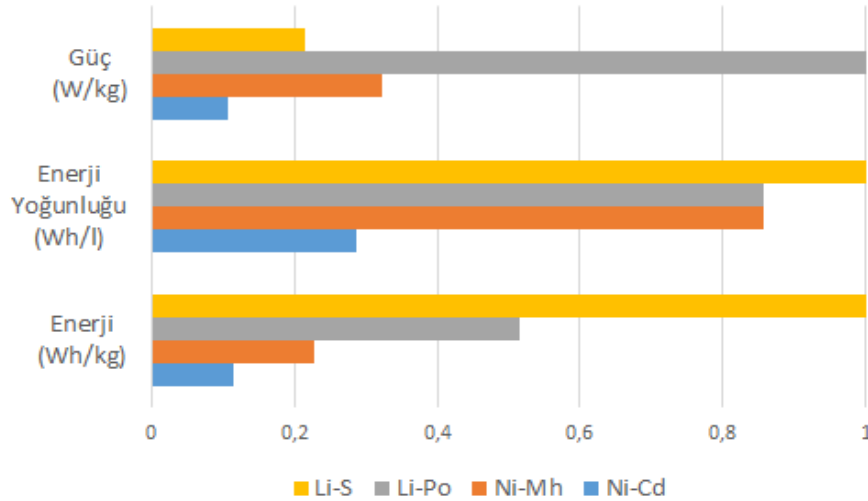
Motorlu döner kanatlı İHA'lar, enerji kaynağı olarak genellikle benzin, hidrojen, metan gibi çeşitli fosil kaynaklarını kullanmaktadırlar [92]. Fosil yakıtlar, bataryalara oranla daha fazla enerji üretebilmektedirler; fakat bu İHA'larda kullanılan içten yanmalı motorlar için son derece düşük bir verime sahiptir [93]. Bu yüzden bu yakıtların kullanımını mini İHA'lar için denge sorununa sebep olabilmektedir. Küçük boyutlu İHA'larda, uçuş için gereken güç genel olarak bataryalardan sağlanmaktadır.

Günümüzde küçük boyutlu İHA'lar için düşük ağırlıklarından dolayı Lityum Polimer özellikli bataryalar kullanılmaktadır [94]. LiPo bataryalar, orta dereceli spesifik enerjileri, yüksek spesifik güçleri ve yüksek çevrim gibi özelliklere sahiptirler. Akademik ve hobi amaçlı kullanılan İHA'ların yaklaşık %90'ından fazlasında güç kaynağı olarak kullanılmaktadırlar [86, 92, 95]. Tablo 2.2.'de İHA'larda kullanılan dört farklı batarya tipi arasında yapılan karşılaştırmalar neticesinde Lityum bataryaların diğerlerine göre daha iyi bir seçim olduğu görülmektedir [92, 94, 96]. Enerji kaynakları için yapılan karşılaştırmaların sonucuna göre grafiksel analizler Şekil 2.8.'de verilmiştir.

İHA'larda kullanılan enerji kaynakları arasında, LiPo bataryalarının yanı sıra yenilebilir enerji destekli güneş panelleri [97], polimer elektrolit membran yakıt hücreleri (PEMFC) [98], süper kapasitörler [99] ve lazer teknolojileri de [100] vardır. Güneş panelleri İHA'ların ihtiyacı olan enerjiyi sağlamak için kullanılırken, LiPo bataryalar ve süper kapasitörler hem enerji depolamak ve hem de enerji sağlamak için kullanılmaktadır. PEM yakıt hücreleri ve lazer ışını ile yapılan çalışmalar deneysel olarak devam etmektedir.

Tablo 2.2. Farklı Tip İHA Bataryalarının Karşılaştırılması [94]

Batarya Modeli	Güç (W/kg)	Enerji Yoğunluğu (Wh/l)	Enerji (Wh/kg)
Ni-Cd	300	100	40
Ni-Mh	900	300	80
Li-Po	2800	300	180
Li-S	600	350	350



Şekil 2.8. İHA Bataryalarının Karşılaştırılması

2.4. İHA Şarj İstasyonları

İHA'larda elektriksel güç kaynağı olarak bataryalar kullanılmaktadır. Uçuş kontrol sisteminin yüksek güç tüketimi ve kullanılan batarya kapasitelerinin limitleri yüzünden, İHA'ların normal çalışma süreleri genel olarak 10-30 dakika arasında değişebilmektedir [30-31, 81]. İHA'ların potansiyeli bu kısıtlamalar nedeniyle ciddi bir şekilde sınırlanmaktadır. Uçuş menzilin ve çalışma süresinin büyük ölçüde kısıtlanması, İHA'ların belirli uygulamalarda kullanım amacını yerine getirememesine sebep olabilmektedir. Bu gibi sorunların üstesinden gelmek için batarya teknolojisinde yenilikler ve yeni güç kaynakları üzerine çalışmalar devam etmektedir [81,101].

İHA'ları sürekli çalıştırılabilmesi amacıyla, normal çalışma süresi içerisinde bataryaların şarj edilmesi veya değiştirilmesi gerekmektedir. Bu işlem için otonom hale getirilip herhangi bir insan müdahalesine gerek duyulmadan hava aracı üzerindeki bataryaları şarj edebilen istasyonların kullanılmasıyla, İHA'ların genel görev süresi büyük bir ölçüde arttırılabilir. Şarj istasyonlarında, bataryaların şarj edilme sürecinde fiziksel kablo bağlantıları üzerinden veya kablosuz olarak güç aktarımı yapılarak bataryaları şarj etme imkânı sağlanmaktadır. Kablolü güç aktarımı, kablosuza oranla daha verimli, fakat daha fazla bakım gerektirmektedir. Şarj etme işleminin yanı sıra bataryanın değiştirilmesini sağlayan istasyonlar ile daha hızlı bir şekilde İHA'nın uçuşuna devam edilmesine imkân sağlanmaktadır [81,101].

2.4.1. Kablolu/Konektörlü şarj istasyonları

Kablolu şarj, İHA ve şarj kaynağı arasında fiziksel olarak kablo veya konektör bağlantısı aracılığıyla gerçekleştirilen enerji aktarılması işlemidir. Sabit veya hareketli şarj istasyonları içerisinde bulunan şarj platformlarındaki enerji hatları (bakır kontak, konektör, vb.) üzerinden şarj platformlarının enerji ihtiyaçları karşılanmaktadır. İHA'lar üzerinde çeşitli parçalara takılan şarj aparatlarının, şarj platformlarına temas etmesiyle şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Enerji hatları sabit konumlara bağlandığı için iniş esnasında meydana gelebilecek yanlış hizalanmalardan ötürü kısa devre problemleri yaşanabilmektedir. Bu gibi sorunları ortadan kaldırmak amacıyla farklı şekillerde şarj istasyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmaktadır:

Mulgaonkar [101], mikro insansız hava araçları (MAV) için otonom olarak şarj olabilme imkânı sağlayan bir şarj istasyonu gerçekleştirilmiştir. İstasyon, gözetleme uçuşu yapacak İHA'lar için düşünülmüş ve bu konuda özel olarak tasarlanmıştır. Şarj istasyonları, sabit bir noktada bulunmakta ve birden fazla İHA'nın aynı anda şarj edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Şarj istasyonu, İHA'ların otonom olarak iniş yapması, üzerindeki bataryayı şarj etmesi ve görevine kaldığı yerden devam etmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Şarj istasyonuna gelen İHA'lar, alt kısımlarında bulunan metal konektörler aracılığıyla istasyonda bulunan metal plakalara bağlanmaktadır. Metal plakaların alt kısımlarındaki güç kabloları ile sisteme enerji verilmektedir. Bu şekilde bataryaların şarj edilmesi sağlanmaktadır. Sistemde 3 adet Mikro Hava Aracı (Micro Aerial Vehicle, MAV) kullanılmıştır. Bu sayede herhangi bir MAV şarj olurken diğer MAV'ların görevlerini devam ettirmesi sağlanmaktadır. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.9.a.'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere İHA'nın kırmızı kolunun bulunduğu kısmın, kırmızı şerit ile kaplı olan plaka üzerine doğru iniş yapması gerekmektedir. Yanlış bir iniş yapıldığında kısa devre riski meydana gelebilmektedir.

Cocchioni ve arkadaşları [102,103], farklı cihazlar arasında işbirliği sağlayarak İHA'ların şarj edilebilmesi üzerinde bir çalışma yapmışlardır. İnsansız yer aracı

(UGV) ile insansız hava aracı arasında etkileşim kurarak, İHA'nın şarj edilebilmesine olanak sağlayacak bir mobil şarj istasyonu platformu gerçekleştirmişlerdir. UGV ile İHA arasındaki koordinasyonu ve senkronizasyonu sağlayabilmek amacıyla bir yer kontrol istasyonu (UGC) yazılımı gerçekleştirilmiştir. Şarj işlemi sırasında dengeli şarj etme işlemi yerine hızlı şarj etme işlemi kullanılmıştır. Tasarlanan platform, bataryayı 20 dakika içinde şarj etmeye izin veren pasif bir şarj mekanizması olarak tasarlanmıştır (no full charge). Şarj cihazı direk olarak +12V'luk DC güce bağlanmıştır. Şekil 2.9.b.'de görüldüğü üzere kubbe şeklinde olan alt bölgedeki bakır plakalar ile İHA'nın ayaklarında bulunan konektörlerin temas etmesi halinde şarj işlemi gerçekleşmektedir. Sistemde herhangi bir kısa devre problemi olmaması için emniyet sigortası yerleştirilmiştir. Çalışma kapsamında batarya değiştirme işlemi yerine batarya dolun işleminin seçilmesinde geliştirme süresi, maliyet ve platform karmaşıklığı gibi etmenler yer almaktadır.

Song ve arkadaşları [104], uçuş görevlerinde ve lojistik tesislerde kullanılacak çok sayıdaki İHA'nın, uçuş işlemlerini ayarlamak amacıyla sistemdeki süreçlere destek verecek bir Karışık Tamsayı Doğrusal Programlama (MILP - Mixed Integer Linear Programming) modeli geliştirmişlerdir. Düşünülen sisteme ek olarak batarya şarj istasyonu gerçekleştirilmiştir. Sistemde 4 adet bakır konektör (İHA'nın her bacağı için 1 tane) bulunmaktadır. İHA üzerinde bulunan LiPo batarya içerisinden 4 adet bakır kablo (terminal hatları için 3, toprak hattı için 1) İHA'nın 4 ayağına sarılmıştır. İHA'nın ayaklarındaki bakır kablolar ile istasyon üzerindeki bakır ped'lerin temas etmesi durumunda şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Şarj işlemi sırasında, AR Drone 2.0 çalışırken, şarj işlemi gerçekleştirilmemektedir. İstasyonun merkezinde büyük dairesel bir düğme bulunmaktadır. İHA, sisteme iniş yaptığında bu butona dokunarak sistemi aktifleştirmekte ve İHA'yı kontrol eden bir devre aktif olmaktadır. 5 saniye sonra İHA'nın gücü kapatılmakta ve şarj işlemi başlatılmaktadır. Şarj etme işlemi tamamlandıktan sonra şarj aleti tarafından bir led sinyali verilmektedir. İstasyon bu durumu algılayarak şarj işlemini bitirmekte ve bataryayı çalıştırmaktadır. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.9.c.'de verilmiştir.

Leahy ve arkadaşları [105], kalıcı gözetim görevi yapacak olan birden fazla İHA'nın, otomatik olarak şarj edilmesine imkân sağlayacak bir istasyon gerçekleştirilmiştir. İHA'ların çarpışmadan, hareket edebilmesi için otomata tabanlı teknikler kullanılmıştır. Şarj istasyonu, İHA'ların gerçek uçuş görevlerinde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Teorik sonuçları doğrulamak için yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan iki İHA, farklı iki noktada bulunan şarj istasyonuna yaklaşık 50 kez iniş yapmıştır. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.9.d.'de verilmiştir. İstasyon içerisinde bulunan Hyperion EOS0720i Net3AD şarj cihazı ile istasyona güç verilmektedir. İHA'nın ayaklarındaki mıknatıslı yaylarla monte edilmiş çelik konektörler ile istasyondaki paslanmaz çelik pedler aracılığıyla batarya şarj işlemleri gerçekleştirilmektedir. Platform üzerinde yapılan işlemler gerçek zamanlı olarak izlenmektedir.

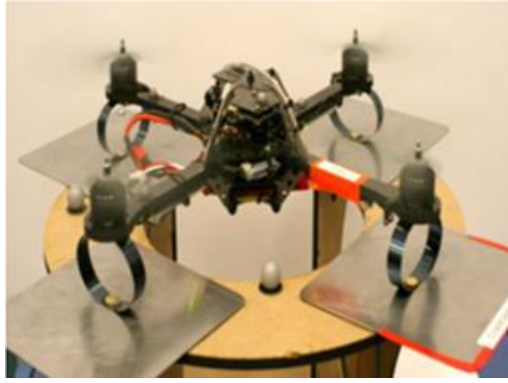
Dale (Master) [106] ve Valenti (PhD) [107] tez çalışmalarında, küçük boyutlu bataryalar ile çalışan İHA'lar için tamamen otonom olarak çalışan bir şarj istasyonunun tasarımı, modellenmesi, test edilmesi ve gerçekleştirilmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır. Tasarlanan şarj istasyonu, uzun vadeli uçuşlar yapabilmek ve çoklu İHA uçuşlarında görev yönetimi yapmak için kullanılmıştır. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.9.e.'de verilmiştir. Şarj istasyonuna iniş yapacak olan İHA'nın yanlış konuma gitmesini engellemek için ters piramit şeklinde bir duvar tasarımı yapılmıştır. İniş hatalarının tolere edilmesinde basitliği, kolay yapılması ve etkin kullanılması sebebiyle aktif konum hatası düzeltme yöntemleri arasından bu yöntem seçilmiştir. Bu tasarımla İHA şarj pistinde bulunan bakır plakaların üzerine iniş yapacaktır. Şarj istasyonunda bulunan 4 adet bakır plaka ile İHA'nın bacaklarında bulunan bakır konektörlerin teması halinde şarj etme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bakır plakalardan ikisinin altından "+" ve "-" güç hatları verilmiştir. Çalışmalar kapsamında çoklu İHA görev yönetimi için bir dizi şarj istasyonu oluşturulmuştur. Şarj istasyonları, birbirleri ile işbirliği içinde çalışan birden çok quadrotor ile deney yapmak için kullanılmıştır.

Kemper ve arkadaşları [108], helikopter tipi İHA'lar için kullanılan batarya dolmuş istasyonlarının, ekonomik olarak tüketimlerinin değerlendirilmesi, analiz edilmesi ve

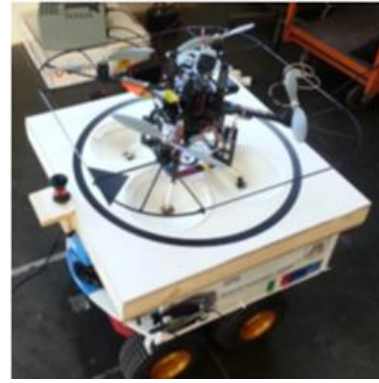
tasarlanmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalar kapsamında şarj istasyonunun, modülerlik, maliyet, karmaşıklık, terminal bağlantıları ve eşleştirme gibi özellikleri ele alınarak, aksiyomatik tasarımları yapılmıştır. Helikopter tipi İHA'lar için hem şarj etme (3 adet) hem de batarya değiştirme (1 adet) istasyonları üzerinde aksiyomatik tasarımlar yapılmış ve sonuç olarak düşük kapsama alanına sahip İHA'lar için şarj etme istasyonlarının, yüksek kapsama alanına sahip İHA'lar içinse batarya değiştirme istasyonlarının kullanımının uygun olduğu görüşü savunulmuştur. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.9.f.'de verilmiştir.

Boston üniversitesinde yapılan çalışmalar sonucunda geliştirilen şarj istasyonu [109] ile 4 rotorlu döner kanat İHA'ların şarj işlemi yapılabilmektedir. Döner kanadın ayaklarına sarılan iletken bant ve istasyon üzerinde bulunan bakır bantların teması halinde şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Uçuş kontrol kartı, ESC ve batarya şarj cihazı arasında bulunan röle sistemi ile anahtarlama yapılarak bataryanın kontrollü şarj edilmesine imkân sağlamaktadır. Tasarlanan sistem 3D yazıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.9.g.'de verilmiştir.

Nevada üniversitesinde yapılan çalışmalar sonucunda geliştirilen bir diğer şarj istasyonu [110] ile 6 rotorlu döner kanat İHA'ların şarj işlemi yapılabilmektedir. Döner kanadın karşılıklı 2 ayağına sarılı olan bakır bantlar ile şarj istasyonu üzerinde bulunan bakır kontak noktalarının birbirleriyle teması durumunda şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Eğimli kollar sayesinde iniş sırasında meydana gelecek hizalama hataları önlenmektedir. Ayak destekleri, altıgen kasnağın her bir parçasına bağlandığı için daha kararlı bir yapı oluşturulmuştur. İstasyonun geçerliliğini test etmek amacıyla 3 farklı test gerçekleştirilmiştir. İlk testte İHA elle platform üzerine bırakılmış ve istasyon ile İHA arasındaki bağlantı test edilmiştir. İniş işleminden sonra istasyondaki durum ışıkları aktif olmuş ve yeşil ışık yanmıştır. İkinci testte İHA, manuel olarak indirilmiş ve araç açık iken şarj olma işlemi yapılmıştır. Son testte bataryanın ne kadar hızlı şarj edilebileceği kontrol edilmiş ve 69 dakika ve 56 saniyelik bir sürede bataryanın şarj edildiği görülmüştür. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.9.h.'de verilmiştir.



(a)



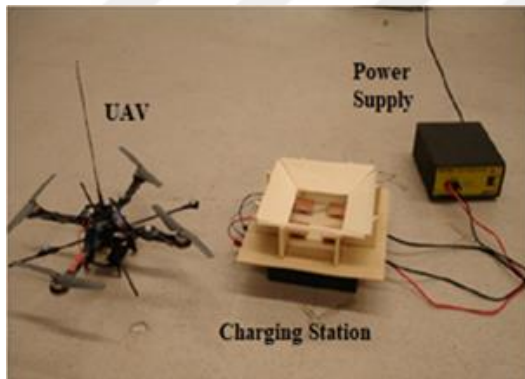
(b)



(c)



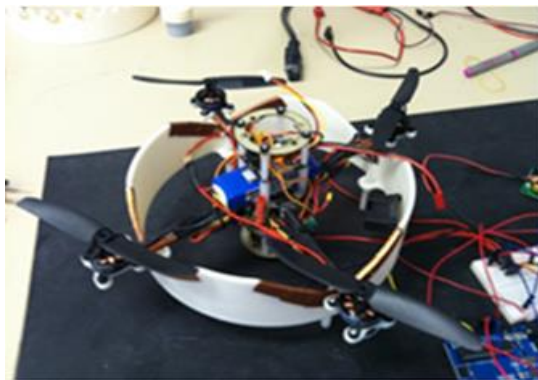
(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 2.9. Kablolu/Konektörlü şarj istasyonları (a) [101], (b) [102], (c) [104], (d) [105], (e) [107], (f) [108], (g) [109], (h) [110]

SkySense [111], HiveUAV [112] ve HeishaTech [113] firmalarının üretmiş oldukları şarj platformları, İHA'ların şarj edilmesinde kullanılan çalışmalar arasındadır. Donanımsal yapıları, sahip oldukları özellikler ve kullanıldıkları alanların farklı olmasına rağmen geliştirilen şarj istasyonlarının ortak amacı, görev uçuşunda olan İHA'ların uçuş süresini artırmaya olanak sağlayan platformlar olmasıdır. Tablo 2.3.'de İHA'lar için geliştirilen şarj istasyonlarının özellikleri, Tablo 2.4.'de ise literatürde yapılan çalışmalarda kullanılan İHA'lara ait özellikler verilmiştir.

Tablo 2.3. Kablolu/Konektörlü Şarj İstasyonlarının Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Ref.	Bağlantı Tipi	Batarya Şarj Süresi	İstasyon Tipi	İHA İniş Yöntemi	Enerji Kaynağı
[101]	Konektör	29:33 Dk	Sabit	Görüntü İşleme	Şebeke
[102, 103]	Bakır Plaka	35:00 Dk	Mobil	Otonom İniş	+12 Volt DC
[104]	Bakır Plaka	~1 Saat	Sabit	Görüş Tabanlı İzleme Algoritması	OEM Şarj Aleti
[105]	Konektör	12:03 Dk	Sabit	IR Kamera, Hareket Yakalama Sistemi	Hyperion EOS0720 Net3AD Şarj Aleti
[106, 107]	Bakır Plaka	70 - 90 Dk	Sabit, Mobil	Otonom İniş	Thunder Power 1010C Şarj Aleti
[108]	Konektör	50 Dk	Sabit	Manuel	Şarj Aleti
[109]	Bakır Plaka	-	Sabit	Manuel	Güç Kaynağı
[110]	Bakır Plaka	69:56 Dk	Sabit	Manuel	Güç Kaynağı

Tablo 2.4. Kablolu/Konektörlü Şarj İstasyonlarında Kullanılan İHA Özelliklerinin Karşılaştırılması

Referans	İHA Tipi	İHA Modeli	İHA Kontrolcü Tipi	İHA Batarya Kapasitesi	İHA Uçuş Süresi	İHA Uçuş Tipi
[101]	Quadcopter	Hummingbird Quadrotor MAV	Intel® Atom™ Processor Z530	2100 mAh 3S	15-20 Dk	Otonom
[102] [103]	Quadcopter	Asctec Pelican	Core2Duo S19400	6000 mAh 3S	12-14 Dk	Otonom
[104]	Quadcopter	Parrot AR.Drone 2.0	ARM Cortex A8	1,000 mAh 3S	8-12 Dk	-
[105]	Quadcopter	K500 quadrotors	K500 quadrotors	2200 mAh 3S	19-25 Dk	Otonom
[106] [107]	Quadcopter	X-UFO, Draganflyer	-	2000 mAh 3S 1320 mAh 3S	13-20 Dk	Otonom
[108]	Helikopter	E-Sky Lama V3 Honey Bee King 2	4-in-1 Mix Controller	800 mAh 2S 1000 mAh 3S	20 Dk	Uzaktan Kumanda
[109]	Quadcopter	Deneyisel	-	3S	-	Uzaktan Kumanda
[110]	Hexacopter	Deneyisel	APM 2.6 Autopilot	5500 mAh 6S	-	Uzaktan Kumanda

2.4.2. Kablosuz şarj istasyonları

Kablosuz güç transferi (WPT, Wireless Power Transfer), verici ve alıcı kaynakları arasında herhangi bir bağlantı kablosu kullanmadan elektromanyetik enerjinin aktarılması işlemidir. Yirminci yüzyılın başından itibaren Nicola Tesla tarafından herhangi bir ara madde olmadan enerjinin hava yoluyla aktarılması fikrine dayanmaktadır [114]. Tipik bir WPT sisteminde, verici kaynak elektrik enerjisini zamanla değişen elektromanyetik alana dönüştürmektedir. Dönüştürülen enerji alıcıya aktarıldıktan sonra elektromanyetik alan tekrar elektrik akımına dönüştürülerek enerji aktarımı tamamlanmaktadır [115]. WPT uygulamalarında genel olarak, fiziksel bağlantısı bulunmayan iki bobin arasındaki enerji aktarımı yapılmaktadır. İHA'ların kablosuz şarjına yönelik yapılan literatür çalışmalarının özeti aşağıda verilmektedir.

Junaid ve arkadaşları [116], iç ortamlarda çalışabilen İHA'lar için herhangi bir kablo bağlantısına gerek duyulmaksızın şarj imkânı sağlayan bir şarj istasyonu geliştirmişlerdir. İstasyondaki güç transferi, kablosuz olarak alıcı ve verici bobinler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. İstasyon ile otonom navigasyona sahip ve insan müdahalesine gerek duyulmadan İHA'ların şarj edilerek uçuş sürelerinin artırılmasına imkân sağlayacak ucuz bir çözüm sunulmaktadır. İHA üzerinde bulunan düşük batarya algılama sistemi ile bataryanın şarj seviyesi kontrol edilmektedir. Batarya şarj seviyesinin düşmesine bağlı olarak İHA, şarj istasyonuna iniş yapmakta ve şarj işlemi başlatılmaktadır. Şarj işleminin tamamlanmasından sonra İHA, uçuş görevine devam etmektedir. Önerilen sistem, kablosuz güç aktarımı işleminde kullanılan mevcut sistemlerle karşılaştırıldığında, güç transferi verimliliğinde %50'lik artış göstermektedir. Tasarlanan sistemde açık kaynaklı uçuş kontrolcüsü ile yer istasyonu arasında iletişim kurmak için Matlab arayüzü yapılmış ve kontrollü iniş işlemleri için hassas görüş sensörleri (VICON, Variable Independent Control) kullanılmıştır. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.10.a.'da verilmiştir.

Junaid ve arkadaşları [117], uçuş görevlerindeki İHA'ların otonom iniş yapabilecekleri, herhangi bir insan müdahalesine gerek duyulmadan kablosuz olarak şarj edilebileceği, dış ortamlarda kullanılacak ve uygun maliyetli bir şarj istasyonu

gerçekleştirmişlerdir. Herhangi bir kablo bağlantısı olmadan İHA bataryası şarj edilebilmektedir. Çalışma kapsamında İHA'ların dış ortamdaki kontrollü iniş işlemleri için GPS sensörü, görüntü tabanlı kapalı döngü hedef tespiti ve izleme sistemi kullanılmıştır. Şarj istasyonundaki görüntü çerçevesinde tanımlanan hedefin şeklini, rengini ve konumunu algılamak amacıyla yerleşik kamera kullanılmıştır. İstasyon üzerinde bulunan kırmızı dairesel hedefin tespit edilebilmesi amacıyla İHA üzerindeki kameradan alınan görüntüler, görüntü işleme süreçlerinden geçirilmiştir. Çalışma da AR Drone isimli ticari İHA kullanılmış ve İHA'nın altına üç adet alıcı bobin seri olarak monte edilmiştir. İstasyondaki kırmızı dairenin altına yerleştirilen XKT-510 model üç adet kablosuz şarj modülü istasyondaki güç kaynağına bağlanmıştır. Alıcı ve verici modüller arasındaki enerji iletişimi ile bataryanın şarj edilmesi sağlanmaktadır. Gerçekleştirilen test ve analiz işlemlerinde yapılan çalışmanın kablosuz güç transferi işleminde ortalama %75'lik bir başarı elde ettiği gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.10.b.'de sunulmuştur.

Choi ve arkadaşları [118], İHA'lar için manyetik indüksiyon prensibine ve mesafe algılamaya dayalı otonom şarj istasyonu çalışması gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan sistemde, donanımsal olarak X ve Y eksenlerinde hareket eden iki sürgü, bu sürgüler üzerinde iki motor, bir tane ultrasonik sensör ve iki adet lazer mesafe sensörleri bulunmaktadır. Sürgü sistemi üzerindeki motorlara, indüksiyon bobinleri sarılmıştır. İstasyondaki kontrol süreçlerini yönetmek için Arduino Uno kontrolcü kartı kullanılmıştır. Geliştirilen sistemde, İHA'nın platform üzerine inişinden sonra İHA'nın konumu istasyon içerisindeki lazer sensörleri ile algılanıyor ve sürgü sistemi hareket ettirilerek indüksiyon bobinleri İHA'nın alt kısmına getirilmektedir. Daha sonra alıcı kısmı İHA'nın altında, verici kısmı ise platformda bulunan bir çift indüksiyon bobini aracılığıyla istasyondan İHA'ya doğru kablosuz güç aktarımı yapılmaktadır. Şarj işlemi tamamlandıktan sonra İHA, havalandırma ve görevine devam etmektedir. Şarj istasyonu, herhangi bir hassas iniş işlemine veya konumlamaya gerek duyulmaksızın şarj işlemini gerçekleştirebilmektedir. Kablosuz şarj işlemleri sırasında 700 mA ve 3.7V kapasiteye sahip bir batarya yaklaşık 75 dakikada şarj edilirken kablolu şarj ile 50 dakikada şarj edilmektedir. Bu bakımdan istasyondaki enerji aktarımının verimini yükseltmeye yönelik çalışmalar devam etmektedir. Konumlandırma sisteminin alıcı

bobini algılaması ve doğru hizalamayı yapılabilmesi için 5 saniye gerekmektedir. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.10.c.'de verilmiştir.

Jung ve arkadaşları [119,120], İHA'lar için iniş sırasında kusurlu hizalanmalara karşı daha kullanışlı ve doğrudan metalik temastan daha güvenli olan kablosuz güç aktarma mekanizması önermişlerdir. Tasarlanan sistemde, alıcı ve verici manyetik halkaları kullanılarak endüktif kablosuz güç aktarımı yapılmaktadır. İletici ve alıcı tarafların her ikisinde de indüktörler kullanılarak bir manyetik alan oluşturulmuştur. Sistem içerisinde verimi arttırmak ve sensör girişimlerini azaltmak için İHA'nın etrafında küçük endüksiyon bobinleri kullanılmıştır. Endüktif kablosuz güç aktarımını yapmak amacıyla 4 çift endüktif alıcı ve verici içeren ve kablosuz şarj etme yeteneğine sahip bir insansız yer istasyonu (UGS, Unmanned Ground System) yapılmıştır. UGS içerisinde, quadrotor tipi İHA'nın inişini saptamak için 2 adet PIR hareket sensörü ve 4 basınç sensörü kullanılmıştır. UGS'nin merkezdeki 1 ve merkez etrafındaki 4 adet işareti algılamak amacıyla İHA'nın önünde ve altında bir adet görüş kamerası bulunmaktadır. Şarj verimliliğini artırmak amacıyla alıcı ve verici manyetik halkaların doğru hizalanmasını sağlamak ve yanlış hizalanmış İHA'yı merkeze yerleştirmek için 4 konumlandırma çubuğu kullanılmıştır. Şarj işlemi sırasında İHA'nın uygun mesafede bulunmaması durumunda şarj işlemi gerçekleşmemektedir. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.10.d.'de verilmiştir.

Ke ve arkadaşları [121], elektrikli insansız hava aracının (e-İHA) kablosuz olarak ve insan erişimi gerek duyulmadan şarj edilebilecekleri bir kablosuz şarj sunmaktadırlar. Önerilen sistemde, e-İHA'nın şarj pisti üzerindeki farklı noktalardan yeterli enerjiyi alabilmesi için manyetik alan oluşturulmaktadır ve önerilen sistem ile yüksek bir verimlilikte yeterli gücü iletebilmektedir. Sistemin geçerliliğini kanıtlamak amacıyla hem benzetim hem de deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmaları kapsamında, alıcı ve verici bobin arasındaki mesafeli ve göreceli konum olmak üzere iki anahtar faktör üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Benzetimlerde, JMAG Designer ve sonlu elemanlar yöntemi (FEM, Finite Element Method) metodu kullanılarak kablosuz güç aktarım sisteminin elektromanyetik alan dağılımı gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen prototip ile sistem, farklı frekanslarda test edilmiştir. Farklı göreceli pozisyonlardaki

İHA ve test pistinin çalışması ile ilgili bir deneme yapılmıştır. Alıcı bobinin 370 kHz frekansında maksimum güce (6.6W) ulaştığı görülmüştür. Sistemde, maksimum çıkış gücü 6.9W, minimum çıkış gücü ise 6.3W olarak hesaplanmıştır. Aradaki yaklaşık %8'lik güç kaybı, sistemin yanlış hizalanmalara karşı toleranslı olduğunu göstermektedir. İHA'nın yanlış hizalanmasına bağlı olarak bu oran %20'ye çıkmaktadır. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.10.e.'de verilmiştir.

Rohan ve arkadaşları [122], rezonans endüktif bağlantı bazlı olarak çalışan kablosuz güç iletim tekniği kullanarak gelişmiş bir batarya şarj sistemi geliştirmişlerdir. Sistemde birden fazla güç vericisi ve bir adet alıcı bulunmaktadır. Sistemde, herhangi bir fiziksel sensöre gerek duyulmadan alıcı ve verici sistemler arasındaki bağlantıyı kontrol etmek için tepe tırmanma (Hill Climbing) algoritmasına dayalı yeni bir yöntem önerilmektedir. Önerilen sistem için pratik bir test platformu geliştirilmiştir. Geliştirilen şarj istasyonu için x ve y eksenli bir masa kullanılmıştır. X-Y tablosu üzerinde enerji transferi için dört verici bobin, konumlandırma içinse 2 adet adım motor kullanılmıştır. İHA, şarj istasyonuna indiğinde ve X-Y tablosu, tepe tırmanma algoritmasını kullanarak verici bobini doğru konuma hareket ettirmeye başladığında, verici bobin ve alıcı bobin endüktif olarak eşleşmeye başlamaktadır. İHA şarj istasyonuna indikten sonra 2 saniye içinde kablosuz güç aktarımı maksimum verimde başlamaktadır. Sistem tam otomatik olarak tasarlanmış ve yanlış iniş etkisini (poor landing effect) azaltmak için farklı iniş senaryoları test edilmiştir. Alıcı bobinin pozisyonuna bakılmaksızın, şarj istasyonundaki verici ve alıcı bobinlerinin merkezleri % 98.8'lik oranda hassasiyetle hizalanmıştır. Kablosuz güç aktarımında yaklaşık % 85'lik bir verim elde edilmiştir.

Yang ve arkadaşları [123], İHA'ların kablosuz olarak şarj edilebilmesi için yatay toleransı ve performansı artıracak şekilde optimize edilen bağlantı yapılarına ve parametre değerlerine sahip asimetrik birleştirilmiş WPT sisteminin tasarımını yapmışlardır. WPT sisteminin modellenmesi ve analiz edilmesi sonucunda alınan güç ve kablosuz transferinin verimliliğini belirlemek için kullanılacak parametreler elde edilmiştir. Bağlantı bobinlerinin yapıları ve parametre değerleri, yapılan benzetim ve karşılaştırmalar ile kalite faktörünü ve yatay toleransı artırmak için optimize edilmiştir.

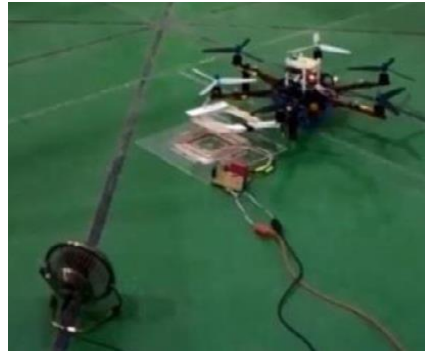
Tasarlanan sistemdeki enerji transfer süreçlerine bakıldığında ilk olarak fotovoltaik panellerden alınan güneş enerjisi, çeviriciler ile AC enerjiye dönüştürülüyor. AC enerji, süper kapasitörlerde ve bataryalarda depolanmaktadır. Depolanan enerji, şarj işlemi sırasında yüksek frekanslı invertör ile yüksek frekanslı AC'ye aktarılır ve yüksek frekanslı AC üzerinden birincil tarafta dengelendikten sonra verici bobin üzerinden iletilir. İHA üzerindeki alıcı bobinler, rezonans manyetik bağlantısı ile kablosuz olarak enerjiyi almaktadır. Alınan enerji, dengeleme, doğrultma ve filtreleme işlemlerinden sonra DC'ye çevrilerek bataryanın şarj edilmesi sağlanmaktadır. Analiz ve tasarım sonuçlarının doğruluğunu test etmek için deneysel bir platform hazırlanmıştır. Testler sonucunda, kablosuz güç aktarım verimliliğinin %57.94, alınan gücün ise her zaman 64W'tan daha yüksek olduğu görülmüştür. Bağlantı bobinlerinin yanlış hizalanması durumları ortadan kaldırılmıştır. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.10.f.'de verilmiştir.

Chen ve arkadaşları [124], 3 boyutlu yazıcı ile oluşturulmuş İHA için otomatik ve yüksek verimli kablosuz enerji transferi sağlayacak bir çalışma sunmaktadırlar. Önerilen sistem, 3S LiPo bataryayı şarj etmek için kullanılacak alıcı bobinlerden ve içerisinde verici bobinler bulunan bir şarj pistinden oluşmaktadır. Kablosuz iletim tarafı, 24V DC gerilimi ile beslenmekte ve 180 kHz frekansında çalışmaktadır. Alıcı tarafında ise LiPo bataryasının her hücresi için 1 adet olmak üzere toplamda 3 adet XKT-801 kablosuz güç transfer modülü kullanılmaktadır. Alıcı sistemi için İHA üzerine özel bir parça eklenmiştir. Bu parçaya üç adet alıcı bobin sarılmıştır. İHA manuel olarak uçuşuna devam ederken verici bobine yaklaştığında batarya şarj modülü üzerindeki led kırmızı renkte yanarak batarya şarj işleminin başladığını gösterir. İHA verici bobinin çalışma mesafesinden çıktığında, LED mavi renkte yanmakta ve bataryanın şarjı kesilmektedir. Led ile şarj işlemi kontrol edilmektedir. Yapılan testler sonucunda sistemin verimli çalışabilmesi için İHA ile verici bobinler arasında 12 cm'ye kadar bir mesafenin bulunması gerektiği gözlemlenmiştir. Verici ve alıcı bobinler etkin mesafeye girdiklerinde kablosuz şarj işlemi tekrardan başlamaktadır. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.10.g.'de verilmiştir.

Campi ve arkadaşları [125], İHA'lar için manyetik rezonans bağlantısına dayalı kablosuz güç aktarım sistemine sahip bir şarj istasyonu kurmuş ve benzetim işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada alıcı bobin İHA üzerinde verici bobin ise şarj istasyonunda bulunmaktadır. Tasarlanan İHA'nın alt kısmında bulunan yuvarlak biçimindeki bobinlerin konumlanma durumları ile ilgili benzetim çalışmaları yapılmıştır. İlk benzetimde, üç farklı konumlanma durumlarında (0,100,200 mm) elde edilen gerilim, akım ve verim değerleri hesaplanmıştır. İkinci benzetimde ise İHA ile şarj istasyonu arasındaki yanlış hizalama dikkate alınmıştır. Çalışma frekansı 150 kHz olarak ayarlanmıştır.

Campi ve arkadaşları [126] diğer çalışmalarında, İHA'ların şarj işlemleri esnasında yanlış konumlanmalarından ötürü meydana gelebilecek problemleri ortadan kaldırmak ve yüksek verimli bir WPT gerçekleştirmek amacıyla x ve y eksenlerinde hareket edebilen mobil bir şarj platformu geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistemde verici bobinler baz istasyonunda, alıcı bobinler İHA'nın üzerinde bulunmaktadır. İHA, baz istasyonuna iniş yaptıktan sonra, verici bobinler otomatik olarak hareket ettirilerek alıcı bobinlerin optimum konumu bulunmaya çalışılmaktadır. Konum bulma işlemi, WPT sisteminin giriş empedansının izlenmesi ile gerçekleştirilir. Giriş empedansı, konumlandırma sistemi üzerinde bulunan motorun şarj platformunu taraması sırasında ölçülmektedir. Ölçümler sonucunda alıcı bobinlerin konumu tespit edildikten sonra şarj süreci başlatılmaktadır.

Döner kanatlı İHA'lar için geliştirilen kablosuz şarj istasyonlarının karşılaştırmalı analizleri sırasıyla Tablo 2.5., 2.6. ve 2.7.'de verilmektedir. Tablo 2.5.'de İHA'lar için kablosuz şarj istasyonlarının özellikleri, Tablo 2.6.'da kablosuz şarj istasyonundaki WPT özellikleri, Tablo 2.7.'de kablosuz şarj istasyonu çalışmalarında kullanılan İHA'ların özellikleri, özetlenmektedir.



(a)



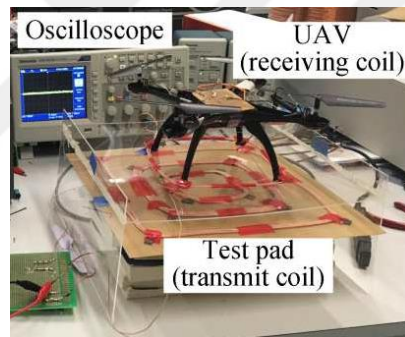
(b)



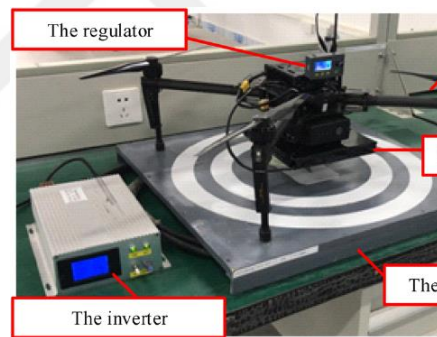
(c)



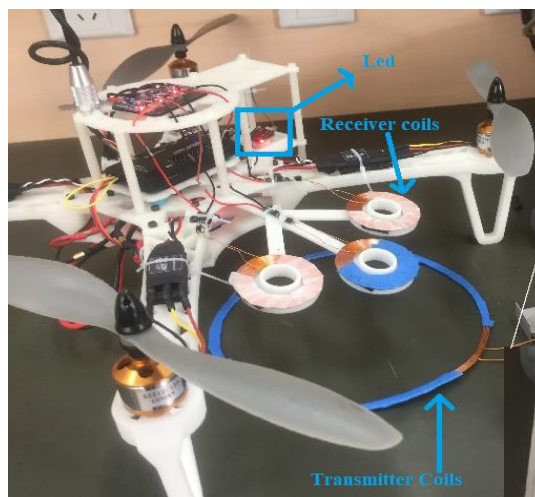
(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 2.10. Kablosuz şarj istasyonları (a) [116], (b) [117], (c) [118], (d) [119,120], (e) [121], (f) [123], (g) [124]

Tablo 2.5. Kablosuz Şarj İstasyonlarının Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Referans	Batarya Şarj Süresi	İstasyon Türü	İHA İniş Yöntemi	Çalışma Ortamı
[116]	40 Dk.	Şarj pisti (Sabit)	VICON Hareket Yakalama Sistemi	İç Ortam
[117]	~ 1 saat	Şarj İstasyonu (Sabit)	Hedef Tespit Algoritması	Dış Ortam
[118]	75 Dk.	Şarj İstasyonu (Sabit)	Hassas İniş Yok	İç Ortam
[119,120]	-	Şarj İstasyonu (Sabit)	Otonom İniş Algoritması	İç Ortam
[121]	-	Şarj İstasyonu (Sabit)	Hassas İniş Yok	İç Ortam
[123]	-	Şarj İstasyonu (Sabit)	Hassas İniş Yok	İç Ortam
[124]	-	Şarj pisti (Sabit)	Hassas İniş Yok	İç Ortam
[125, 126]	-	Şarj pisti (Sabit)	Hassas İniş Yok	İç Ortam

Tablo 2.6. Kablosuz Şarj İstasyonlarında Kablosuz Güç İletim Özelliklerinin Karşılaştırılması

Referans	Çalışma Frekansı	WPT Verimi	Şarj Oranı (V/A)	Şarj Mesafesi	İnvertör
[116]	130kHz	51-63.4%	17V/3A	20 cm	Sıfır - Gerilim Anahtarlama
[117]	0-5 MHz (XKT-510)	75 %	3-15V/0.8A (XKT-510)	0	-
[119,120]	12 MHz	7.85 %	18V/1A	0.1-10 cm	-
[121]	350-390 kHz	96 %	250 mA Tx/ 500mA Rx	12-15 cm	-
[122]	240 kHz	85 %	12V	0	Tam Dalga Köprü Doğrultucu
[123]	364.44 kHz	%57.94	24V/~2.7A	4.5-5.5 cm	Dizi Çevirici
[124]	180 kHz	-	24 V / ~0.11 A	12 cm	Gömülü Doğrultucu
[125]	150 kHz	89 %	14.4 V / 10A	10 cm	Tam Dalga Doğrultucu
[126]	150 kHz	93 %	14.4 V / 10A	1 cm	-

Tablo 2.7. Kablosuz Şarj İstasyonlarında Kullanılan İHA Özelliklerinin Karşılaştırılması

Referans	İHA Türü	İHA Modeli	İHA İşlemci Türü	Batarya Değeri	Uçuş Türü
[116]	Hexacopter	Deneysel	APM, DFRobot Leonardo	3000 mAh	Otonom
[117]	Quadcopter	AR. Drone 2.0	ARM Cortex A8	500mAh / 3S	Programlı Uçuş
[118]	Quadcopter	Deneysel	-	700 mAh / 1S	Uzaktan Kumanda
[119,120]	Quadcopter	AR. Drone	Ardupilot Mega 2.0	1000 mAh / 3S	Programlı Uçuş
[124]	Quadcopter	Deneysel	-	1500 mAh / 3S	Uzaktan Kumanda
[125, 126]	Hexacopter	DJI F550	Naza Board	4000 mAh / 4S	Uzaktan Kumanda

Döner kanatlı İHA'lar için geliştirilen kablosuz şarj istasyonlarının karşılaştırmalı analizleri sırasıyla Tablo 2.5., 2.6. ve 2.7.'de verilmektedir. Tablo 2.5.'de İHA'lar için kablosuz şarj istasyonlarının özellikleri, Tablo 2.6.'da kablosuz şarj istasyonundaki WPT özellikleri, Tablo 2.7.'de kablosuz şarj istasyonu çalışmalarında kullanılan İHA'ların özellikleri, özetlenmektedir.

2.4.3. Batarya değiştiren şarj istasyonları

Batarya değiştiren şarj istasyonları, İHA üzerindeki bataryanın otonom olarak değiştirildiği istasyonlardır. İstasyonda bulunan mekanik sistemler sayesinde İHA'nın iniş tespit edilerek bataryanın konumu belirlenir. Bu işlemten sonra istasyondaki batarya ile İHA üzerindeki batarya değiştirilir ve uçuş görevi devam eder. İHA çalışırken batarya değiştirme işlemine “sıcak takas - hot swap”, hareketsizken batarya değiştirme işlemine ise “soğuk takas - cold swap” adı verilir. Bu tip şarj istasyonlarında iniş işlemleri ve mekanik sistem uygulamaları sorunsuz yapılmalıdır. Aksi takdirde batarya değiştirme işlemleri sırasında sorunlar yaşanabilir. Literatürde bu konu ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

Toksöz, Üre ve arkadaşları [127-128], küçük boyutlu İHA'ların operasyonel uçuş sürelerini belirgin bir şekilde arttırmaya yönelik bir batarya değiştirme sistemini tasarlamış ve gerçekleştirmişlerdir. Mevcut şarj yaklaşımlarında yaşanan süre problemlerinin üstesinden gelmek için eş zamanlı batarya değişimi ve bataryaların şarj edilmesi işlemleri yapılmıştır. Otonom sistem sayesinde, görev uçuşundaki İHA'nın üzerindeki biten batarya ile dolu olan batarya hızlı bir şekilde değiştirilmekte ve aynı anda biten bataryalar istasyonda şarj edilmektedir. Yapılan test çalışmalarında, 3 adet İHA ile yaklaşık 3 saatlik bir görev uçuşu gerçekleştirilmiştir. Her biri 8-10 dakika uçuş kapasitesine sahip bataryalar ile yaklaşık 100'ün üzerinde batarya değiştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen şarj istasyonu, çoklu İHA sistemlerine uygulanarak kesintisiz uçuş görevlerine imkân sağlamaktadır. Geliştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.11.a.'da verilmiştir.

Lee ve arkadaşları [129], şarjı biten İHA bataryasının otonom olarak hızlı bir şekilde yeni bir batarya ile değiştirilmesine ve aynı anda birden fazla (4 adet) bataryanın da şarj edilebilmesine imkân sağlayan bir şarj istasyonu gerçekleştirmişlerdir. İniş işlemleri sırasında hassas bir iniş gerçekleştirilmek için hassas iniş kontrol algoritmaları kullanılmıştır. Yeni tasarlanan sistem ile önceki tasarımların iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Batarya değiştirme işlemi sırasında "Hot Battery Swapping" işlemi sayesinde herhangi bir güç kaybı yaşanmamakta ve herhangi bir veri kaybı olmamaktadır. Sistemin getirdiği en büyük yenilik olarak öne çıkan bu uygulama ile uçuş esnasındaki bilgiler sürekli olarak korunmaktadır. Geliştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.11.b.'de verilmiştir.

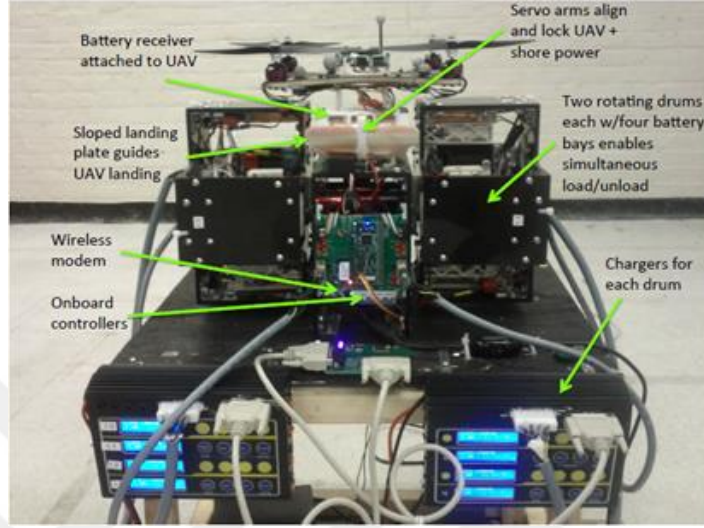
Dong ve arkadaşları [130], tamamen insansız olarak çalışan ve otomatik olarak İHA'ların bataryasının değiştirilmesine yönelik bir şarj istasyonu geliştirmişlerdir. Çok rotorlu İHA için güç rölesi platformunun mekanik sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. Bağımsız mekanik sistemleri birleştirmek ve mekanik yapıyı kontrol etmek amacıyla kontrol sistemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan denemelere bakıldığında, otomatik batarya değiştirme sisteminin başarı oranının yaklaşık %80 olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.11.c.'de verilmiştir.

Fujii ve arkadaşları [131], İHA'lar için manuel olarak batarya değiştirilmesine gerek olmadan sürekli uçuş imkânı sağlayacak "Endless Flyer" isimli otomatik batarya değiştirme mekanizması geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda ilk olarak, gürültüsüz ortamda İHA'nın iniş performansı değerlendirilmiş ve bu değerlendirmelere göre platformun tasarımı ile iniş hataları tespit edilmiştir. İkinci olarak, İHA'nın inişinden sonra pil değiştirme işlemini gerçekleştirilmiştir. Platforma inen İHA, platform üzerinde merkez alana doğru hareket ettirilmekte ve iniş pedlerinin bulunduğu noktalara getirilmektedir. İlgili iç ortam testlerinden sonra dış ortamda yapılan testlerle şarj istasyonu test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda iniş işlemlerinde %90 (18/20), batarya değiştirme işlemlerinde %100 (9/9) başarı elde edilmiştir. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.11.d.'de verilmiştir.

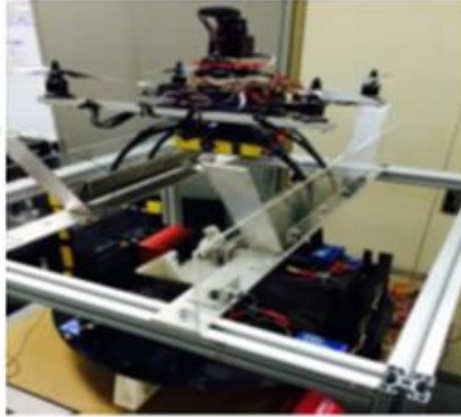
Swieringa ve arkadaşları [132], çok sayıdaki küçük boyutlu İHA'lar için otonom batarya değiştirme sistemi geliştirmişlerdir. Gerçekleştirilen sistem, kaynak adreslerinin yönetimi, araç durumunun izlenmesi ve batarya değiştirme mekanizmasının üzerindeki iniş pistine hassas inişin yapılması için batarya değiştirme mekanizması ve çevrim içi algoritmalar içermektedir. Oluşturulan sistemde helikopter İHA sisteme iniş yaptıktan sonra, pistin altında bulunan platform hareket ederek dolu olan birimi İHA'nın altına getirmektedir. İlgili konuma geldikten sonra helikopterin alt kısmında bulunan batarya alınarak dolu olan batarya ile değiştirilmektedir. İniş işlemleri sırasında kontrol algoritması olarak basit PD kontrolcüsü kullanılmıştır. Yapılan bütün işlemler "Autonomous Control Environment (ACE)" isimli sunucuda kayıt altına alınmaktadır. Gerçekleştirilen sisteme ait görseller Şekil 2.11.e.'de verilmiştir.

Suzuki ve arkadaşları [133], helikopter tipi İHA'lar için farklı otomatik batarya değiştirme sistemlerinin karşılaştırmasını yapmışlar ve helikopter tipi insansız hava sistemleri için batarya değiştirme istasyonu geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar kapsamında, batarya değiştirme ve batarya şarj etme işlemlerinin Petri net grafik aracı yardımıyla modelleri oluşturulmuş, maliyet ve zaman bakımından karşılaştırılmıştır. Petri net grafik aracı, dağıtılmış, eşzamanlı, paralel, asenkron, deterministik ve stokastik adımlı süreçleri tanımlamak için kullanılan grafik aracıdır. Bu

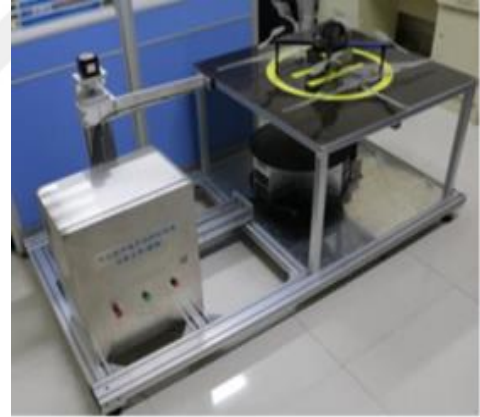
karşılaştırmalara ek olarak prototip şeklinde örnek bir batarya değiştirme sistemi önerilmiş ve donanımlar ile ilgili bilgiler verilmiştir. Önerilen şarj istasyonu, farklı yapılarıdaki İHA'lar içinde kullanıma uygun olarak tasarlanmıştır.



(a)



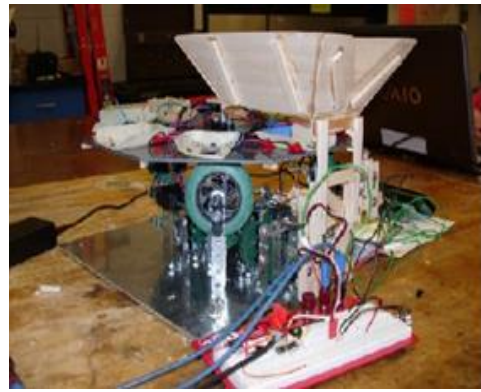
(b)



(c)



(d)



(e)

şekil 2.11. Döner Kanatlı İHA'lar için Batarya Değiştirme şarj İstasyonları (a) [127,128], (b) [129], (c) [130], (d) [131], (e) [132]

Döner kanatlı İHA'lar için geliştirilen batarya değiştiren şarj istasyonlarının karşılaştırmalı analizi Tablo 2.8.'de verilmiştir. Tablo 2.8.'de batarya değiştiren şarj istasyonunda batarya değiştirmek için geçen süre ve batarya değiştirme işleminin türü verilmiştir.

Tablo 2.8. Batarya Değiştirme Şarj İstasyonu Özelliklerinin Karşılaştırılması

Referans	İHA Türü	Batarya Değeri	İniş Türü	İşlem Süresi	İşlem Türü
[127, 128]	Quadcopter	1350 mAh/3S	Yol Noktası İzleme Yöntemi	3 - 11.8 saniye	Sıcak Takas
[130]	Quadcopter	4400 mAh/4S	Hassas İniş	60 saniye	Sıcak Takas
[131]	Quadcopter	1,000 mAh/3S	Hareket Yakalama Sistemleri	57.8 saniye	Soğuk Takas
[132]	Helikopter	800 mAh/2S	Hassas İniş Algoritması	2 dakika	Soğuk Takas
[133]	Helikopter	1000 mAh/3S 800 mAh/2S	Manuel İniş	47-60 saniye	Soğuk Takas
[134]	Quadcopter	3S	Manuel İniş	15 saniye	Sıcak Takas

2.4.4. Fotovoltaik (PV, PhotoVoltaic) panel destekli şarj işlemi

İHA'ların uçuş sürelerini artırmak ve bataryaları şarj etmek için kullanılan yöntemlerden biri de Fotovoltaik (PV) hücre kullanımınıdır. İHA üzerindeki bataryanın, PV hücreler aracılığıyla güneş ışığı yardımıyla şarj edilmesi sağlanır. Bu şekilde çalışan İHA'larda, hem bataryalar hem de PV hücreleri kullanılmaktadır. Güneş ışığı mevcut olduğunda İHA'nın ihtiyaç duyduğu güç PV hücreler tarafından sağlanır, aksi takdirde enerji ihtiyacı bataryadan sağlanır. Güneş enerjili İHA'lar üzerinde yapılan çalışmalar, PV hücrelerinin konumu, güneşin geliş açısı ve sıcaklık şiddeti gibi önemli parametrelerin şarj sürecini etkilediğini göstermektedir [135,136]. Bu nedenle güneş ışığının yetersiz olduğu dönemlerde bu yöntem yetersiz kalabilir.

PV hücrelerle çalışan İHA'ların uzun süre uçmalarına rağmen güneş ışığının olmadığı zamanlarda farklı seçenekler kullanılmaktadır. İlk yaklaşım, ek bir güç kaynağıdır [137]. Diğer bir yaklaşım ise güneşin olmadığı dönemleri hesaplayarak İHA

üzerindeki batarya gücünü ve PV hücrelerinin boyutunu artırmaktır. Bu yaklaşım, hassas uçuş gerektiren durumlarda İHA'ların yeteneklerini sınırlar [138]. PV hücre yapısı uygulanacak İHA üzerinde belirli bir miktarda kanat uzunluğu ve taşıma kapasitesi gerektirdiğinden, sabit kanatlı insansız hava araçlarına uygulanabilmekte, çok rotorlu İHA'lar için pratik olarak kullanılamamaktadır [114].

2.4.5. Lazer ışını ile şarj işlemi

Harici bir enerji kaynağı olarak kullanılan lazer ışınlama yöntemi, İHA'ların şarj edilmesini sağlayan yöntemlerden biridir ve genellikle askeri görevlerde kullanılır [139]. Belirli bir frekans ve dalga boyuna sahip bir lazer ışını, İHA üzerindeki PV hücrelerini besler. Bu PV hücreleri ile İHA'ya güç verilir ve batarya şarj edilir [140]. PV hücrelerden elde edilen enerjiden maksimum düzeyde yararlanmak için maksimum güç noktası izleme (MPPT) yöntemleri kullanılmaktadır.

Sabit kanatlı ve döner kanatlı İHA'lar için çevresel koşullar ne olursa olsun lazer ışınlama yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı lazer enerji kaynağının İHA'ya yakın olması ve bu nedenle enerji kaynağının mobil olarak hareket ettirilmesi gerekmesidir. Bu durum uzun menzilli uçuşlarda İHA'nın kullanımını sınırlandırmaktadır. Lazer ışınlarının insan sağlığı üzerindeki potansiyel tehlikeleri ve yaşam ortamlarındaki ciddi rahatsızlıklar nedeniyle bu yöntemin bazı alanlarda kullanımını kısıtlanmıştır [114, 141].

BÖLÜM 3. İHA ŞARJ İSTASYONU TASARIMI

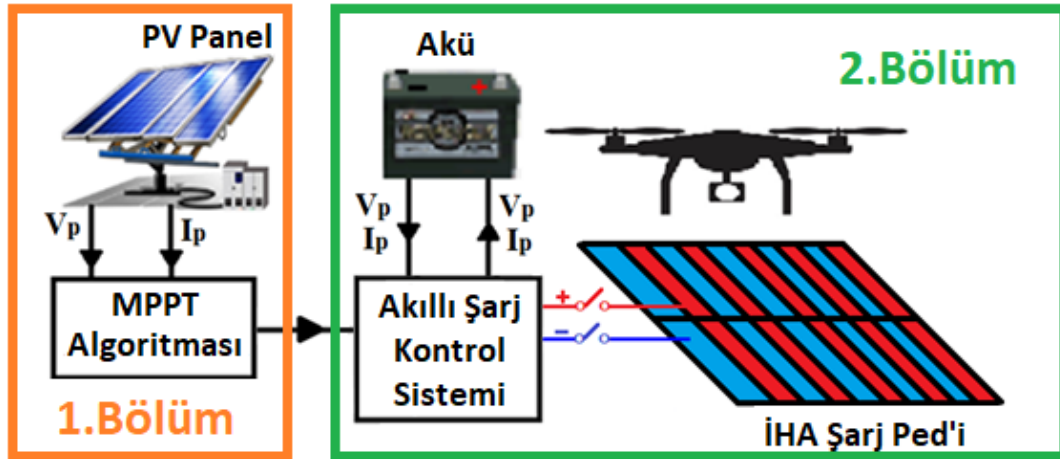
Şarj istasyonu ile ilgili yapılacak olan test işlemlerinden önce yapılan tasarım çalışmalarında, istasyon içerisinde olması düşünülen donanımların nasıl kullanılacağı ele alınmıştır. Şarj istasyonu tasarım çalışmaları bölümlere ayrılmıştır.

- İlk adımda, şarj istasyonunun genel çalışma yapısı ele alınmıştır. Bu adımda enerji kaynakları üzerinden şarj pistine verilecek enerjinin hangi yöntemler ile elde edileceği belirlenmiştir. PV panellerin ve akü bataryaların kullanıldığı enerji sisteminde hangi durumlarda hangi enerji kaynağının devreye gireceği ve çalışma yöntemlerinin nasıl olacağına yönelik çıkarımlar yapılmıştır.
- İkinci adımda, şarj işlemi için kullanılacak olan şarj pisti tasarlanmıştır. Şarj pistinin ana fikri, İHA'nın iniş konumuna bakılmaksızın şarj edilebilmesidir.
- Üçüncü adımda, şarj işleminin otonom olarak yapılması için gereken donanımsal sistem tasarlanmıştır. Şarj pistine iniş yapan İHA üzerindeki bataryanın herhangi bir müdahaleye gerek duyulmadan otomatik olarak şarj işleminin başlatılması ve şarj pisti üzerinden bataryaya doğru enerji akışının nasıl yapılacağı ile ilgili şarj yöntemi tasarlanmıştır.
- Dördüncü adımda şarj işlemi sırasında bataryanın sahip olduğu hücresel ve toplam gerilim seviyesinin kullanıcılar tarafından takip edilmesine imkân sağlayacak bir takip sistemi tasarlanmıştır. Takip işlemi için gerçekleştirilen arayüz ile şarj işlemi sırasında batarya verileri anlık olarak takip edilmektedir.
- Beşinci adımda şarj işlemi için kullanılacak donanımın kontrol edilmesi için elektronik kartların tasarımı yapılmıştır.

3.1. Şarj İstasyonu Tasarımı

Proje kapsamında geliştirilen yenilenebilir enerji destekli şarj istasyonu sistemine ait öbek şeması Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. Tasarım işlemi yapılırken şarj istasyonu, enerji elde etme ve enerji kullanımı şeklinde iki bölümde ele alınmıştır. İlk bölümde, PV paneller aracılığıyla güneş ışınları üzerinden enerji elde edilmektedir. Panellerden alınacak elektrik enerjisinden maksimum seviyede yararlanmak için Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT, Maximum Power Point Tracking) algoritması kullanılmaktadır. Enerjinin elde edilmesinden sonra 2.bölümde enerjinin verileceği birim seçimi ve şarj/deşarj kontrolleri yapılmaktadır. Bu bölümde eğer pist üzerinde şarj işlemi için bekleyen İHA varsa PV panellerden elde edilen enerji, şarj pistine verilmekte aksi takdirde akü bataryalarda depolanmaktadır.

PV panellerden elde edilen enerjinin akülere veya bataryaya gönderilmeden önce DC/DC enerji dönüştürme işleminin yapılmasıyla bu birimler için gereken 12V değeri elde edilmektedir. Bu sayede hem akülerin şarj edilmesi hem de şarj pistine enerji verilmesi sağlanmaktadır. Piste verilen enerji ile İHA'nın şarj edilmesi sağlanacaktır.



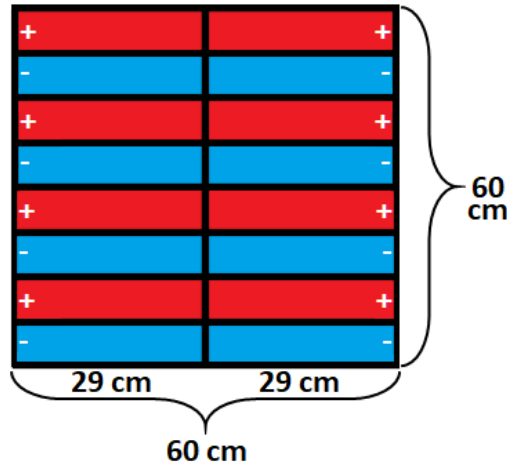
Şekil 3.1. Şarj İstasyonu Genel Öbek Şeması

3.2. Şarj Pisti Tasarımı

Şarj pisti ile ilgili yapılan tasarım çalışmalarındaki ana fikir, İHA'nın şarj pisti üzerine her ne şekilde inerse insanın şarj işleminin doğru biçimde yapılmasıydı. Bu bağlamda

farklı prototip çalışmaları araştırılmış ve son tasarım çalışması gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2.'de tasarlanan şarj pistinin bilgisayar ortamındaki çizimi gösterilmiştir. Pist üzerinde sırasıyla pozitif(+) ve negatif (-) güç hatları ve bu hatlar arasında yalıtılmış bölgeler bulunmaktadır. Şarj pistinin bir özelliği de şarj edilecek İHA'nın boyutuna göre yeniden boyutlandırılabilmesidir. Bu sebeple farklı boyutlarda olan İHA'ların da şarj edilebilmesine imkân sağlamaktadır. Test işlemlerinde 60x60 boyutlarında bir şarj pisti kullanılmıştır.

Geliştirilen pist aracılığıyla, iniş esnasında meydana gelebilecek yanlış hizalanmalardan ötürü yaşanacak her türlü sorunun engellenmesi sağlanmaktadır. Bu durum dış mekânlarda yapılacak uçuşlarda büyük bir öneme sahiptir. Çünkü dış ortamlardaki çevre koşullarında meydana gelebilecek değişiklikler ve iniş sistemlerinde meydana gelebilecek aksaklıklardan ötürü planlanan iniş hassaslığı yapılamayabilir. Bu sebeple her ne şekilde iniş işlemi yapılırsa yapılsın şarj işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tasarlanan şarj pisti, herhangi bir kilitleme mekanizmasına ihtiyaç olmadan ya da insan eli değmeden İHA'ların otonom olarak şarj edilebilmesine imkân sağlamaktadır.



Şekil 3.2. Şarj Pistinin Tasarımı

3.3. Şarj Sisteminin Tasarımı

İHA bataryasının şarj pisti ile şarj edilebilmesi amacıyla tasarlanan sisteme ait öbek şeması Şekil 3.3.'de gösterilmiştir. Tasarlanan sistem, enerji temin aşaması ve şarj

etme aşaması olarak iki aşamada ele alınmıştır. Enerji aşamasında PV panel veya akü bataryalarından elde edilen enerji geliştirilen şarj pistine verilmekte ve bu sayede İHA'nın şarj edilmesi için kullanılacak enerji sağlanmaktadır. Şarj aşamasında, İHA bataryasının dengeli bir şekilde şarj edilmesi sağlanmaktadır. Şarj için tasarlanan sistemde, LiPo batarya ile batarya yönetim sistemi modülü (BMS, Battery Management System) arasında güç kabloları ve balans kablosu üzerinden bağlantılar yapılmaktadır.

BMS kartı aracılığıyla LiPo bataryasının dengeli bir şekilde şarj edilebilmesi için aralarındaki kablo bağlantıları üzerinden LiPo bataryasının hücrese gerilim bilgileri alınmaktadır. LiPo bataryaya enerji akışı sağlayabilmek için BMS kartı ve köprü diyotlar arasında bağlantı yapılmaktadır. Son olarak köprü diyotlar, İHA'nın ayaklarında bulunan dört adet bakır konektöre bağlanmıştır. Konektörlerden iki tanesi (pozitif uçlar) bir diyota, kalan iki tanesi de (negatif uçlar) diğer diyota bağlanmıştır. Bu bağlantı yöntemi ile İHA'nın şarj pistine inişi sırasında pozitif ve negatif kutup değişikliklerinden dolayı oluşacak kısa devre durumları ortadan kaldırılmaktadır. Bağlantı işlemleri sonrasında İHA'nın ayaklarında bulunan bakır konektörlerin şarj pisti ile temas etmesi halinde, şarj pisti üzerinden bataryaya doğru bir enerji akışı başlayacaktır ve bataryanın şarj edilmesi sağlanacaktır.



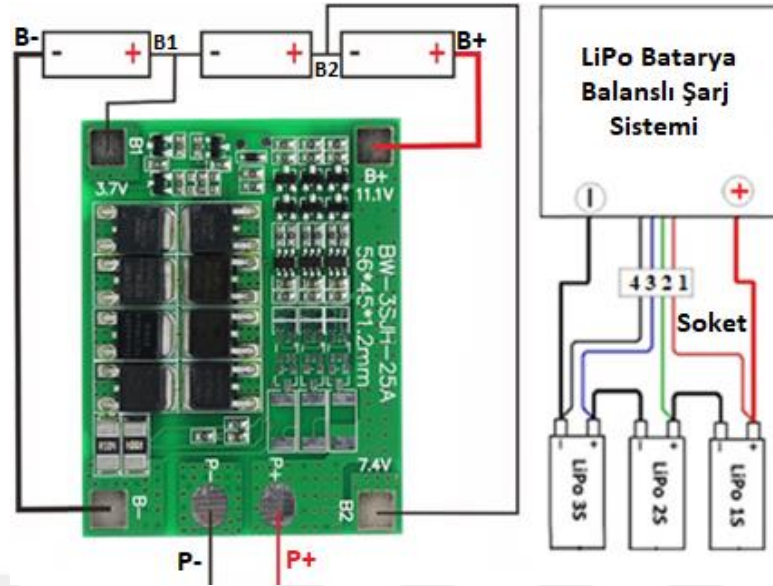
Şekil 3.3. Şarj Sistemi Öbek Şeması

3.3.1. Batarya yönetim sistemi

Lityum bataryalarının çalışma performansını etkileyen en önemli özelliklerden biri, hiç şüphesiz hücrelerdeki enerji seviyeleridir. Bu özellik, batarya kullanım ömrünü doğrudan etkilemektedir. Batarya yönetim sistemleri (BYS), bataryalardaki hücresel şarj dengesinin korunmasında önemli yere sahiptirler [142]. BMS modülleri, şarj edilebilen batarya hücrelerinin yönetimini sağlayan elektronik cihazlardır. Bu tarz modüller, koruyucu devre gibi davranıp bataryaların anlık çalışma koşullarını inceleyerek, bataryanın çalışma koşullarının optimum değerlerde kalmasını sağlarlar. Batarya hücrelerini izleyerek, herhangi bir hücrede meydana gelebilecek anormallikleri, elektriksel veya sıcaklığa bağlı problemleri ortadan kaldırarak bataryanın güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadırlar [143].

BMS modülleri, bataryayı maksimum verim ile kullanmak ve batarya şarj işlemi esnasında hücrelerdeki şarj seviyelerini eşit tutmak için batarya hücrelerinin sıcaklık, gerilim ve akım gibi değişkenleri anlık olarak izlerler. Batarya hücrelerin sahip olduğu değişkenlerin ölçümüne bağlı olarak optimal değerlerden farklı değerler tespit edildiğinde şarj işlemine müdahale edilerek batarya korunmaktadır. Batarya hücreleri arasında gerek duyulduğu takdirde, yüksek gerilimli hücreden düşük gerilimli hücrelere doğru enerji aktarılabilir. LiPo batarya ve BMS modülü arasında yapılan dengeli şarj bağlantı şeması Şekil 3.4.'de gösterilmiştir. Şekildeki bağlantılara bakıldığında;

- LiPo'nun "+" hattı ve 1.Balans Soketi, BMS B+ hattına,
- LiPo'nun 2.Balans Soketi, BMS B1 hattına,
- LiPo'nun 3.Balans Soketi, BMS B2 hattına,
- LiPo'nun "-" hattı ve 4.Balans Soketi, BMS B- hattına,
- LiPo'nun "+" ve "-" hattı, BMS P+ ve P- hatlarına bağlanmıştır.

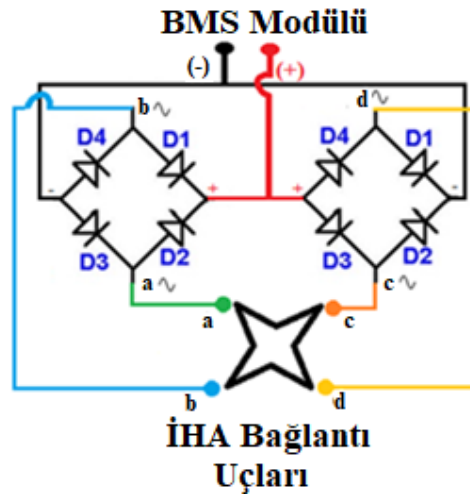


Şekil 3.4. LiPo Batarya ve BMS Modülü Bağlantı Şeması

3.3.2. Köprü diyot çalışma prensibi

Tez çalışmasının temel amaçlarından bir tanesi olan iniş yönünden bağımsız şarj işlemini gerçekleştirmek amacıyla yönsüz enerji olan alternatif enerjiden (AC), yararlanılmıştır. AC enerjide kutup olmadığı için enerjinin yönünün önemi kalmamaktadır. Bu yöntemi uygulayabilmek için alternatif enerjiyi doğrusal enerjiye (AC/DC) çevirebilen köprü diyotlar kullanılmıştır. Şarj pistine bağlı olan güç kaynağından elde edilen DC enerji, köprü diyotlar aracılığıyla AC enerjiye dönüştürülmüştür. Sonraki adımda yine köprü diyotlar üzerinden DC enerjiye dönüştürülerek BMS modülüne aktarılmıştır. DC/AC ve AC/DC dönüşümü sayesinde kısa devre gelme ihtimali ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.

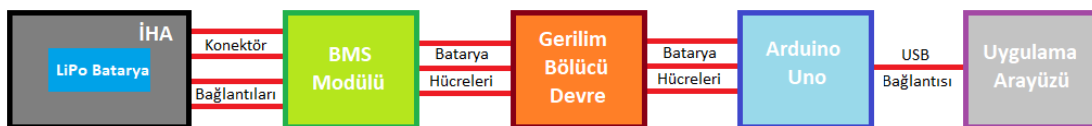
Köprü diyotlar, İHA'nın bacaklarında bulunan bakır konektörlere bağlanmıştır. Bu bağlantıya ait şema Şekil 3.5.'de verilmiştir. Şekildeki her iki köprü diyot üzerinde dört adet pin (+, -, iki AC girişi) bulunmaktadır. İki diyot üzerindeki güç hatları (+ ve -) birbirlerine paralel şekilde bağlanmıştır. Enerji akışının sağlanacağı dört adet AC giriş pini, İHA üzerindeki dört adet konektöre (a, b, c, d) bağlanmıştır. İHA'nın şarj pistine inişi sırasında kısa devre ihtimalini kaldırma amacıyla bu şekilde bir bağlantı yapılmıştır.



Şekil 3.5. Köprü Diyotların Bağlantı Şeması

3.4. Batarya Şarj İzleme Sisteminin Tasarımı

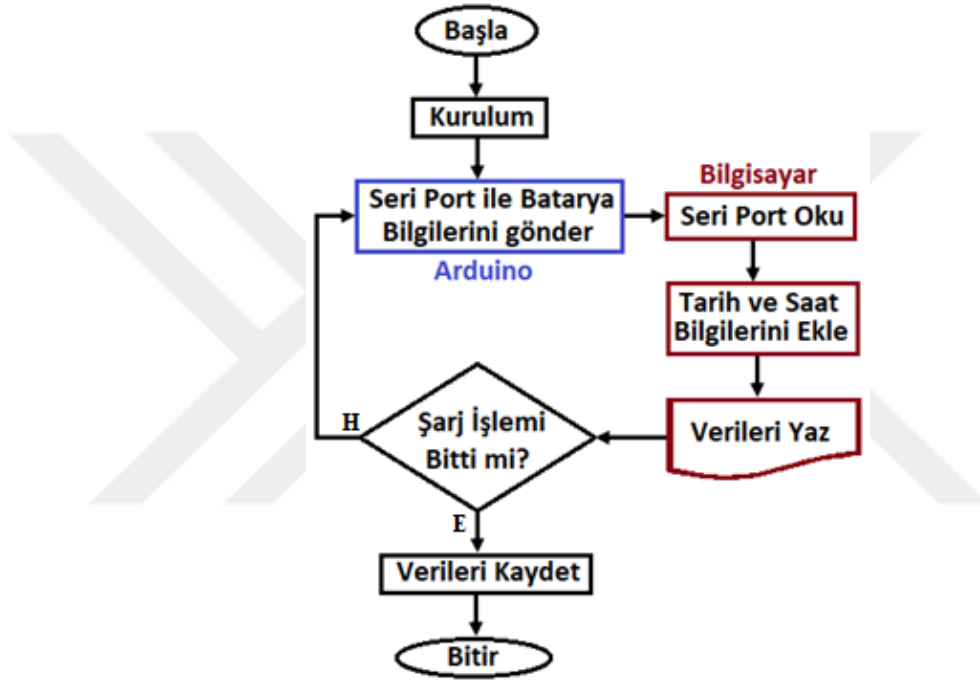
Şarj işlemi sırasında İHA bataryasının verilerini anlık olarak takip etmek amacıyla tasarlanan sistemin öbek şeması Şekil 3.6.'da verilmiştir. Tasarlanan sistemde, LiPo bataryasının hücrel gerilim değerleri şarj işlemi esnasında BMS modülü ile alınmaktadır. Anlık takip işleminde kullanılacak Arduino Uno mikrodenetleyicisinin analog pinlerinin giriş seviyeleri (maksimum 5V) ve bataryaların hücre voltaj değerleri (maksimum 4.2V, 8.4V ve 12.6V) arasında enerji problemi olmaması ve hücrel gerilim değerlerini doğru bir şekilde işlemek amacıyla gerilim bölücü devreler kullanılmıştır. Bu devreler ile batarya hücrelerinin maksimum 4.2 Volt olarak ayarlanması sağlanmıştır. Arduino kartı üzerinden analog olarak alınan ham hücre verileri işlenerek batarya hücrelerinin sahip olduğu gerilim değerleri hesaplanmıştır. Arduino ve kullanıcı arayüzü arasında seri haberleşme yöntemi kullanılarak bataryanın gerilim değerleri anlık olarak kullanıcılara aktarılmaktadır.



Şekil 3.6. Şarj Takip Sisteminin Öbek Şeması

Şekil 3.7.'de batarya şarj takip işlemine ait akış şeması verilmiştir. Akış şemasının ilk adımında takip işlemine ait başlangıç kurulumları (sensör kalibrasyonu, seri

haberleşme kurulumu) yapılmaktadır. Batarya şarj işleminin başlamasıyla Arduino kartı, seri port üzerinden hücre bilgilerini arayüze göndermektedir. Bilgisayar arayüzünde alınan hücre verilerine güncel tarih ve saat verileri eklenir. Oluşturulan anlık hücre verisi, arayüz üzerinden kullanıcılara aktarılmaktadır. Daha sonra şarj işlemini sonlandırma durumu kontrol edilir ve şarj işleminin bitimine kadar aynı işlem adımları devam eder. Batarya şarj işleminden sonra oluşturulan son kullanıcı verileri kaydedilmektedir.

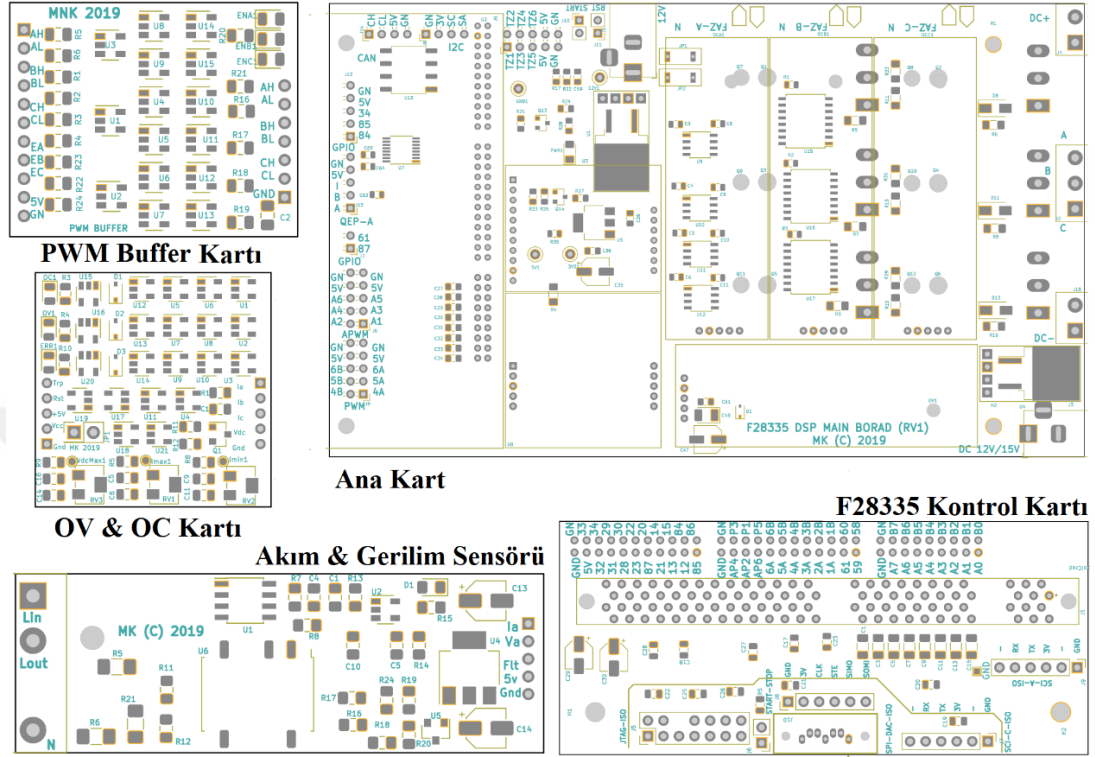


Şekil 3.7. Şarj Takip Sisteminin Akış Şeması

3.5. Elektronik Kart Tasarımları

Şarj istasyonu içerisindeki elektronik sistemlerin kontrolü, benzetimler sonucu oluşturulan algoritmaların test edilmesi, şarj süreçlerinin yönetimi ve elektronik ekipmanların korunması amacıyla çalışmaya özgü olarak elektronik kart tasarımları yapılmıştır. Modüler bir şekilde beş farklı kart tasarımı yapılmış olup geliştirilen elektronik kartlarına ait çizimler Şekil 3.8'de verilmiştir. Şekildeki PWM Buffer kartı, OV & OC kartı, Akım ve Gerilim sensörü ve F28335 DSP kontrol kartı sürücü, anakart üzerine yerleştirilerek kullanılmaktadır. Anakart üzerinde bulunan faz çıkışlarına PV panel, akü batarya ve LiPo batarya bağlanmaktadır. Faz girişleri üzerinden ilgili

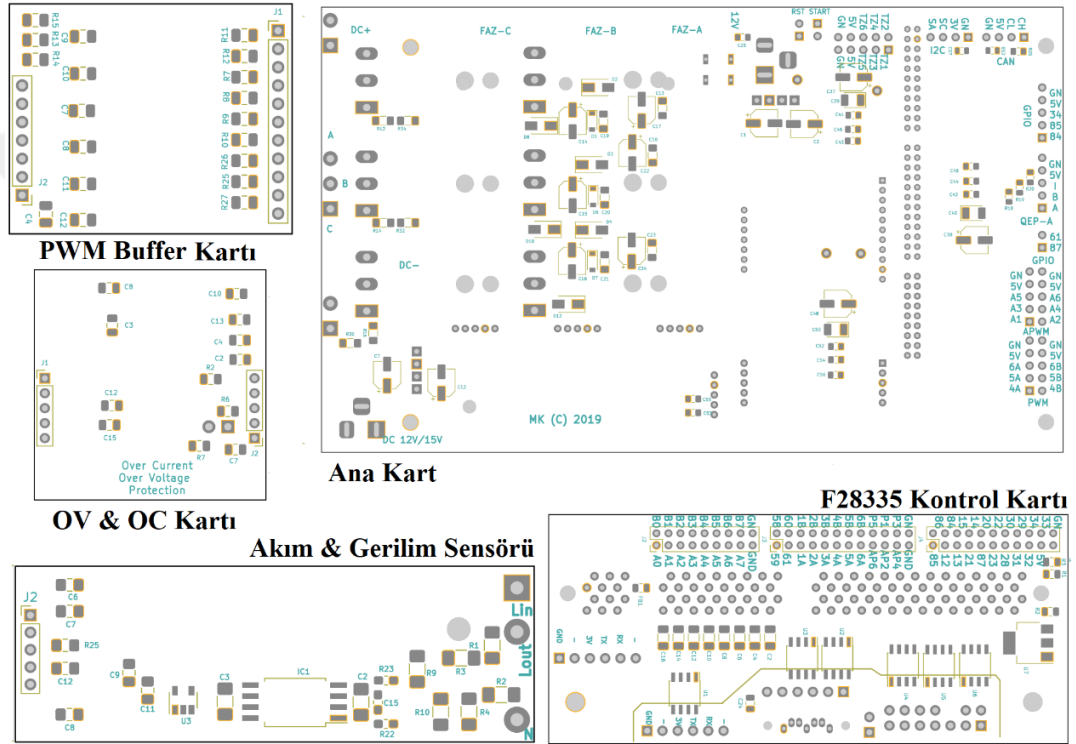
donanımın akım ve gerilim bilgileri alınmakta ve benzetim süreçlerinde bu veriler kullanılmaktadır.



Şekil 3.8. Tasarlanan PCB Kartları (Ön Yüz)

- F28335 Kontrol Kartı: TMS320F28335 DSP kartını programlamak için kullanılmaktadır. Üzerindeki giriş ve çıkış pinleri ile farklı kullanım seçenekleri sunmaktadır.
- PWM Buffer Kartı: Sayısal tasarımdaki kapı mantığı baz alınarak aynı anda iki işlemin çalışmasını engellemek amacıyla tasarlanmış karttır. Örneğin kart üzerinde “ah” ve “al” girişleri bulunmaktadır. Bu girişler LiPo batarya için buck ve boost dönüştürücü işlemlerinde kullanılmaktadır. LiPo bataryanın şarj ve deşarj işlemlerinde bu girişler üzerinden hangi işlem yapılacaksa ona göre seçim yapılmaktadır. İki durumun aynı anda çalışması engellenmektedir.
- Akım ve Voltaj Sensör Kartı: Devre üzerindeki giriş ve çıkışlardan geçen, akım ve gerilim değerlerini ölçmek için kullanılmaktadır. Ana kartın üzerinde 4 tane akım ve voltaj kartı kullanılmaktadır.

- Aşırı Akım (OC) ve Gerilim (OV) Koruma Kartları: Sistemde meydana gelecek hataları görmek ve sisteme müdahale etmek amacıyla aşırı akım ve aşırı gerilim kontrolü kartları tasarlanmıştır. Bu kartlar test işlemleri esnasında meydana gelen hataların tespit edilmesinde kolaylıklar sağlamıştır.
- Ana Kart: Yukarıda ismi geçen dört kartın modüler halde kullanıldığı karttır. Şekil 3.9.'da tasarlanan PCB kartlarının arka yüzleri gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Tasarlanan PCB Kartları (Arka Yüz)

Sistemde denetleme kartı olarak Dijital Sinyal İşleme (DSP, Digital Signal Processing) mimarisine sahip TMS320F28335 kontrolcü kartı kullanılmaktadır. TMS320F28335 DSP, mükemmel bir yakınsama sağlayan ve çıkış dalgalanmalarında belirgin bir azalma için gerçek zamanlı kontrol yapabilen bir denetleyicidir. Matlab ve PSIM (Power Simulator) benzeri programlar aracılığıyla gömülü olarak kodlanabilen TMS320F28335 mikrodenetleyicisi, gerçek zamanlı dijital geri bildirim ve sistem kontrolü için kullanılmaktadır [144]. Çalışmalar kapsamında PSIM benzetim programı üzerinden oluşturulan benzetimler, derlenerek kontrolcü kartı için otomatik kodlar üretilmektedir.

BÖLÜM 4. ŞARJ İSTASYONUNUN BENZETİM VE BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ

Bu tez çalışması kapsamında yapılan tasarım işleminden sonra şarj istasyonuna ait donanımsal sistemin benzetim çalışmalarına başlanılmıştır. İstasyon içerisinde kullanılacak PV panel, akü batarya ve LiPo bataryasının donanım testleri öncesinde benzetim ortamında uygulama işlemi yapılarak geliştirilecek sistemin kullanılabilirliği test edilmiştir. Geliştirilen şarj istasyonunun PSIM (PowerSIM) ortamında yapılmış benzetimine ait gösterimi Şekil 4.1.'de verilmiştir.

Benzetim yapısına bakıldığında, PV panel ve akü batarya üzerinden elde edilen gerilimler, 24V DC gerilim değerine çevrilmekte ve DC baraya verilmektedir. 24 Volt değeri, üç enerji kaynağı için ortak değer olarak seçilmiştir. DC baradaki enerji 24 Volt, LiPo bataryasının şarj edilebileceği değere (12V, 3A) dönüştürülmektedir. Geliştirilen şarj algoritması sayesinde hangi kaynaktan ne zaman enerji alınacağını seçilmesi sağlanmaktadır. Şekil 4.1.'de verilen girişler üzerinden alınan değerler ile en uygun şarj etme işleminin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Bu girişler üzerinden sistemdeki akım ve gerilim değerleri sürekli izlenmektedir. Benzetim çalışmaları kapsamında dört farklı senaryo yapısı üzerine çalışmalar yapılmıştır.

1. PV Boost: PV panelden elde edilen gerilim, 24 Volt değerine yükseltilerek (Boost) DC baraya verilmektedir.
2. Akü Buck: DC baradan alınan 24 Volt, 12 Volt değerine düşürülerek (buck) akü bataryanın istenilen şarj değerleri (1A, 3A ve 5A) üzerinden şarj edilmesi sağlanmaktadır.
3. Akü Boost: Akü bataryadan elde edilen gerilim, 24 Volt değerine yükseltilerek DC baraya verilmektedir.

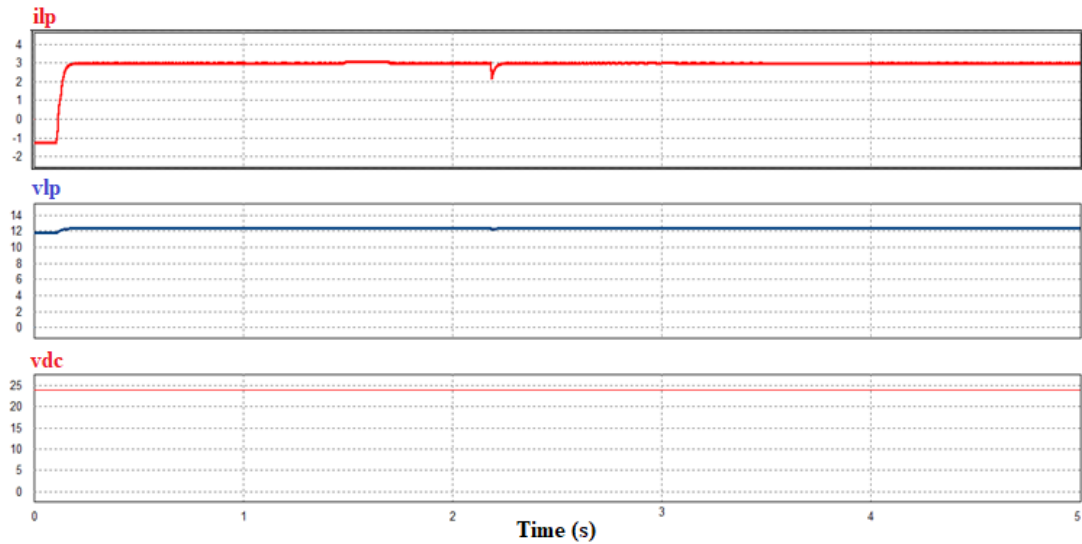
4. LiPo Buck: DC baradan alınan 24 Volt, 12 Volt değerine düşürülerek (buck) LiPo bataryanın istenilen şarj değerleri (1A, 3A, 5A) üzerinden şarj edilmesi sağlanmaktadır.

Benzetim sistemin genel çalışma yapısına bakılırsa: Güç kaynaklarından, DC baradan ve LiPo bataryalarından alınan akım (ibt, ipv, idc, ilp) ve gerilim (vbt, vpv, vdc, vlp) değerleri DSP işlemcisi içerisinde kullanılacak analog değerlere dönüştürülmektedir. Elde edilen değerler “Simulation Code Block” içerisinde işlenmektedir. Bu blok içerisinde alınan değerler üzerinden PI kontrolcülerini ile hata hesaplamaları yapılmakta ve LiPo bataryalarının şarj edilmesi için gerekli akım ve gerilim değerleri bulunmaktadır. Daha sonra elde edilen sonuçlara göre hangi güç kaynağının seçileceği (Akü, PV) ve hangi işlemin yapılacağı (Buck, Boost) ayarlanmaktadır.

Şekil 4.2.’de benzetim çalışması sonucunda elde edilen değerlerden örnek bir çıktı verilmiştir. Benzetim çalışmasında verilen “ilp” çıktısı LiPo batarya için kullanılacak akım değerini, “vlp” çıktısı gerilim değerini ve “vdc” çıktısı ise DC bara üzerinden verilen gerilim değerini göstermektedir.

Benzetim çalışmaları sonucu elde edilen “ilp” ve “vlp” değerleri, LiPo bataryalar için belirlenen 3A ve 12V şarj değerlerinde tutulacaktır. Bu değerler, Şekil 4.1.’de görülen “İHA Şarj Pisti” üzerine aktarılarak LiPo bataryanın şarj edilmesi sağlanacaktır. İHA’nın şarj pistine inişinden sonra BMS birimi üzerinden LiPo’nun şarj edilmesi sağlanacaktır.

LiPo bataryalarının dengeli şarj edilmesi için “BMS modülü” kullanılmaktadır. BMS modülü, İHA’nın üzerinde bulunacak olup LiPo bataryayla bağlantılı olacaktır. Bu birim sayesinde şarj işlemi esnasında LiPo içerisindeki hücre yapılarının bozulması engellenecek ve hücrelerdeki gerilim miktarı eşitlenecektir. Bu şekilde bataryada meydana gelebilecek ısınma, şişme, hücre gerilim farkları gibi problemler ortadan kaldırılmaktadır.



Şekil 4.2. LiPo Batarya Akım ve Gerilim Benzetimi

4.1. Fotovoltaik Panel (Photovoltaic Panel - PV) Benzetimleri

Işık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilen fotovoltaik (PV) paneller, günümüzde en sık kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Üretilen enerji, bataryalarda depolanabilmektedir. PV paneller doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahip oldukları için atmosferik koşullardan etkilenirler ve doğrudan yüke veya bataryaya bağlı olarak çalıştırılmazlar [145]. Şekil 4.3.'de güneş panelleri ve kullanım alanlarına yönelik bir görsel verilmiştir.

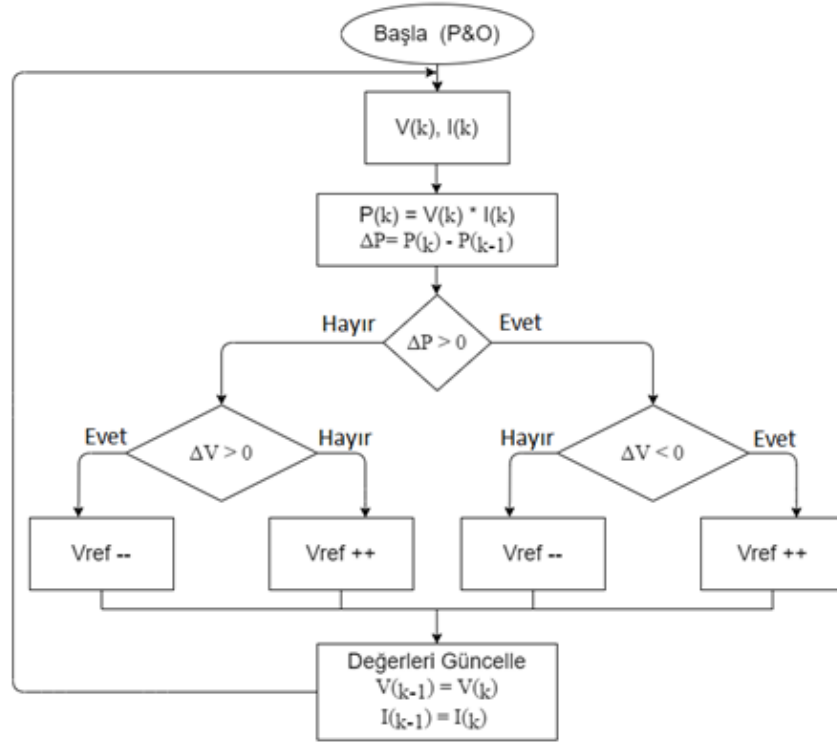


Şekil 4.3. Güneş Panelleri ve Çalışma Alanları [145]

PV panel sisteminin çıkışından elde edilen güç değeri, panelin yüzeyi ile güneş ışınlarının yaptığı açı ve panelin sıcaklığına göre değişebilmektedir. Çevresel etkenlerden kaynaklı bu tarz problemler, PV panellerin akım ve gerilim değerlerinin

doğrusal olarak elde edilmesinde sorunlar çıkartarak enerji üretiminde verimin düşmesine sebep olacaktır. Bu gibi sorunları minimize etmek veya ortadan kaldırmak amacıyla yaygın olarak MPPT algoritmaları kullanılmaktadır.

MPPT algoritması, PV panellerin fiziksel hareketlerini kontrol etmek yerine, panellerin sahip oldukları akım ve gerilim değerlerini takip eden ve bu değerler üzerinden panelin çıkış gerilimini maksimum değerde tutmaya çalışan bir algoritma yapısıdır [146]. Çalışma kapsamında, MPPT algoritmalarından Değiştir ve Gözle (P&O, Perturb & Observation) algoritması kullanılarak PV panellerden enerji elde edilmektedir. P&O algoritması, PV panel akım ve geriliminin örneklenerek güç değişiminin hesaplanarak izlenmesi prensibine dayanmaktadır. Şekil 4.4.'de P&O algoritmasının akış diyagramı verilmiştir. Şekilde PV panelden alınan akım ($I(k)$) ve gerilim ($V(k)$) değerleri üzerinden güç ($P(k)$) ve güç değişimi (ΔP) hesaplanmaktadır. Güç değişimi, hesabından sonra gerilim değişimi (ΔV) hesabı yapılmaktadır. Güç ve gerilim değişimlerine göre referans gerilim kaynağında artırma ve azaltma işlemleri yapılmaktadır. İşlemlerin sonrasında değerlerde güncelleme işlemi yapılarak algoritmaya devam edilmektedir.



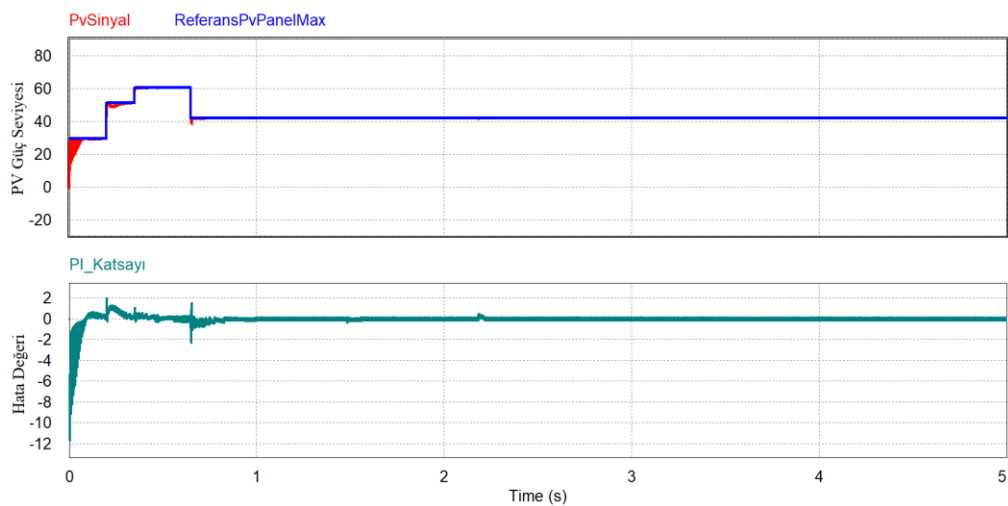
Şekil 4.4. P&O Algoritmasının Akış Şeması

PV panel üzerinden elde edilecek olan enerji hem şarj pistinde hem de aküyü şarj etmede kullanılmaktadır. Şarj istasyonu içerisinde kullanılan PV panelden 17 Volt gerilim elde edilmektedir. Bu gerilim DC baraya aktarılırken DC/DC Boost dönüştürücü anahtarı (cbst, Şekil 4.1.) üzerinden verilmektedir. Tablo 4.1.'de benzetimlerde kullanılan PV panel parametreleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Benzetimlerde Kullanılan PV Panel Parametreleri

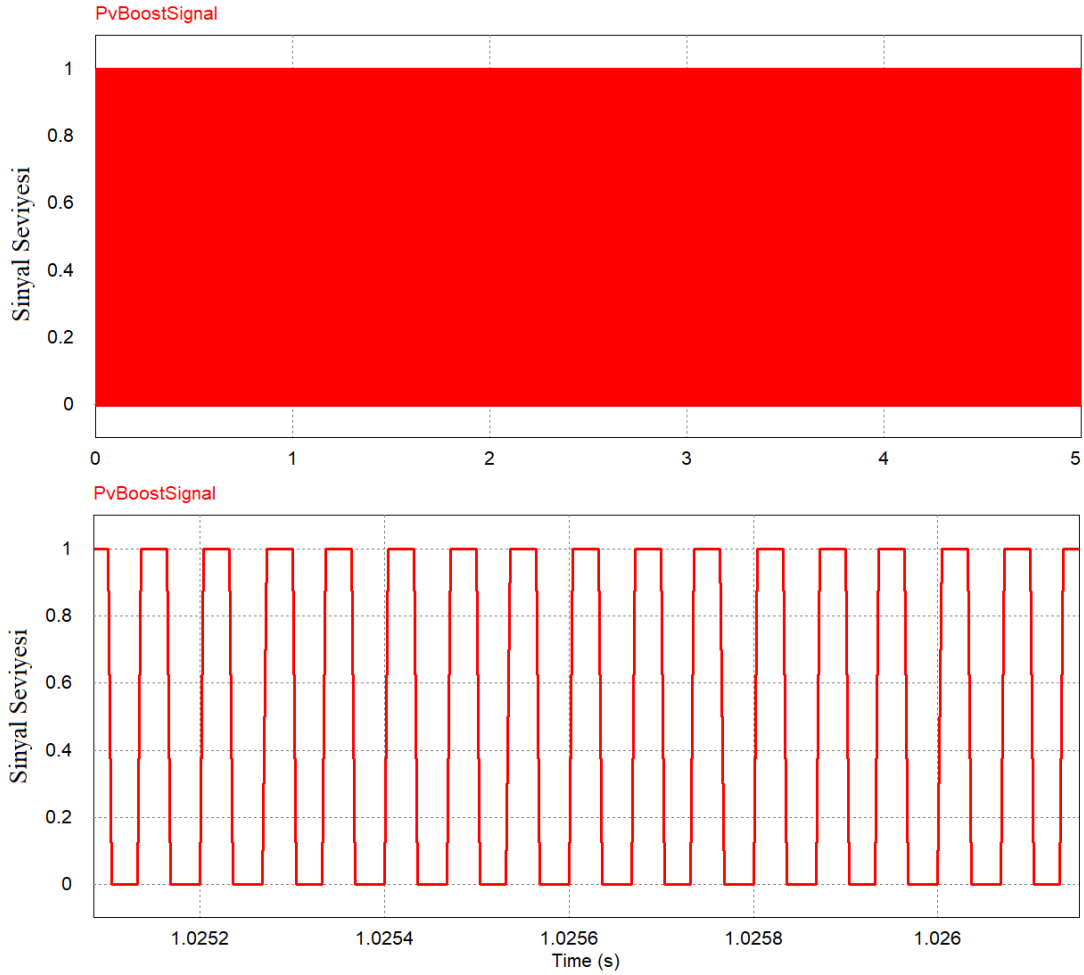
Parametreler	Değerleri
Hücre Sayısı	36
Sıcaklık	25 °C
Maksimum Volt	17 V
Kısa Devre Akımı	3.8 A
Işınım Şiddeti	1000 W/m ²
PI Katsayıları	K _p : 180, K _i : 0.05

PV panel için kullanılan MPPT algoritması ile yapılan benzetim çalışması sonucu Şekil 4.5.'de verilmiştir. Şekilde, PV panel giriş (mavi çizgi) ve çıkış (kırmızı çizgi) güçlerinin karşılaştırılması ve benzetimde kullanılan PI katsayılarının hataları gösterilmiştir. Benzetim sonuçlarına bakıldığında PV panel giriş ve çıkış güçlerinin küçük sapmalar olmasına rağmen genel olarak örtüştüğü görülmektedir. Bu durum, MPPT algoritması ile maksimum verimde güç elde edildiğini göstermektedir. PI katsayı hatalarının kontrol edildiği grafikte ise PV paneldeki gücün inişinde ve çıkışlarında dalgalanmalar olduğu ama sonra hatanın 0'da sabitlendiği görülmektedir.



Şekil 4.5. PV Panel MPPT Algoritma Sonuçları ve PI Denetleyici Hataları

Şekil 4.6.'da, benzetim çalışmalarında belirlenen PI katsayı değerlerine göre PV panel boost sinyalinin tetiklenmesine ait benzetim grafiği verilmiştir. Grafiğin başlangıç kısımlarında tetikleme olmayıp devamında sinyalin tetiklenmesi sağlanmıştır. İlk grafikte benzetim boyunca oluşan sinyal tetiklemesi verilirken ikinci grafikte belirli bir aralıktaki sinyal tetiklemesi verilmiştir.



Şekil 4.6. PV Panel Boost Sinyali

4.2. Akü Batarya Benzetimleri

Benzetim çalışmalarında ikinci aşamada akü bataryası ele alınmıştır. Akü üzerinden şarj ve deşarj işlemleri gerçekleştirilmektedir. Şarj istasyonu içerisinde kullanılan akü bataryalarından 12V 9A/H DC gerilim elde edilmektedir. Şarj sisteminde akünün çalışma mantığı şu şekildedir. Öncelikle, akünün doluluk boşluk durumu kontrol

edilmektedir. Akü dolu ise şarj pistine doğru enerji akışı sağlanmakta, dolu değil ise PV panel ve DC bara üzerinden akünün doldurulması sağlanmaktadır.

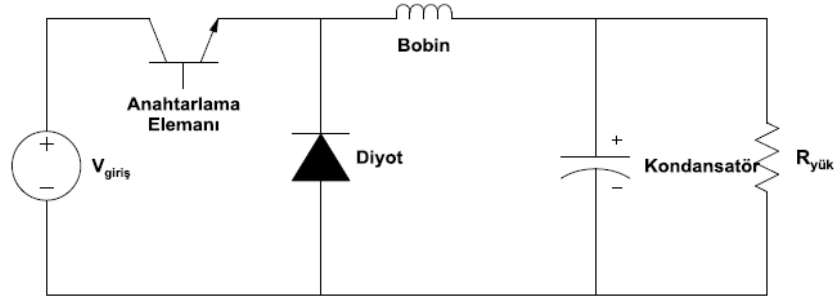
Şarj pistine, aküden enerji vermek için DC baraya 24V gerilim aktarımı yapılmaktadır. Akünün şarj edilmesi işlemi için DC baradan aküye, 12V gerilim aktarılmaktadır. Bu işlemlerin yapılabilmesi için DC/DC dönüştürücülerin kullanılması gerekmektedir. Aküden DC baraya güç verilmesi işleminde Boost dönüştürücü (bbst, Şekil 4.1.) anahtarı kullanılırken, akü'nün şarj edilmesi işleminde ise DC baradan aküye doğru Buck dönüştürücü (bbck, Şekil 4.1.) anahtarı devreye girmektedir. Bu anahtarlar üzerinden akünün iki yönlü enerji akışı sağlanmaktadır.

4.2.1. Akü batarya şarj benzetimleri (DC/DC Buck)

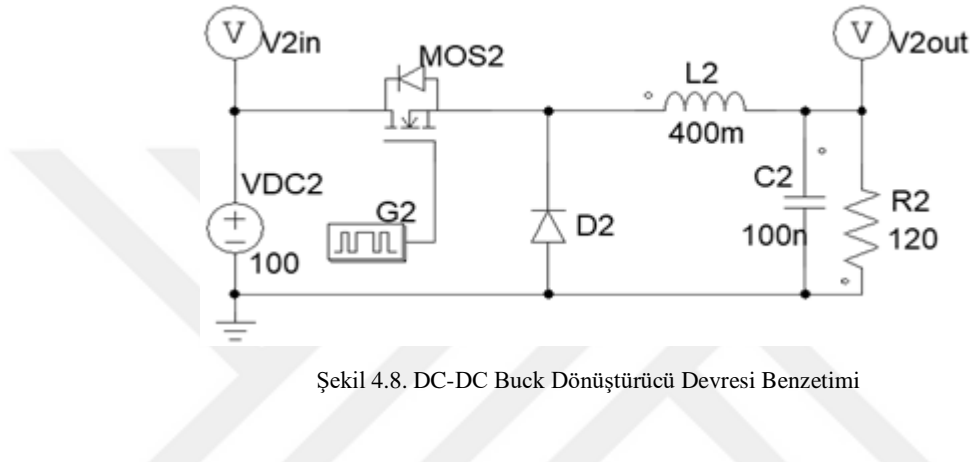
Akü bataryasının PV panel üzerinden şarj edilmesi işleminde DC/DC buck dönüştürücü işlemi yapılmıştır. PV panel ile beslenen DC bara üzerindeki 24 Volt'un, 12 Volt'a düşürülerek akü bataryalarının şarj işlemi benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir.

Buck dönüştürücü devreleri, girişine uygulanan doğru gerilim değerini düşürerek çıkışına ileten sistemlerdir. Buck dönüştürücü temel devre yapısı Şekil 4.7.'de verilmiştir. Devre içerisinde anahtarlama elemanı, diyot, bobin, kondansatör ve yük direnci bulunmaktadır. Devredeki anahtarlama elemanı kapatıldığında diyot kesimde olacaktır. Darbe genişlik modülü ile anahtarlama frekansı üzerinden anahtarın açılıp kapatılması kontrol edilmektedir. Anahtarlama elemanının açıldığı ve kapatıldığı zamanlarda yüke doğru bir enerji akışı meydana gelmektedir. Çıkış geriliminde istenen gerilim değerinin, giriş geriliminden daha düşük olması gerekmektedir.

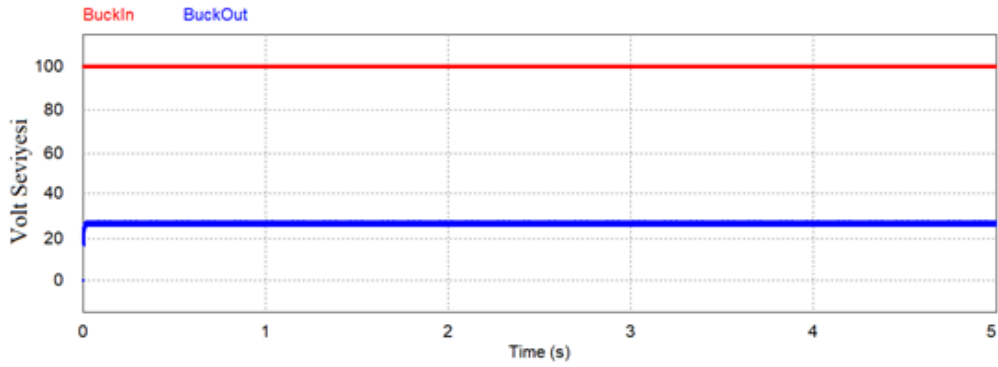
Şekil 4.8.'de PSIM ortamında gerçekleştirilmiş Buck dönüştürücü devresi ve Şekil 4.9.'da güç dönüştürme işleminden sonra düşürülen güç ile girişe uygulanan güç arasındaki fark gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Temel Buck Dönüştürücü Devresi

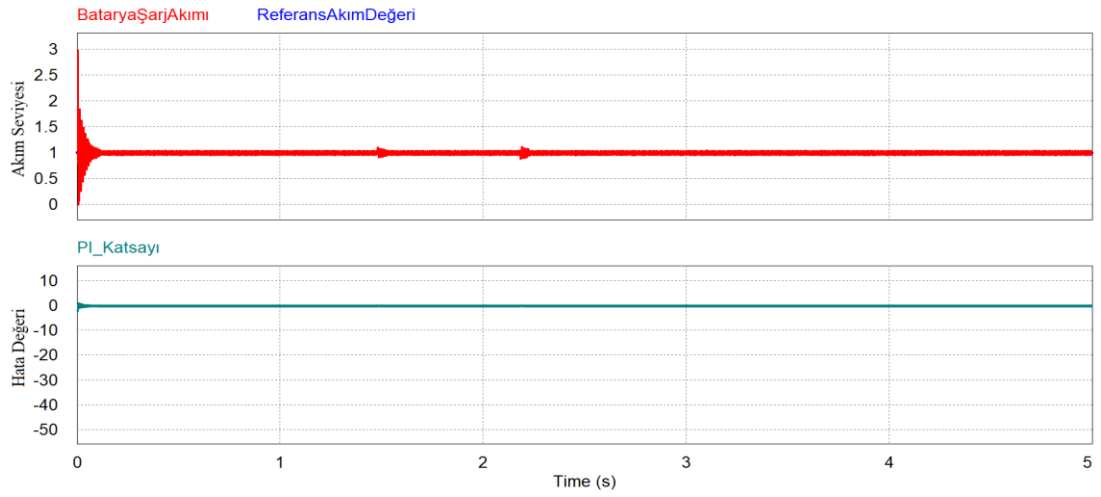


Şekil 4.8. DC-DC Buck Dönüştürücü Devresi Benzetimi

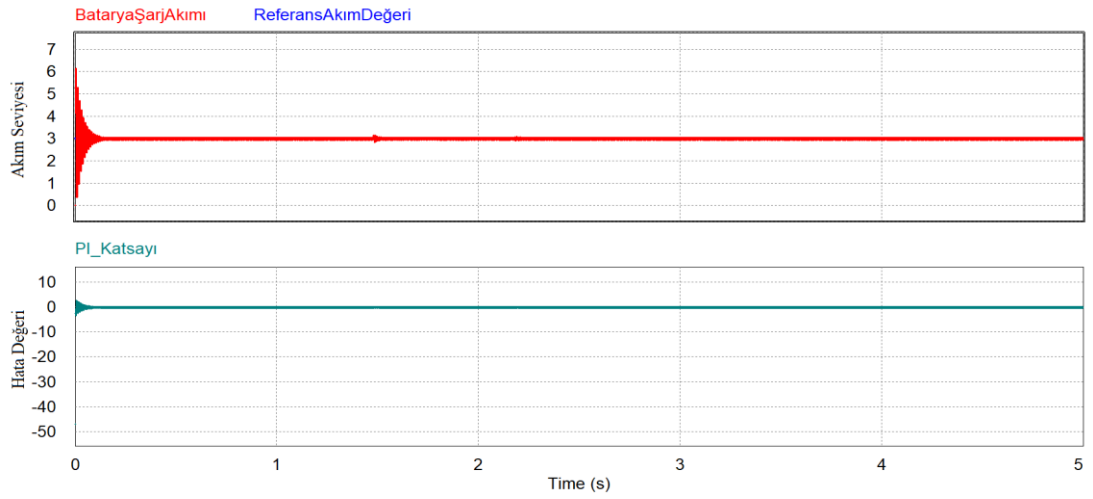


Şekil 4.9. DC-DC Buck Dönüştürücü Benzetim Sonucu

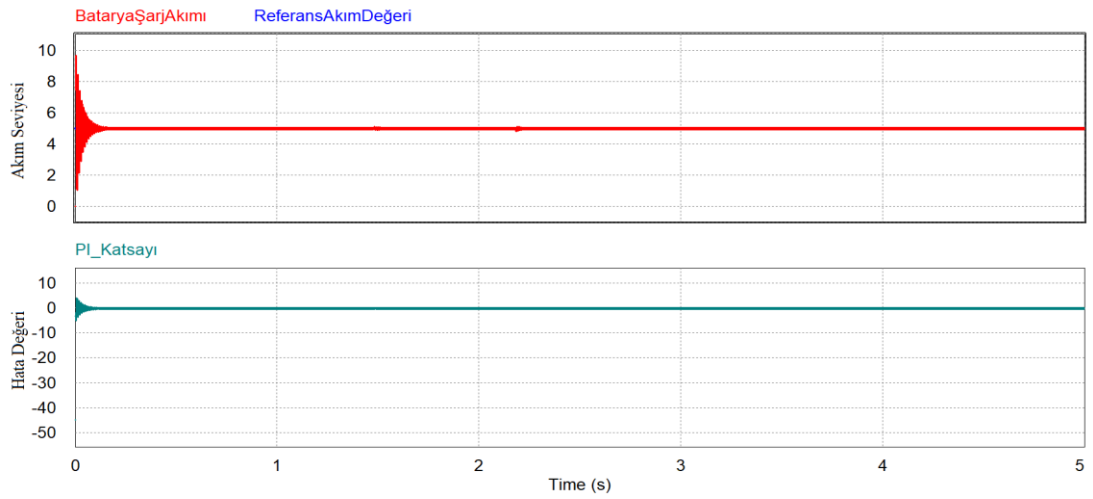
Yapılan benzetim çalışmalarında, akü bataryasının farklı akım değerlerinde (1A, 3A, 5A) şarj işlemi yapılmış ve karşılaşılan PI denetleyici hata grafikleri verilmiştir. Şekil 4.10., 4.11. ve 4.12.'de sırasıyla 1A, 3A ve 5A değeri ile akü bataryalarının DC bara üzerinden şarj edilmesine ait grafikler verilmiştir. Benzetimler sonucunda PI denetleyici katsayıları ($K_p: 200$, $K_i: 0.5$) üzerinden elde edilen hata grafikleri de verilmiştir. Benzetim sonuçları üzerinden farklı akım değerleri ile batarya şarj işleminin düzgün bir şekilde gerçekleştirilebileceği görülmüştür



Şekil 4.10. Akü Batarya Şarj İşlemi (1A) ve PI Denetleyici Hata Grafiği

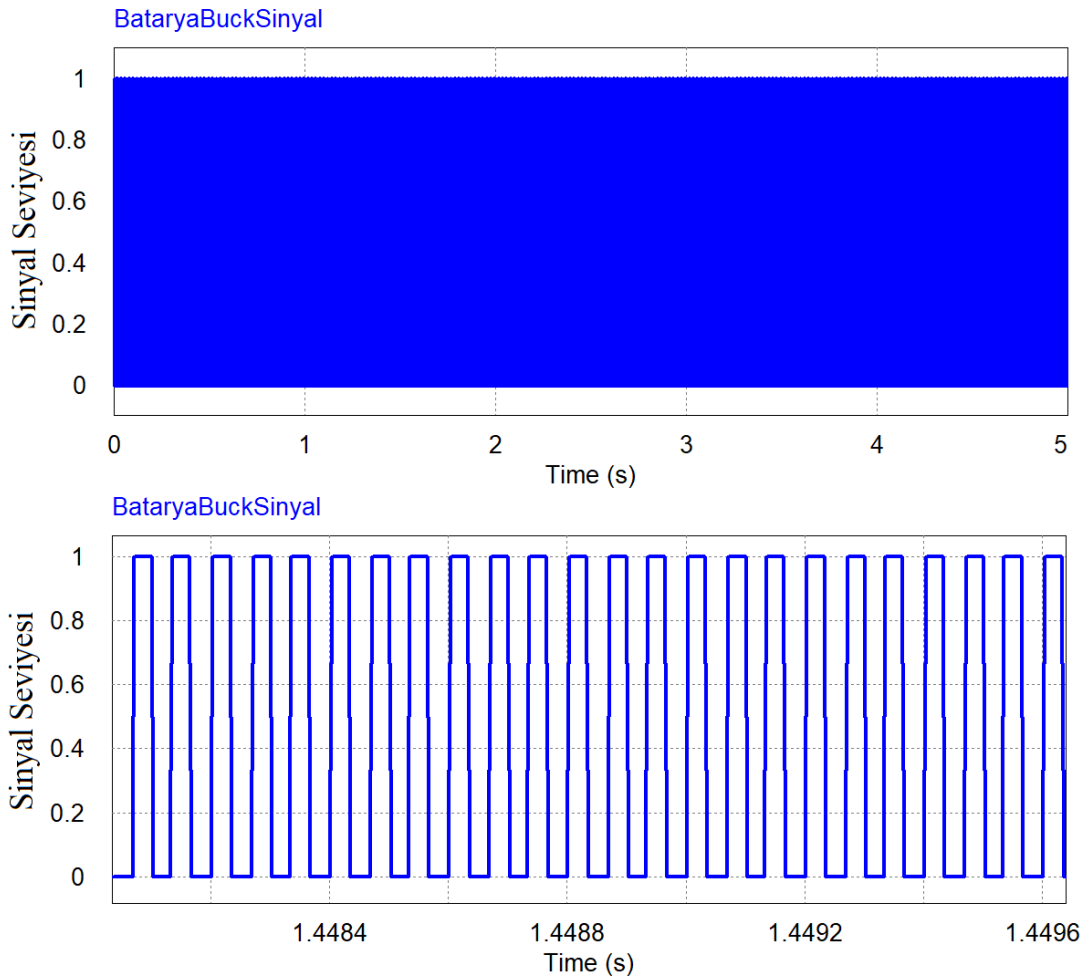


Şekil 4.11. Akü Batarya Şarj İşlemi (3A) ve PI Denetleyici Hata Grafiği



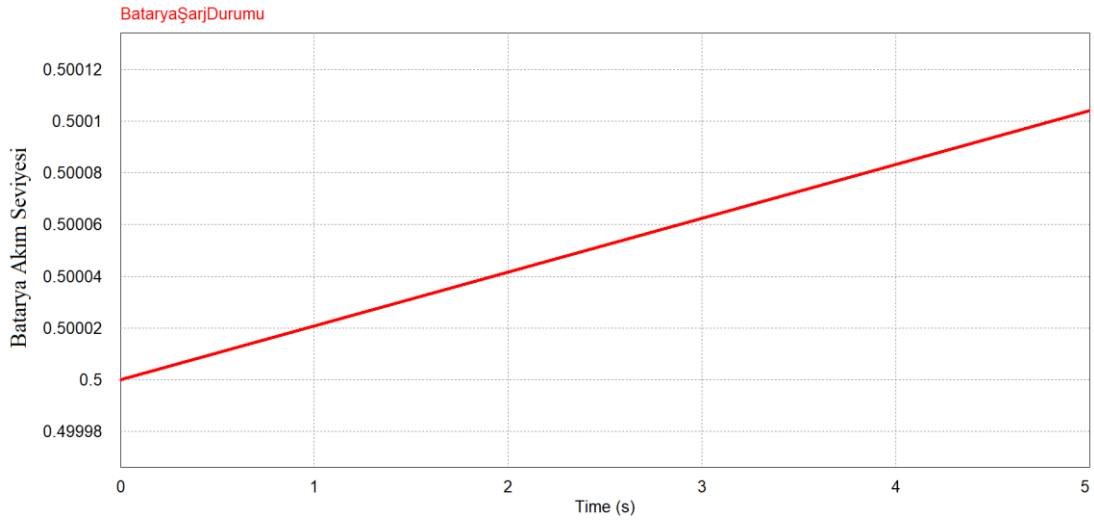
Şekil 4.12. Akü Batarya Şarj İşlemi (5A) ve PI Denetleyici Hata Grafiği

Şekil 4.13.'de akü bataryasının buck sinyalinin PI değerlerine göre sinyal tetiklenmesine ait benzetim grafiği verilmiştir. Grafik ile sinyal tetiklenmesinin sorunsuz olduğu görülmektedir. Grafiğin başlangıç kısımlarında tetikleme olmayıp devamında sinyalin tetiklenmesi sağlanmıştır. İlk grafikte benzetim boyunca oluşan sinyal tetiklemesi verilirken, ikinci grafikte belirli bir aralıktaki sinyal tetiklemesi gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Akü Batarya Buck Sinyali

DC bara üzerinden verilen akımlar üzerinden akü bataryalarının şarj edilmesi sağlanarak durum takibi yapılmıştır. Şekil 4.14.'de akü bataryasının şarj grafiği gösterilmiştir. Grafikte anlık olarak bataryanın gerilim değerleri verilmiştir. Bu değerler üzerinden akü bataryasının şarj işleminin doğru bir şekilde yapıldığı sonucu çıkartılabilmektedir.



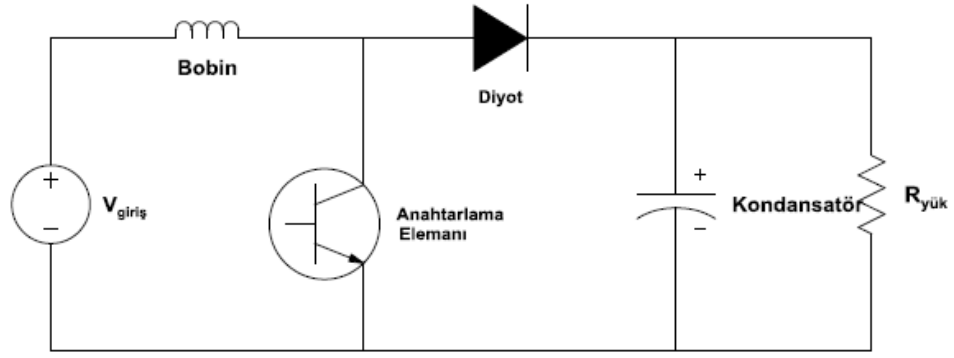
Şekil 4.14. Akü Bataryasının Şarj Grafiği

4.2.2. Akü batarya deşarj benzetimleri (DC/DC Boost)

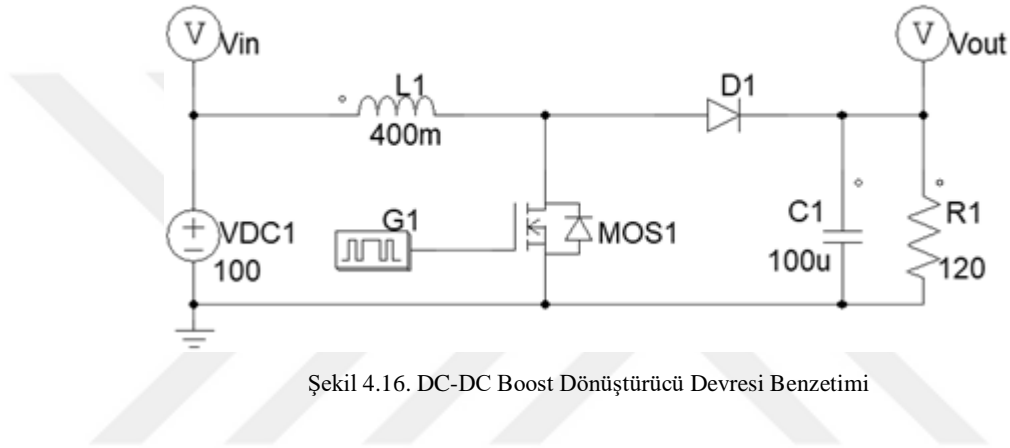
PV panelin kullanılmadığı durumlarda İHA bataryasının, akü bataryası üzerinden şarj edilmesi işleminde DC/DC boost dönüştürücü işlemi yapılmıştır. Akü bataryasının çıkış gerilimi 12 Volt'dan 24 Volt'a yükseltilecek şekilde DC baranın beslenmesi işlemi benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir.

Boost dönüştürücü devreleri, girişine uygulanan doğru gerilim değerini yükselterek çıkışına ileten sistemlerdir. Boost dönüştürücüsünün temel devre yapısı Şekil 4.15.'de verilmiştir. Devre içerisinde bobin, anahtarlama elemanı, diyot, kondansatör ve yük direnci bulunmaktadır. Devredeki anahtarlama elemanı kapatıldığında bobin ve anahtar üzerinden kaynak gerilimi geçmektedir. Bu durumda bobinlerde enerji depolanırken diyot ters polaritede olacak ve çıkış yükü kondansatör aracılığıyla beslenecektir. Anahtarın açılmasıyla birlikte kaynak gerilimi ve bobinde depolanan gerilimin toplamı çıkışa aktarılacaktır. Devrede kaynaktan devamlı olarak akım çekilmektedir.

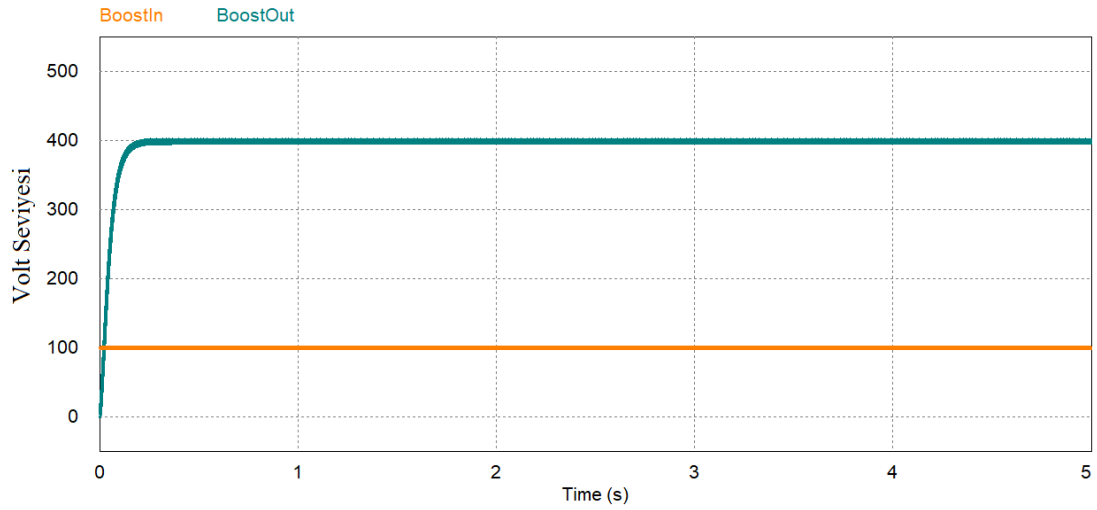
Şekil 4.16.'da PSIM ortamında gerçekleştirilmiş Boost dönüştürücü devresi ve Şekil 4.17.'de güç dönüştürme işleminden sonra yükseltilecek güç ile girişe uygulanan güç arasındaki fark gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Temel Boost Dönüştürücü Devresi



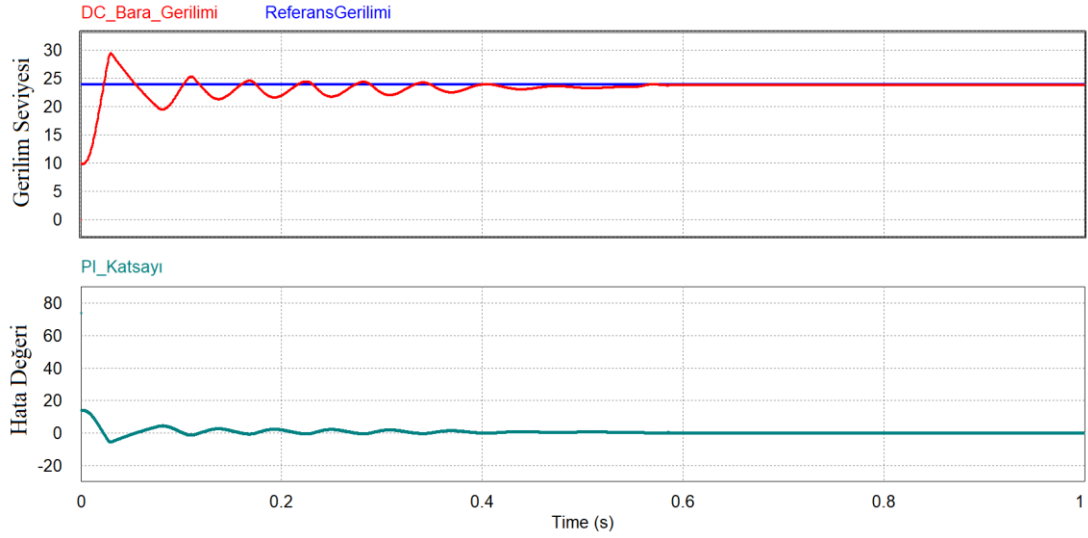
Şekil 4.16. DC-DC Boost Dönüştürücü Devresi Benzetimi



Şekil 4.17. DC-DC Boost Dönüştürücü Benzetim Sonucu

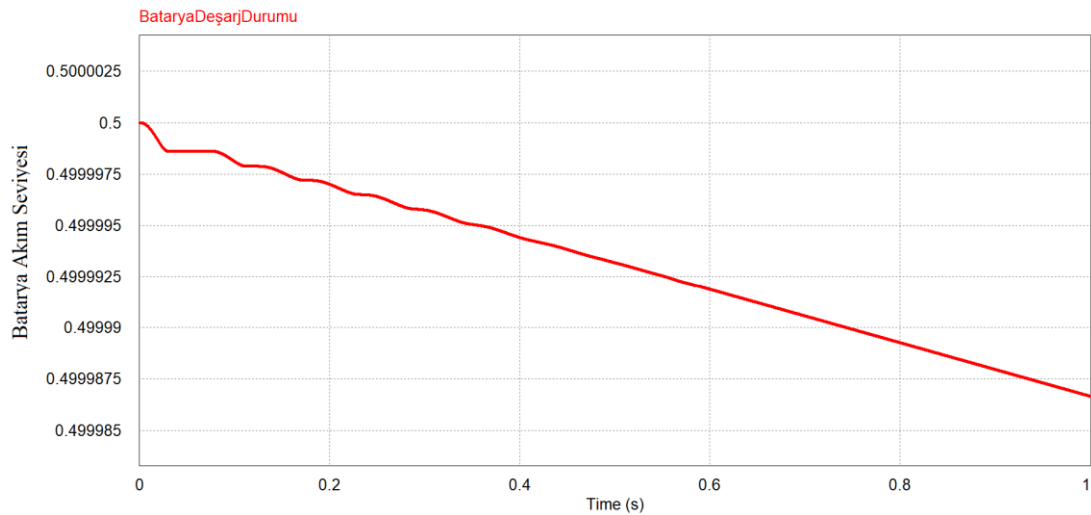
İstasyonda kullanılacak akü bataryalar ile yapılan işlemlerden birisi de DC baranın enerji ihtiyacını karşılamaktır. Bu işlem için akü bataryalar deşarj edilirken DC/DC Boost dönüştürücü işlemi yapılmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarında, akü bataryası

üzerinden 24 Volt gerilim elde edilmeye çalışılmış ve PI denetleyici katsayıları (K_p : 40, K_i : 0.015) üzerinden hata grafikleri de elde edilmiştir. Şekil 4.18.'de DC baranın beslenmesi ve PI denetleyici hata değerlerinin grafikleri verilmiştir.



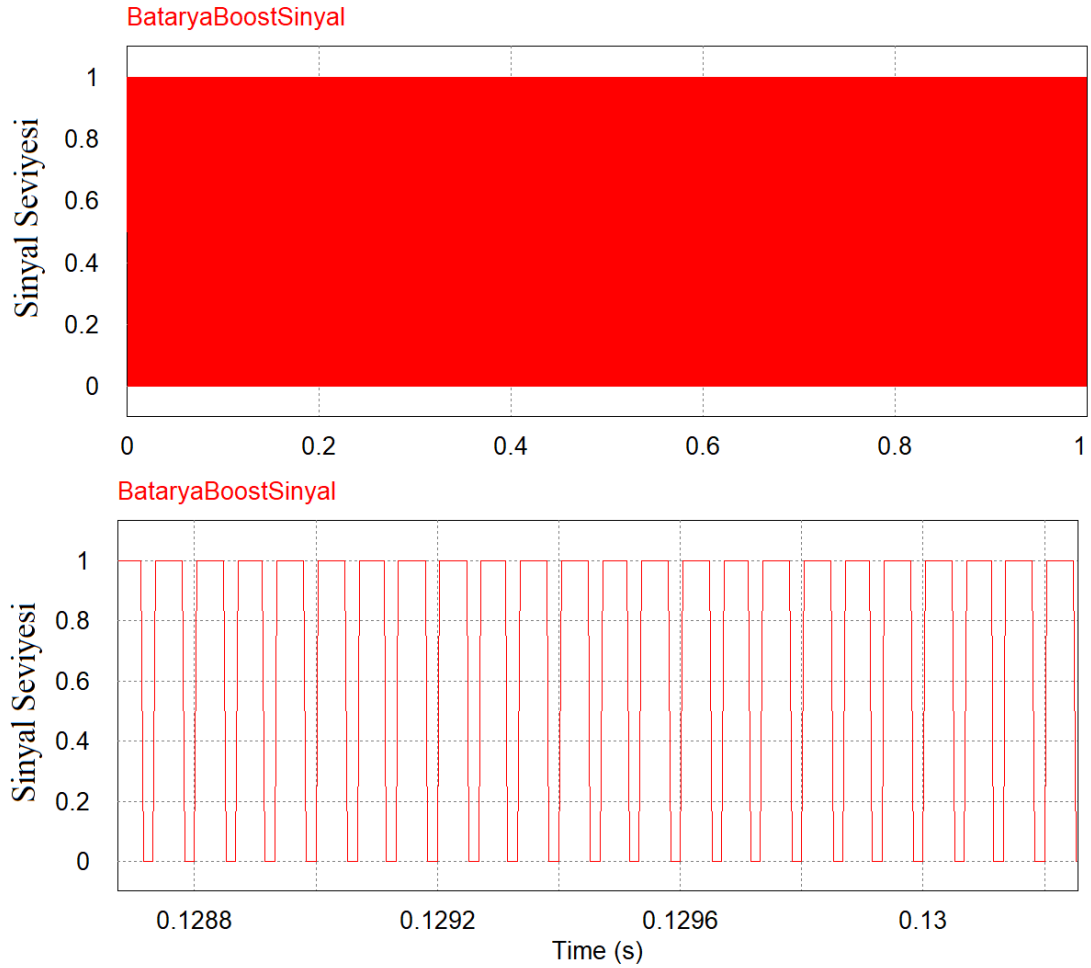
Şekil 4.18. Akü Batarya Deşarj İşlemi ve PI Denetleyici Hata Grafiği

DC bara üzerinden verilen akımlar üzerinden akülerin doldurulması sağlanarak durum takibi yapılmıştır. Şekil 4.19.'da akü bataryasının deşarj grafiği verilmiştir. Grafikte anlık olarak bataryanın gerilim değerleri verilmiştir. Bu değerler üzerinden akü bataryasının deşarj işleminin doğru bir şekilde yapıldığı sonucu çıkartılabilmektedir.



Şekil 4.19. Akü Bataryasının Deşarj Grafiği

Şekil 4.20.'de akü bataryasının boost sinyalinin PI değerlerine göre sinyal tetiklenmesine ait benzetim grafiği verilmiştir. Grafik ile sinyal tetiklenmesinin sorunsuz olduğu görülmektedir. İlk grafikte benzetim boyunca oluşan sinyal tetiklemesi verilirken, ikinci grafikte belirli bir aralıktaki sinyal tetiklemesi gösterilmiştir.

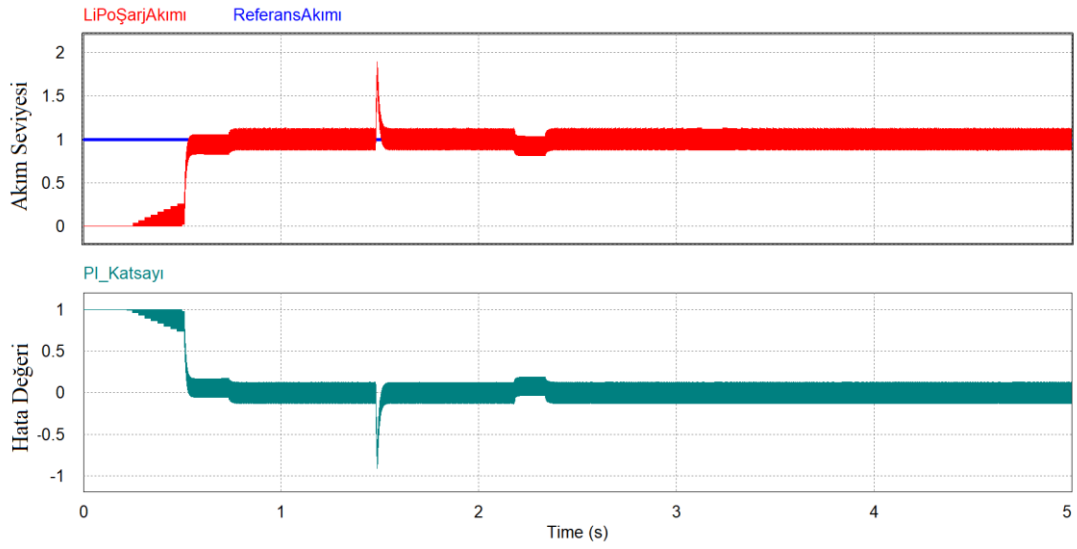


Şekil 4.20. Akü Batarya Boost Sinyali

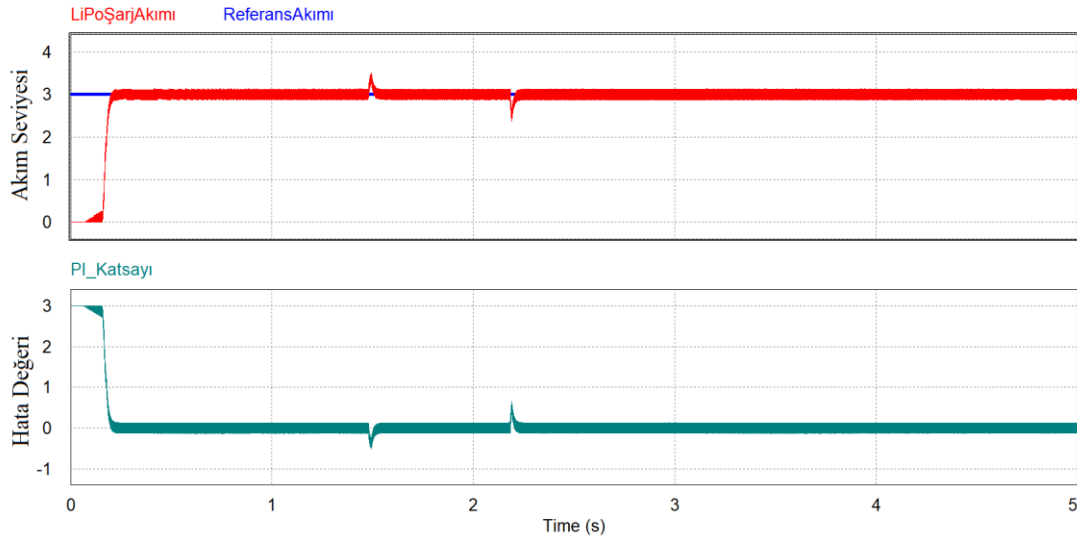
4.3. LiPo Batarya Benzetimleri

Yapılan son benzetim çalışmasında LiPo bataryasının DC bara üzerinden şarj edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. DC baradan alınan enerji PV panel veya akü bataryadan elde edilmektedir. DC bara üzerinden LiPo bataryasının şarj edilmesi işleminde DC/DC Buck dönüştürücü işlemi yapılmış ve 24 Volt, 12 Volt'a düşürülmüştür.

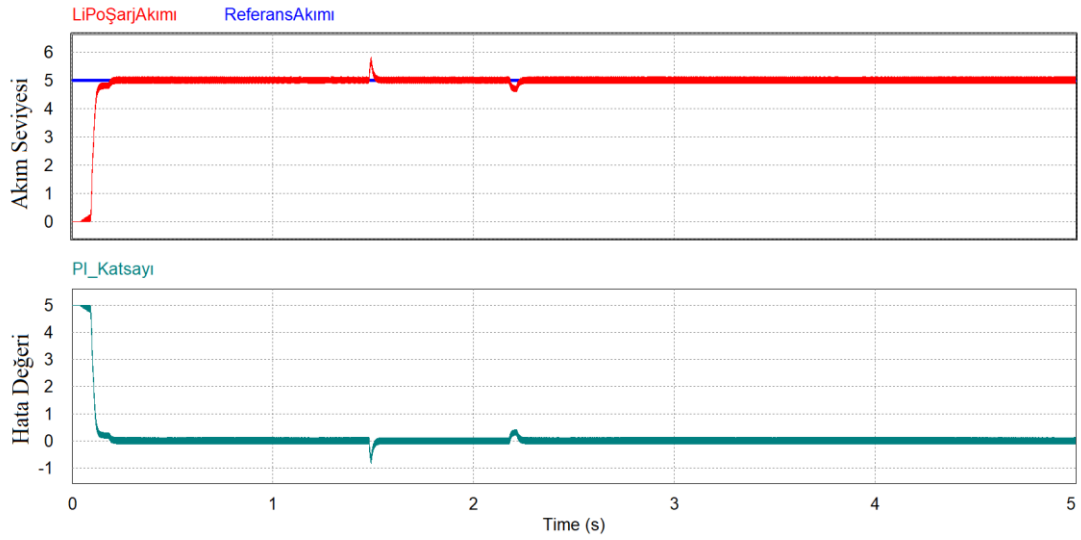
Yapılan benzetim çalışmalarında LiPo bataryasının farklı akım değerlerinde (1A, 3A, 5A) şarj edilmesi işlemi yapılmış ve PI denetleyici katsayıları ($K_p: 150$, $K_i: 0.01$) üzerinden elde edilen hata grafikleri de verilmiştir. Şekil 4.21., 4.22. ve 4.23.'de sırasıyla 1A, 3A ve 5A değeri ile LiPo bataryasının DC bara üzerinden şarj edilmesi gösterilmiştir. Benzetimlerde PI denetleyici değerleri üzerinden karşılaşılan hata grafikleri de verilmiştir. Benzetim sonuçları ile farklı değerler üzerinden şarj işleminin düzgün bir şekilde gerçekleştirilebileceği görülmüş olup 2 farklı bölgede PI katsayısı ile ilgili hatanın meydana geldiği daha sonra hatanın ortadan kalktığı görülmüştür.



Şekil 4.21. LiPo Batarya Şarj İşlemi (1A) ve PI Denetleyici Hata Grafiği

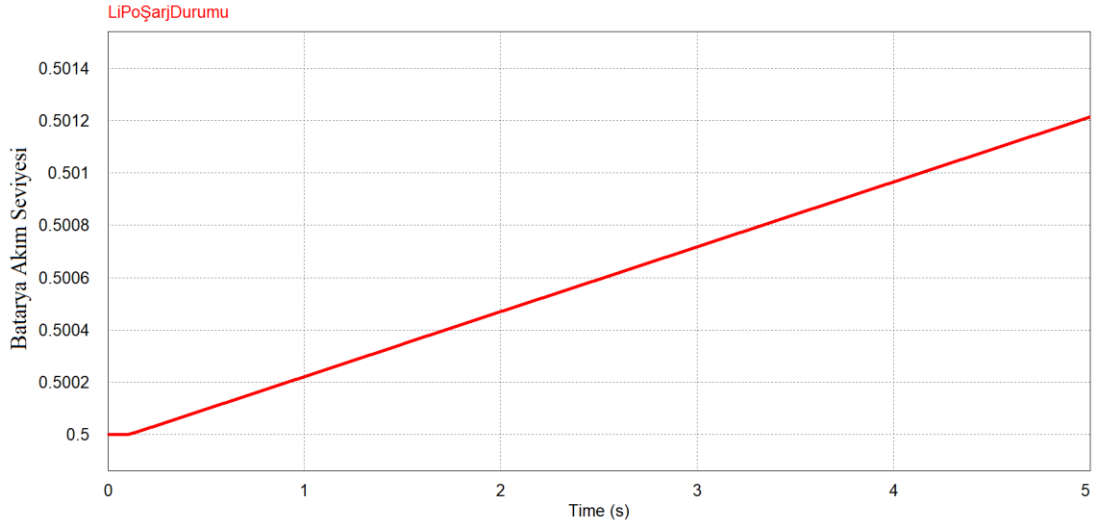


Şekil 4.22. LiPo Batarya Şarj İşlemi (3A) ve PI Denetleyici Hata Grafiği



Şekil 4.23. LiPo Batarya Şarj İşlemi (5A) ve PI Denetleyici Hata Grafiği

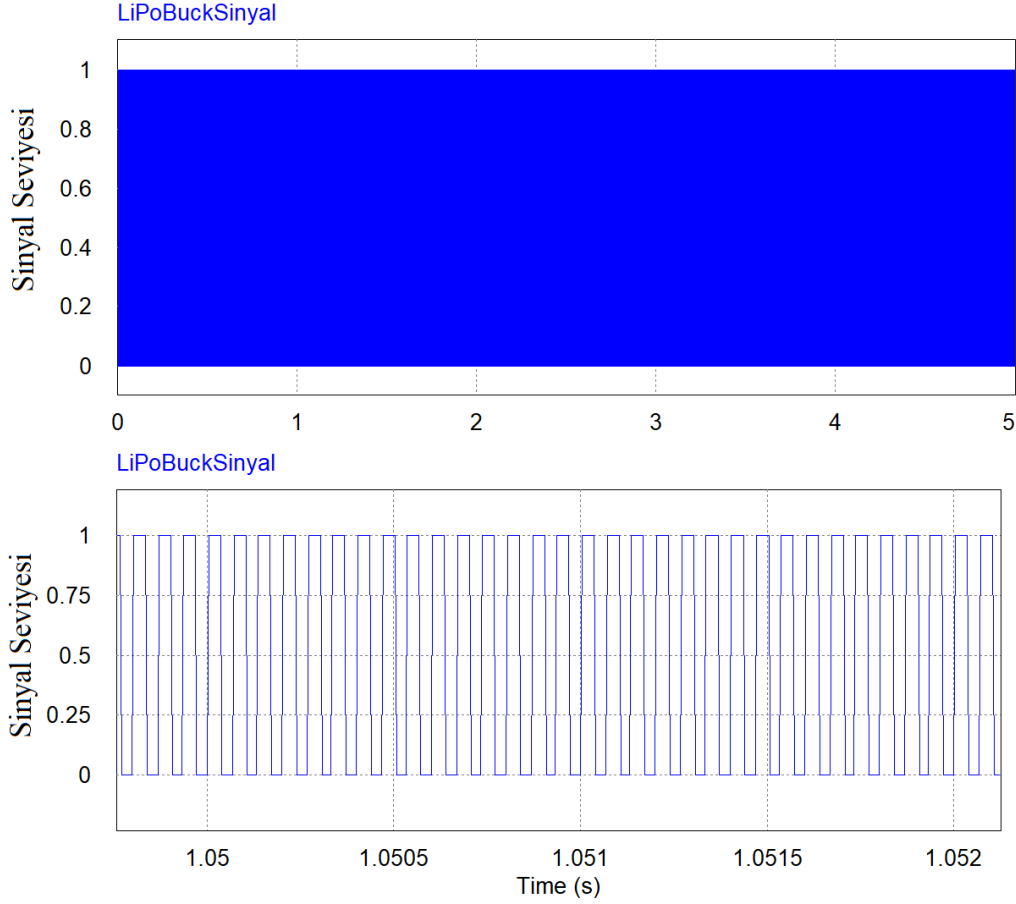
DC bara üzerinden verilen akımlar üzerinden LiPo bataryasının doldurulması sağlanarak durum takibi yapılmıştır. Şekil 4.24.'de akü bataryasının şarj grafiği verilmiştir. Grafikte anlık olarak bataryanın voltaj değerleri verilmiştir. Bu değerler üzerinden LiPo bataryasının şarj işleminin doğru bir şekilde yapıldığı sonucu çıkartılabilmektedir.



Şekil 4.24. LiPo Bataryasının Şarj Grafiği

Şekil 4.25.'de LiPo bataryasının buck sinyalinin PI değerlerine göre sinyal tetiklenmesine ait benzetim grafiği verilmiştir. Grafik ile sinyal tetiklenmesinin sorunsuz olduğu görülmektedir. İlk grafikte benzetim boyunca oluşan sinyal

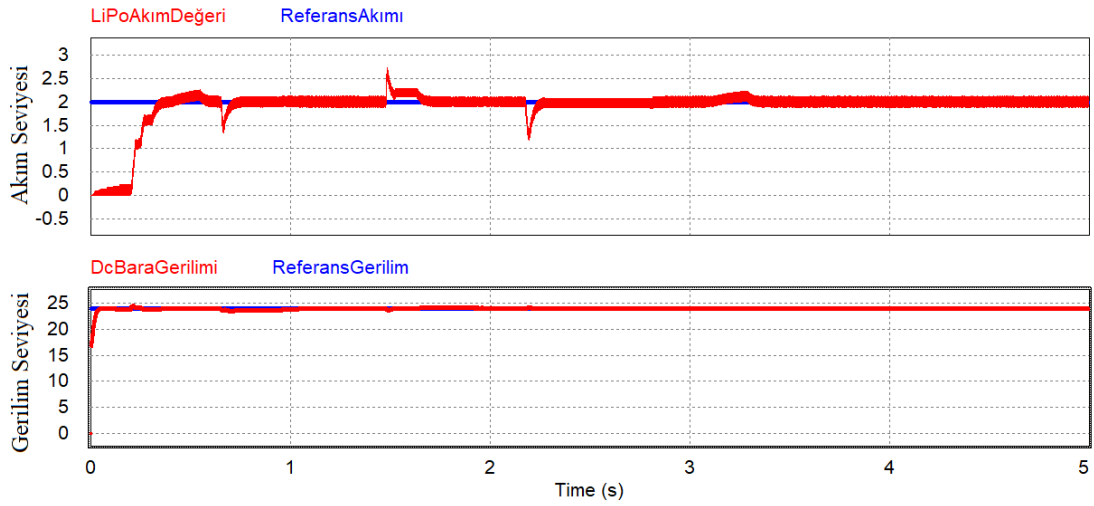
tetiklemesi verilirken ikinci grafikte belirli bir aralıktaki sinyal tetiklemesi gösterilmiştir.



Şekil 4.25. LiPo Batarya Buck Sinyali

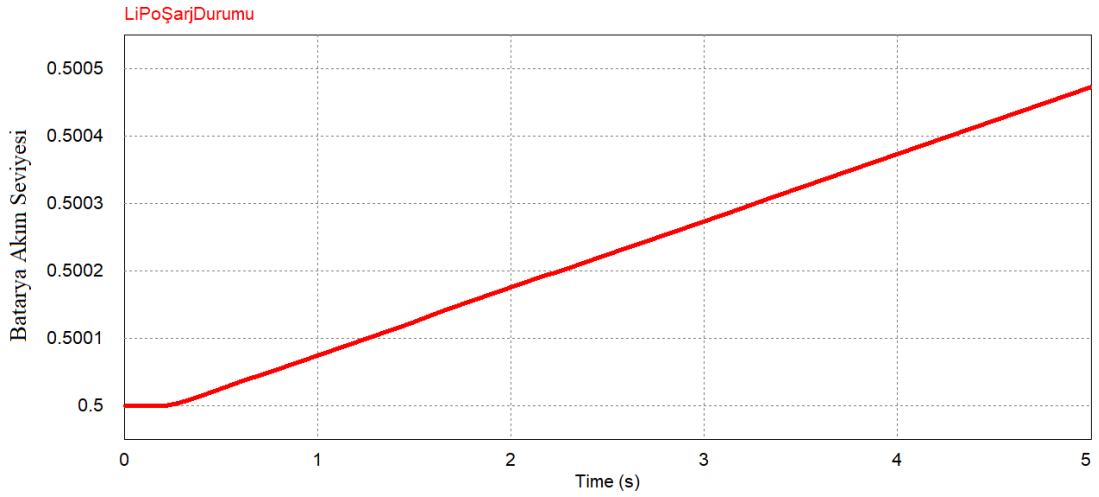
4.4. PV Panel ve LiPo Batarya Benzetimleri

PV panel ve LiPo batarya ile ilgili benzetim çalışmalarının ardından bütünleşik sisteme yönelik benzetim çalışmalarına başlanmıştır. İlk aşamada doğrudan PV panel üzerinden LiPo bataryasının şarj edilmesine yönelik benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Benzetimlerde DC baranın 24 Volt değerinden tutulması ve LiPo bataryasının referans akım değerinden şarj edilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.26.'daki ilk grafikte LiPo bataryasının akım değeri ile referans şarj akımı, ikinci grafikte ise PV panel üzerinden elde edilen DC bara gerilimi ile referans gerilim değeri verilmiştir. Benzetim sonuçları ile referans akım ve gerilim değerleri üzerinden LiPo bataryasının şarj işleminin düzgün bir şekilde gerçekleştirilebileceği görülmüştür.



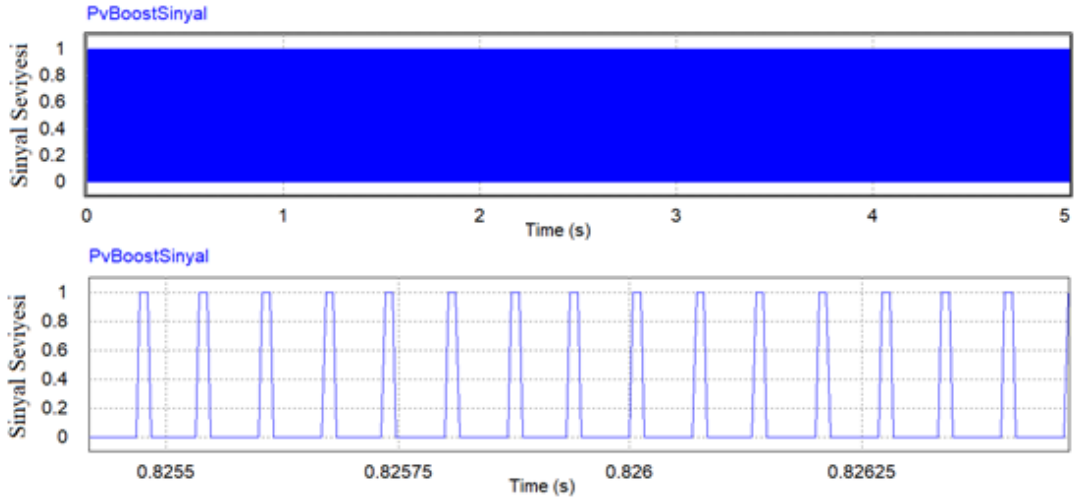
Şekil 4.26. PV Panel ile Şarj Sonucu LiPo Batarya ve DC Bara Değerlerinin Gösterimi

PV panel üzerinden verilen akım ile LiPo bataryasının doldurulması sağlanarak durum takibi yapılmıştır. Şekil 4.27.'de LiPo bataryasının şarj grafiği verilmiştir. Grafikte anlık olarak bataryanın gerilim değerleri verilmiştir. Bu değerler üzerinden LiPo bataryasının şarj işleminin doğru bir şekilde yapıldığı sonucu çıkartılabilmektedir.

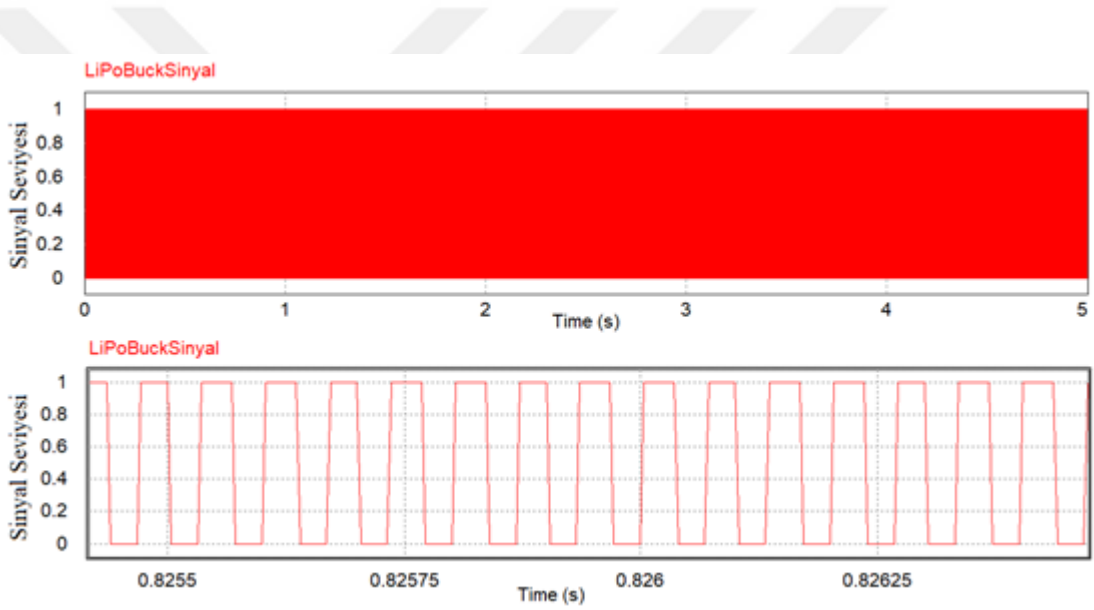


Şekil 4.27. PV Panel ile Şarj Sonucu LiPo Bataryası Şarj Durumu Grafiği

PV panel boost (Şekil 4.28.) ve LiPo bataryasının buck (Şekil 4.29.) sinyallerinin PI değerlerine göre sinyal tetiklenmesine ait benzetim grafikleri verilmiştir. Grafikler ile sinyal tetiklenmesinin sorunsuz olduğu görülmektedir. İlk grafiklerde benzetim boyunca oluşan sinyal tetiklemesi verilirken ikinci grafiklerde ise belirli bir aralıktaki sinyal tetiklemesi gösterilmiştir.



Şekil 4.28. PV Panel Boost Sinyal Sonuçları 1

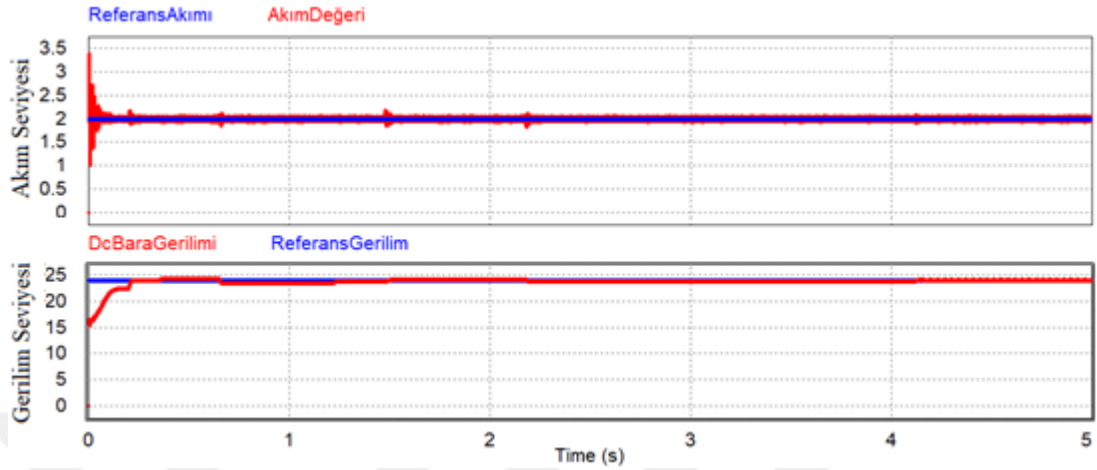


Şekil 4.29. PV Panel ile Şarj Sonucu LiPo Batarya Buck Sinyal Sonuçları

4.5. PV Panel ve Akü Batarya Benzetimleri

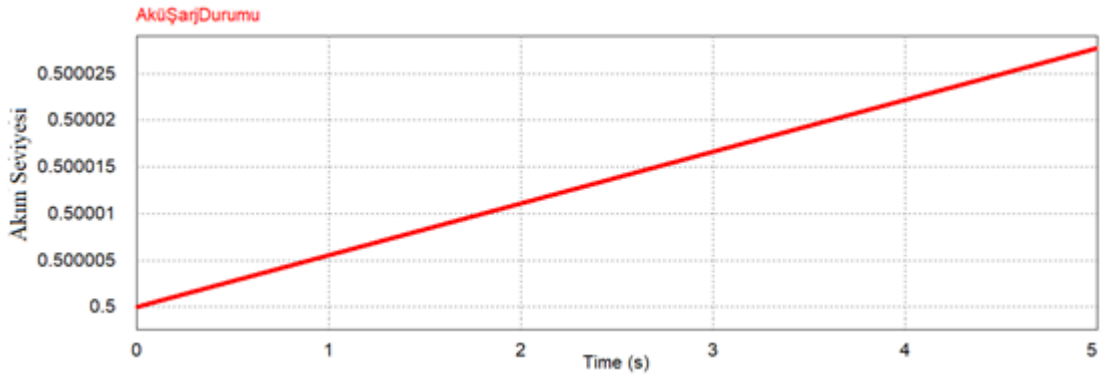
PV panel ve Akü batarya ile ilgili benzetim çalışmalarının ardından bütünleşik sisteme yönelik ikinci benzetim çalışmasına başlanmıştır. LiPo bataryada olduğu gibi doğrudan PV panel üzerinden akü bataryasının şarj edilmesine yönelik benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Benzetimlerde DC baranın 24 Volt değerinden tutulması ve akü bataryasının referans akım değerinden şarj edilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.30.'daki ilk grafikte Akü bataryasının akım değeri ile referans şarj akımı, ikinci grafikte ise PV panel üzerinden elde edilen DC bara gerilimi

ile referans gerilim değeri verilmiştir. Benzetim sonuçları ile referans akım ve gerilim değerlerinin Akü bataryasının şarj işleminin gerçekleştirilebileceği görülmüştür.



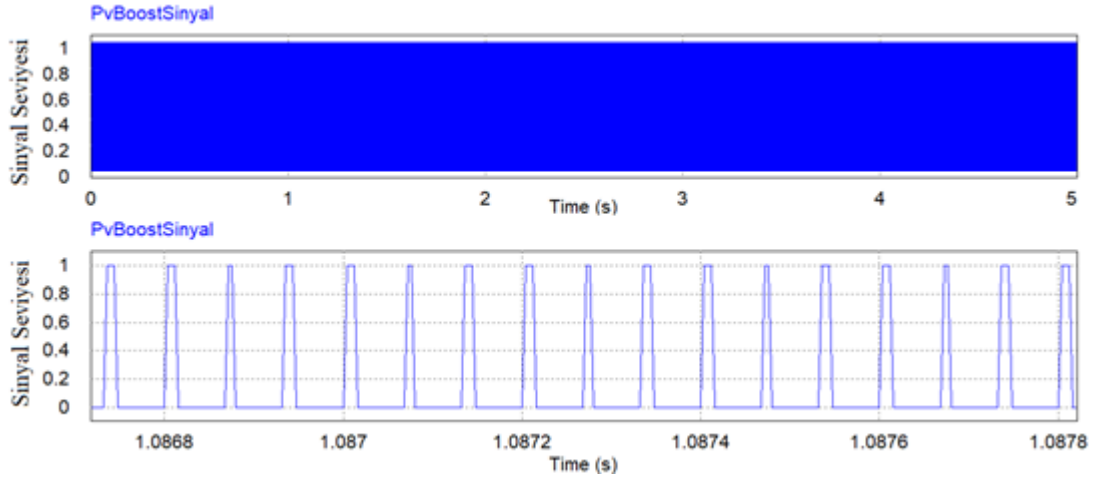
Şekil 4.30. PV Panel ile Şarj Sonucu Akü Batarya ve DC Bara Değerlerinin Gösterimi

PV panel üzerinden verilen akım ile Akü bataryasının doldurulması sağlanarak durum takibi yapılmıştır. Şekil 4.31.'de akü bataryasının şarj grafiği verilmiştir. Grafikte anlık olarak bataryanın gerilim değerleri verilmiştir. Bu değerler üzerinden akü bataryasının şarj işleminin doğru bir şekilde yapıldığı sonucu çıkarılabilmektedir.

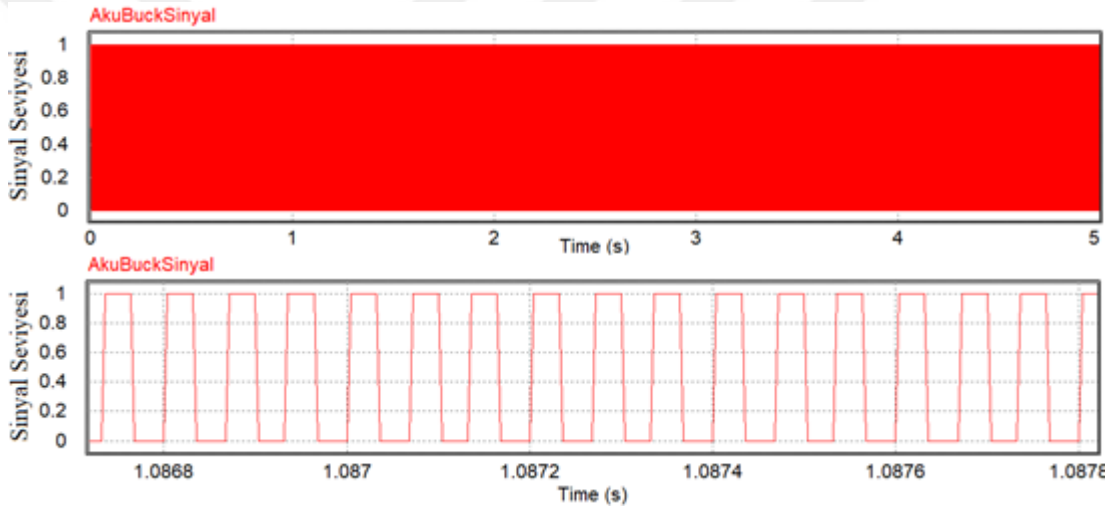


Şekil 4.31. PV Panel ile Şarj Sonucu Akü Bataryasının Şarj Grafiği

PV panel boost (Şekil 4.32.) ve Akü bataryasının buck (Şekil 4.33.) sinyallerinin PI değerlerine göre sinyal tetiklenmesine ait benzetim grafikleri verilmiştir. Grafikler ile sinyal tetiklenmesinin sorunsuz olduğu görülmektedir. İlk grafiklerde benzetim boyunca oluşan sinyal tetiklemesi verilirken ikinci grafiklerde ise belirli bir aralıktaki sinyal tetiklemesi gösterilmiştir.



Şekil 4.32. PV Panel Boost Sinyal Sonuçları 2

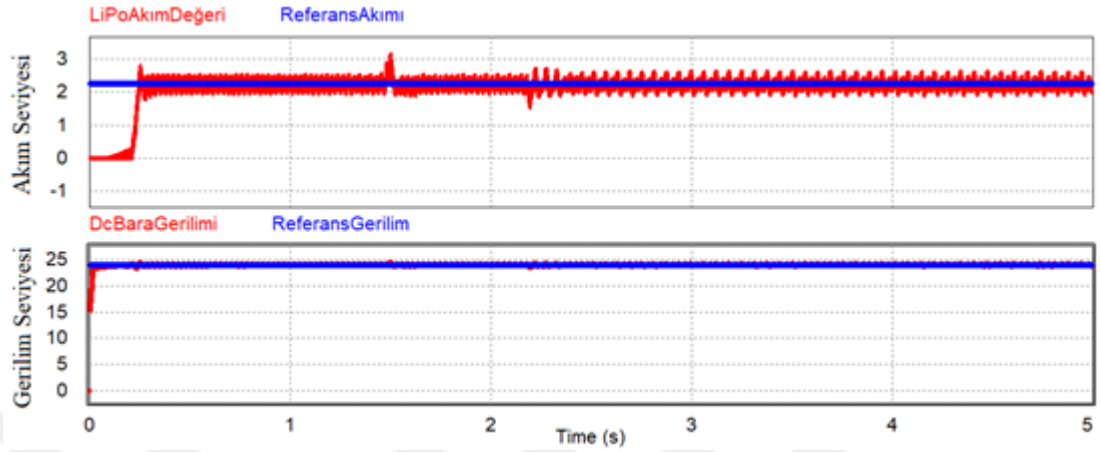


Şekil 4.33. PV Panel ile Şarj Sonucu Akü Batarya Buck Sinyal Sonuçları

4.6. Akü Batarya ve LiPo Batarya Benzetimleri

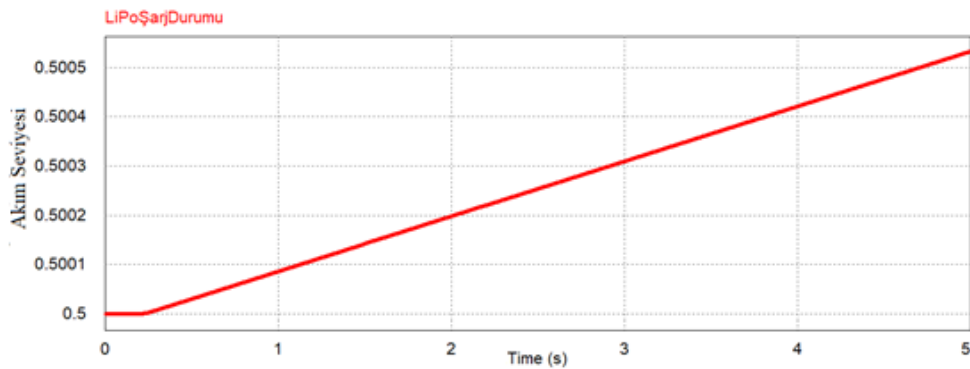
Akü batarya ve LiPo batarya ile ilgili benzetim çalışmalarının ardından bütünleşik sisteme yönelik üçüncü benzetim çalışmasına başlanmıştır. Akü batarya üzerinden LiPo bataryasının şarj edilmesine yönelik benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Benzetimlerde DC baranın 24 Volt değerinden tutulması ve LiPo bataryasının referans akım değerinden şarj edilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.34.'deki ilk grafikte LiPo bataryasının akım değeri ile referans şarj akımı, ikinci grafikte ise DC bara gerilimi ile referans gerilim değeri verilmiştir. Benzetim sonuçları ile referans

akım ve gerilim değerleri üzerinden LiPo bataryasının şarj işleminin düzgün bir şekilde gerçekleştirilebileceği görülmüştür.



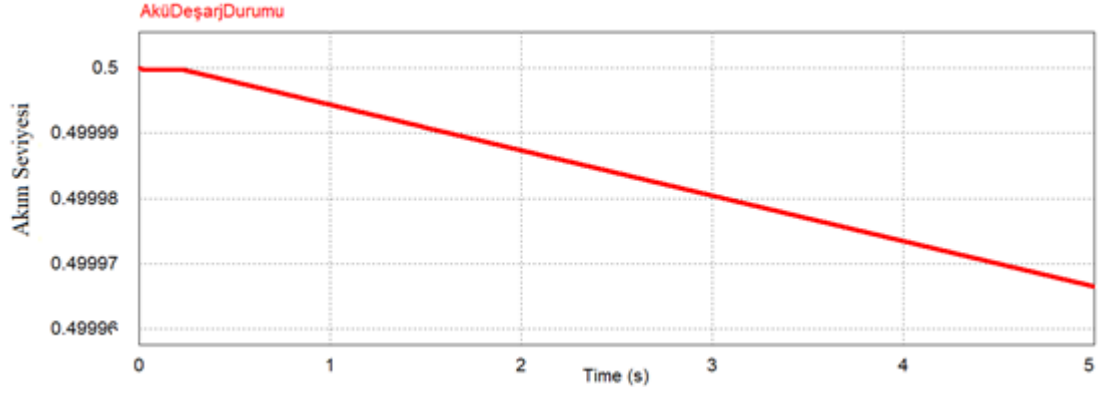
Şekil 4.34. Akü Batarya ile Şarj Sonucu LiPo Batarya ve DC Bara Değerlerinin Gösterimi

Akü batarya üzerinden verilen akım ile LiPo bataryasının doldurulması sağlanarak durum takibi yapılmıştır. Şekil 4.35.'de LiPo bataryasının şarj grafiği ve Şekil 4.36.'da akü bataryasının deşarj grafiği verilmiştir. Grafikte anlık olarak bataryaların gerilim değerleri verilmiştir. Bu değerler üzerinden LiPo bataryasının şarj ve akü bataryasının da deşarj işleminin doğru bir şekilde yapıldığı sonucu çıkartılabilmektedir.

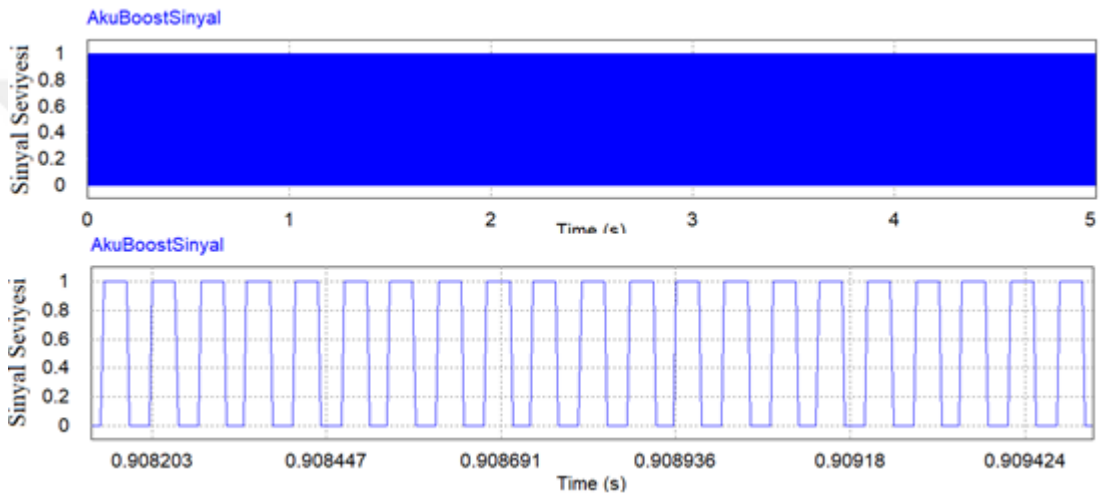


Şekil 4.35. Akü Batarya ile Şarj Sonucu LiPo Bataryasının Şarj Grafiği

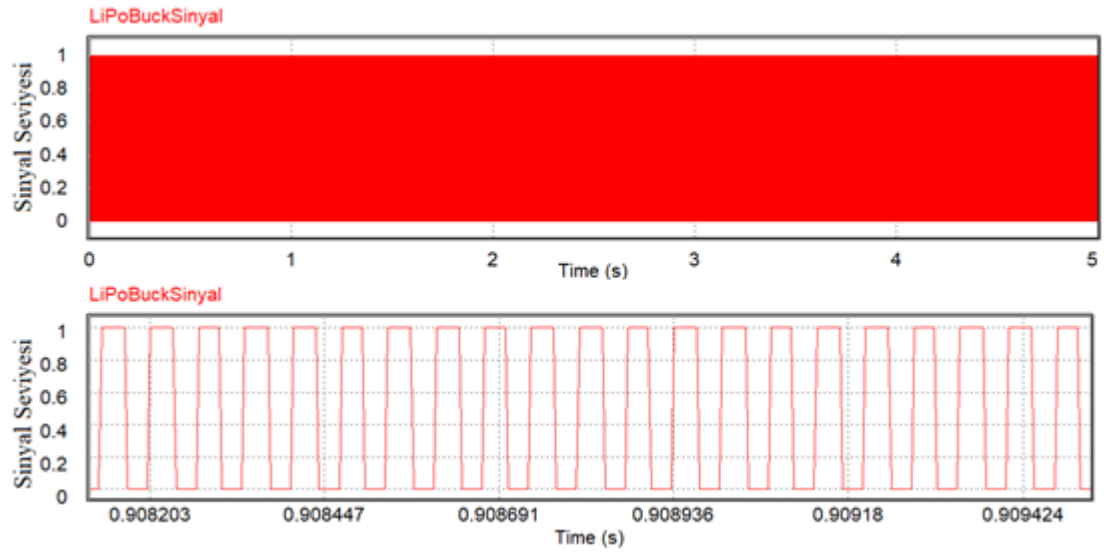
Akü batarya boost (Şekil 4.37.) ve LiPo bataryasının buck (Şekil 4.38.) sinyallerinin PI değerlerine göre sinyal tetiklenmesine ait benzetim grafikleri verilmiştir. Grafikler ile sinyal tetiklenmesinin sorunsuz olduğu görülmektedir. İlk grafiklerde benzetim boyunca oluşan sinyal tetiklemesi verilirken ikinci grafiklerde ise belirli bir aralıktaki sinyal tetiklemesi gösterilmiştir.



Şekil 4.36. Akü Bataryasının Deşarj Grafiği



Şekil 4.37. Akü Batarya Boost Sinyal Sonuçları



Şekil 4.38. Akü Batarya ile Şarj Sonucu LiPo Batarya Buck Sinyal Sonuçları

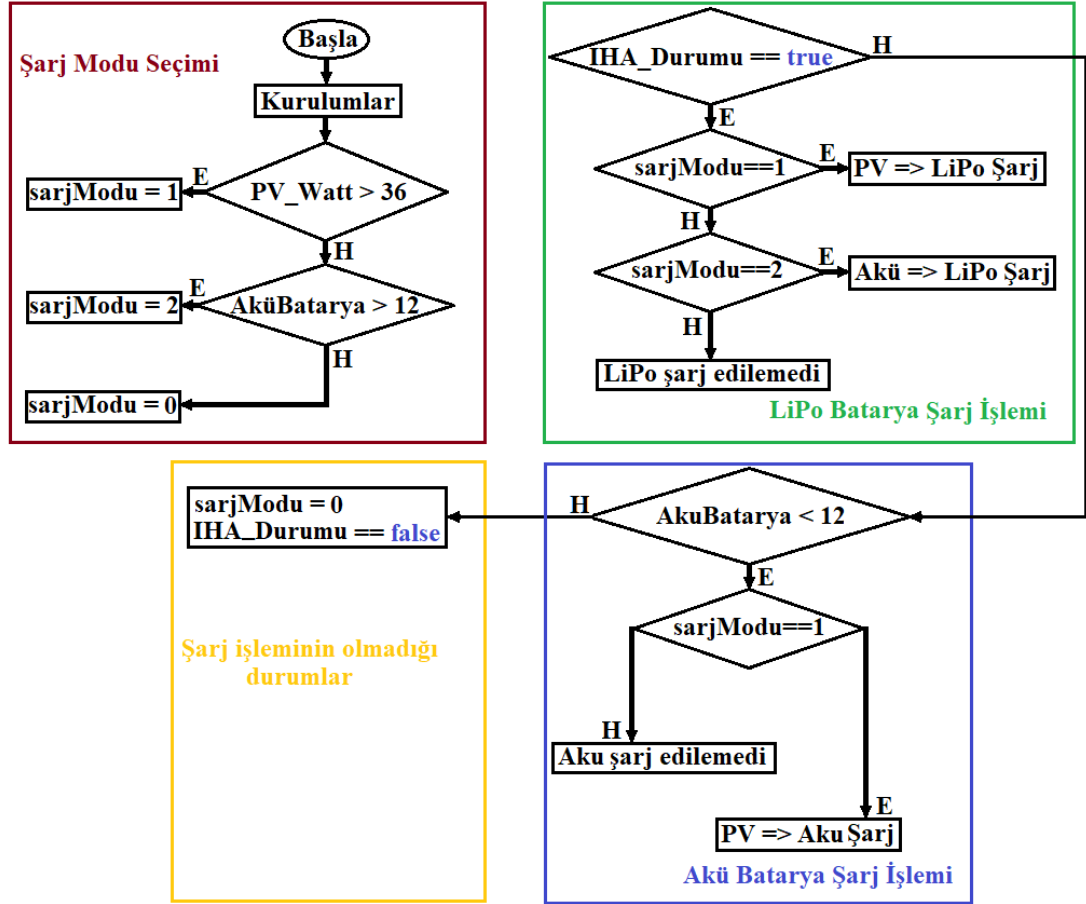
4.7. Yönetici Algoritmanın Geliştirilmesi

Benzetimlerde kullanılan kodlama yapısı ile dört farklı ana şarj/deşarj işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunlar, PV Buck, Akü (Storage) Buck/Boost ve LiPo Buck işlemleridir. Benzetim çalışmalarında tüm kaynakların ortak bir şekilde çalışmasını kontrol etmek amacıyla bir yönetici algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın çalışması ile uygun güç kaynağı (PV panel, Akü Batarya) ve şarj edilecek kaynağın (LiPo/Akü Batarya) seçimi gerçekleştirilmektedir.

Algoritmanın işlemlerinde ilk olarak güç kaynaklarının durumu incelenmekte ve en uygun güç kaynağından ilgili gerilim ve akım değerleri çekilmektedir. Sistem şu şekilde çalışmaktadır: İHA şarj pistine iniş yaptığında PV panel ve akü bataryalarının güç değerlerine bakılarak hangi kaynaktan şarj işleminin gerçekleştirileceği seçilmektedir. Örneğin; PV panelden 36 Watt güç geliyorsa, enerji kaynağı olarak PV paneller seçilmektedir. Aksi takdirde aküden gelen güç değerlerine bakılıp, gelen değer 12V'dan yüksek olması durumunda enerji kaynağı olarak akü bataryalar kullanılmaktadır. Aynı koşullar PV panelden akü bataryasının şarj edilmesi içinde geçerlidir. Şarj istasyonunda genel olarak hangi durumlarda hangi işlemlerin gerçekleştirileceğini belirten akış şeması yapısı Şekil 4.39.'da verilmiştir.

Akış şemasında ilk olarak şarj işleminde kullanılacak olan enerji kaynağı belirlenmektedir. PV panel ve akü bataryalarında elde edilen güç değerleri kontrol edilerek güç kaynağının hangisinin olacağı belirlenmektedir. İki kaynaktan da yeterli enerji ihtiyacı karşılanamadığında şarj işlemi yapılamamaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasından sonraki adımda eğer İHA şarj istasyonuna iniş yaptı ise bu noktada daha önceden seçilen güç kaynağı ile İHA bataryası (LiPo) şarj edilmektedir. Şekil 4.1.'de verilen girişler üzerinden sürekli geri dönüşümler alınarak en uygun şarj etme işleminin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Bu girişler üzerinden sistemdeki akım ve gerilim değerleri sürekli olarak izlenmektedir. İHA'nın istasyonda olmadığı durumlarda akü bataryasının şarj edilmesi ile ilgili kontrol yapılmaktadır. Eğer akü bataryasının gerilimi 12 Volt değerinden düşükse ve PV panel üzerinden yeterli enerji alınabiliyorsa akü bataryasının şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Akü bataryasının şarj

edilmesine de gerek duyulmadığı takdirde sistemde herhangi bir şarj işlemi gerçekleştirilmemektedir.



Şekil 4.39. Benzetim Çalışmaları Akış Şeması

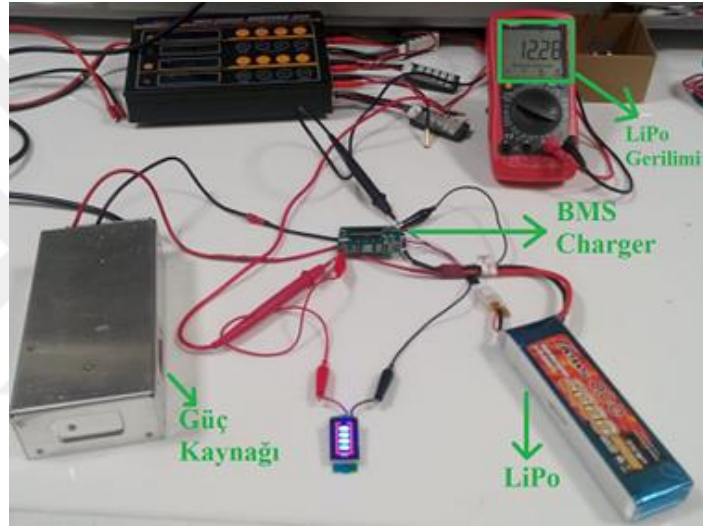
BÖLÜM 5. ŞARJ İSTASYONUNUN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ

Benzetim ve tasarım çalışmalarının yapılmasının ardından şarj istasyonu içerisinde kullanılacak olan donanımların test işlemlerine geçilmiştir. Donanımsal test işlemlerinde LiPo batarya, BMS modülü, şarj pisti, DSP kontrolcü kartları, PV panel ve akü batarya ile ilgili uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Şarj istasyonunun gerçekleştirilmesi sırasında aşağıdaki adımlar takip edilmiş ve donanımsal başarımların elde edilmesinden sonra ilerlemeye devam edilmiştir. Her test işleminden başarılı sonuçlar elde ettikten sonra bir sonraki test işlemine geçilmiştir. Bu sayede donanımsal test işlemlerinde kontrollü bir şekilde ilerlenmiştir.

- LiPo bataryasının BMS modülü ile şarj edilmesi
- Şarj pistinin kullanılabilirliğinin test edilmesi
- LiPo bataryasının BMS modülü ve Şarj pisti ile şarj edilmesi
- LiPo bataryasının hücre bilgilerinin Arduino ile takip edilmesi
- LiPo bataryasının gerçek zamanlı ve anlık olarak takip edilmesi
- Elektronik kartlarının geliştirilmesi ve test edilmesi
- Akü bataryası ile LiPo Bataryasının donanımsal olarak şarj edilmesi
- PV panelden enerji elde edilmesi
- PV Panel ile LiPo Bataryasının şarj edilmesi
- Akü batarya ile LiPo bataryasının şarj edilmesi
- PV Panel ile Akü Bataryasının şarj edilmesi
- PV Panel ve Şarj pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi
- Akü batarya ve Şarj pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi

5.1. LiPo Bataryasının BMS Modülü ile Şarj Edilmesi

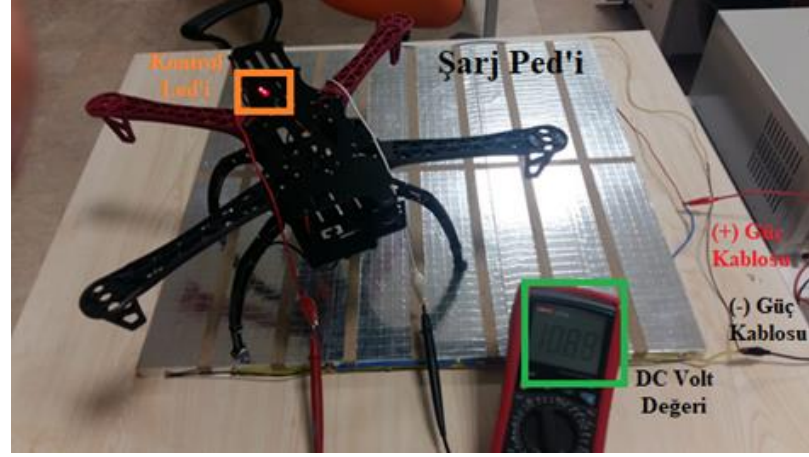
LiPo bataryasının BMS modülü ile şarj edilmesi işlemi, Şekil 5.1.'de gösterilmiştir. DC güç kaynağından elde edilen akım ve gerilim üzerinden BMS modülü aracılığıyla LiPo bataryasının balanslı bir şekilde şarj edilmesi sağlanmıştır. Yapılan test işlemlerinde LiPo bataryasının gerilim değeri "12.28 V" olarak ölçülmüştür. Bu test işlemi ile LiPo bataryasının BMS modülü ile dengeli bir şekilde şarj edilerek batarya hücrelerindeki gerilim seviyeleri eşit seviyelerde tutulmuş ve hücrelerin herhangi bir zarar görmesi engellenmiştir.



Şekil 5.1. LiPo Bataryasının BMS Modülü ile Şarj Edilmesi

5.2. Şarj Pisti Test Uygulamaları

Şarj istasyonu içerisinde İHA bataryasının şarj işlemine kullanılmak üzere geliştirilen şarj pisti ile yapılan test çalışması Şekil 5.2.'de verilmiştir. Şarj pistine, DC güç kaynağından enerji verilmiştir. Test çalışmalarında ilk olarak bir led kullanılmıştır. Şarj pistine şerit olarak sarılan alüminyum folyo hatlarına İHA'nın ayaklarındaki konektörlerin temas etmesi durumunda led'e enerji akışının gidip gitmediği kontrol edilmiştir. Bu sayede şarj pisti üzerinden enerji akışının doğru bir şekilde yapıldığı yapılmadığı kontrol edilmiştir. Enerjinin geldiği durumlarda led yanmış aksi durumlarda ise yanmamıştır.



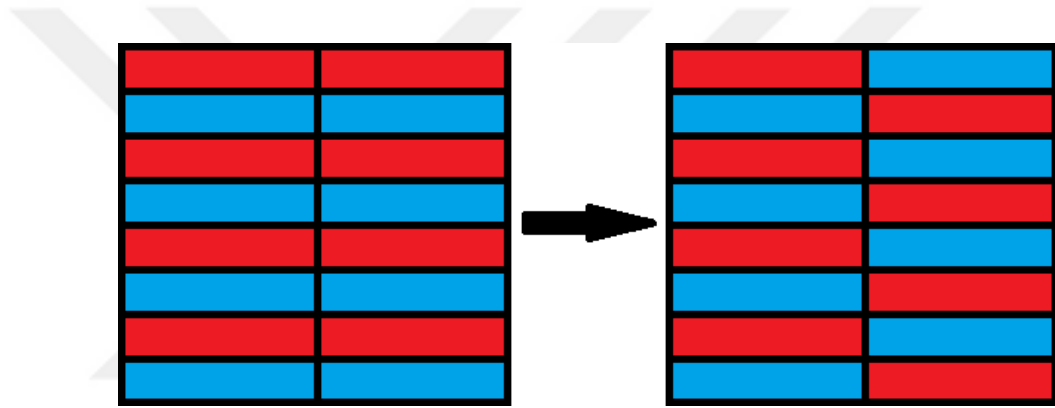
Şekil 5.2. Şarj Pisti Test Çalışmaları

Enerji akışının doğru bir şekilde yapılıp yapılmadığını tespit etmek amacıyla farklı iniş testleri yapılmıştır. İniş testleri sırasında şarj pisti üzerindeki “+” ve “-” hatları ile bakır konektörlerin (A, B, C ve D) birbirlerine temas ettiği durumlarda, enerji aktarım işleminin gerçekleşme durumu tespit edilmiştir. İniş işlemlerine ait veriler, Tablo 5.1.’de verilmiştir. Tablodaki veriler analiz edildiğinde, geliştirilen şarj pistinin %87.5’lik bir başarı oranında şarj işleminin yapılmasına imkân verdiği görülmüştür.

Tablo 5.1. Şarj Pisti Üzerinde Şarj Durumlarının Tespiti

Test	A	B	C	D	Şarj İşlemi
1	-	-	-	-	×
2	-	-	-	+	√
3	-	-	+	-	√
4	-	-	+	+	√
5	-	+	-	-	√
6	-	+	-	+	√
7	-	+	+	-	√
8	-	+	+	+	√
9	+	-	-	-	√
10	+	-	-	+	√
11	+	-	+	-	√
12	+	-	+	+	√
13	+	+	-	-	√
14	+	+	-	+	√
15	+	+	+	-	√
16	+	+	+	+	×

Şarj pisti ile yapılan iniş testlerine bağlı olarak yapılan şarj işlemlerindeki başarı oranını arttırmak amacıyla şarj pistinde güncellemeye gidilmiştir. Bu işlem ile Tablo 5.1.'de verilen şarj durumlarında, şarj işleminin yapılamadığı durumların ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Şarj pistine eklenen donanımlar ile şarj işlemi esnasında yapısal olarak değişikliğe gidilmiştir. Yapısal değişiklik ile İHA'nın şarj pisti üzerine inişinden sonra enerji akışının olup olmadığı tespit edilmekte ve bu duruma bağlı olarak şarj pistinin enerji hatlarında değişiklik yapılmaktadır. Yapısal değişiklik sonucunda elde edilen şarj pisti yapısı, Şekil 5.3.'de verilmiştir. Bu yapısal değişiklik işlemi ile şarj pisti üzerinden yapılan şarj işlemi %100 başarı ile yapılmıştır.

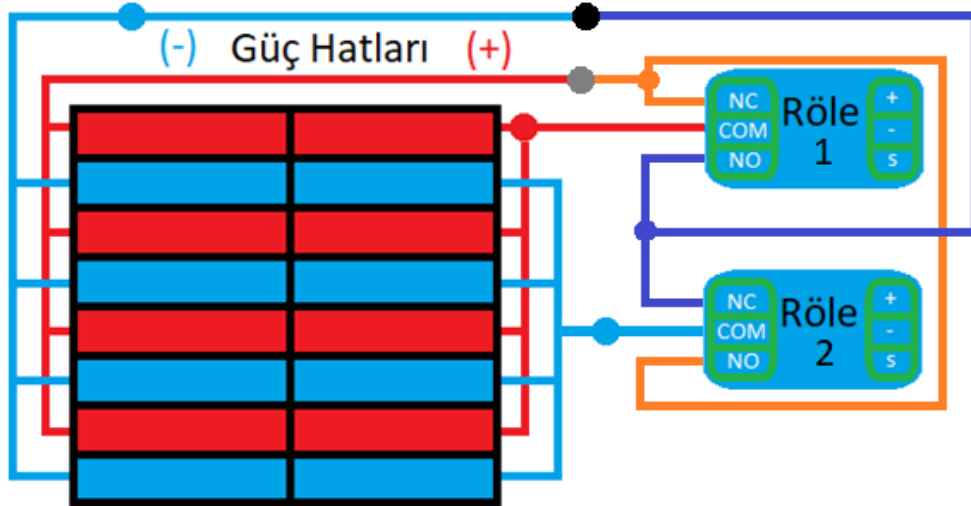


Şekil 5.3. Şarj Pistinin Yapısal Değişikliği

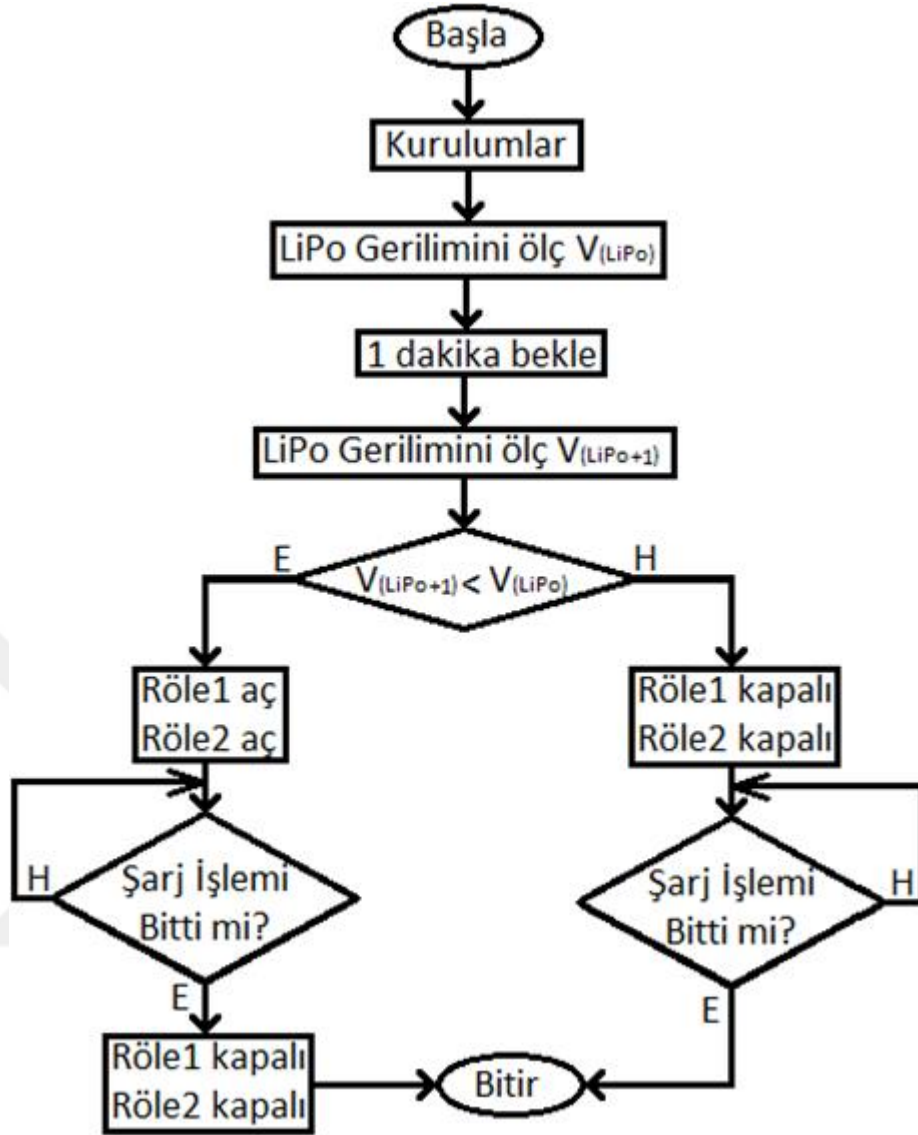
Şekil 5.4.'de şarj pisti üzerinde yapılan donanımsal değişiklikler gösterilmiştir. Bu işlemde şarj pistinin enerji hatlarına iki adet röle bağlanmıştır. Röle, içerisinde bulunan bobinin enerji alması ile kontaklarını açıp kapayabilen bir devre elemanıdır. Bobinin enerjisi kesildiğinde kontaklar ilk konumuna tekrar döner. Bu şekilde röle, anahtar görevi görebilmektedir. Şarj pistine bağlı olan röleler ile şarj işlemi esnasında anahtarlama işlemi yapılarak enerji hatlarının değiştirilmesi sağlanmıştır. Enerji hatlarının değişimi işleminde sol taraftaki hatlar sabit bırakılıp sağ taraftaki enerji hatları değiştirilmiştir. Şarj pistindeki yapısal değişiklik, şarj işleminin bitiminde sonra tekrar eski haline getirilmiştir. Şarj pisti bağlantılarında, sol tarafta kalan kısım direk olarak enerji kaynağından beslenirken sağ taraf ise enerji kaynağı ve röleler üzerinden beslenmiştir. Yapılan bağlantı işlemlerinde;

- 1.Röle'nin "COM" girişine, (+) şarj pisti hattı,
- 1.Röle'nin "NC, Normally Closed" girişine, (+) Güç Hattı,
- 1.Röle'nin "NO, Normally Open" girişine, (-) Güç Hattı,
- 2.Röle'nin "COM" girişine, (-) şarj pisti hattı,
- 2.Röle'nin "NC, Normally Closed" girişine, (-) Güç Hattı,
- 2.Röle'nin "NO, Normally Open" girişine, (+) Güç Hattı bağlanmıştır.

Şarj işlemi esnasında şarj pistinin yapısının değiştirilmesine ait akış diyagramı Şekil 5.5.'de verilmiştir. Akış diyagramının ilk adımında, şarj pisti üzerine inen İHA'nın bataryasının şarj işlemi ile ilgili gerekli kurulumlar yapılmakta ve röleler kapalı halde bulunmaktadır. Yapılan donanımsal kurulumlardan sonra şarj işlemi başlatılmakta ve LiPo bataryasının hücrelerinin değeri BMS kartı ile ölçülmektedir (V_{LiPo}). Sonraki adımda bir dakika bekledikten sonra tekrar hücrelerin gerilim ölçümü (V_{LiPo+1}) yapılmaktadır. Yapılan iki ölçüm, (V_{LiPo} , V_{LiPo+1}) karşılaştırılmaktadır. İkinci yapılan ölçümün daha büyük olması halinde şarj işleminin başlamış olduğu belirlenmekte ve rölelerde herhangi bir değişiklik yapılmamaktadır. Bu durum şarj işleminin bitimine kadar devam etmektedir. İkinci yapılan ölçümün daha küçük olması durumunda şarj işleminin yapılmadığı belirlenmekte ve röleler açılarak şarj pistinin sağ tarafındaki enerji hatlarının yer değiştirilmesi sağlanmaktadır. Şarj işleminin bitiminden sonra röleler kapatılarak enerji hatları eski durumlarına getirilmektedir.



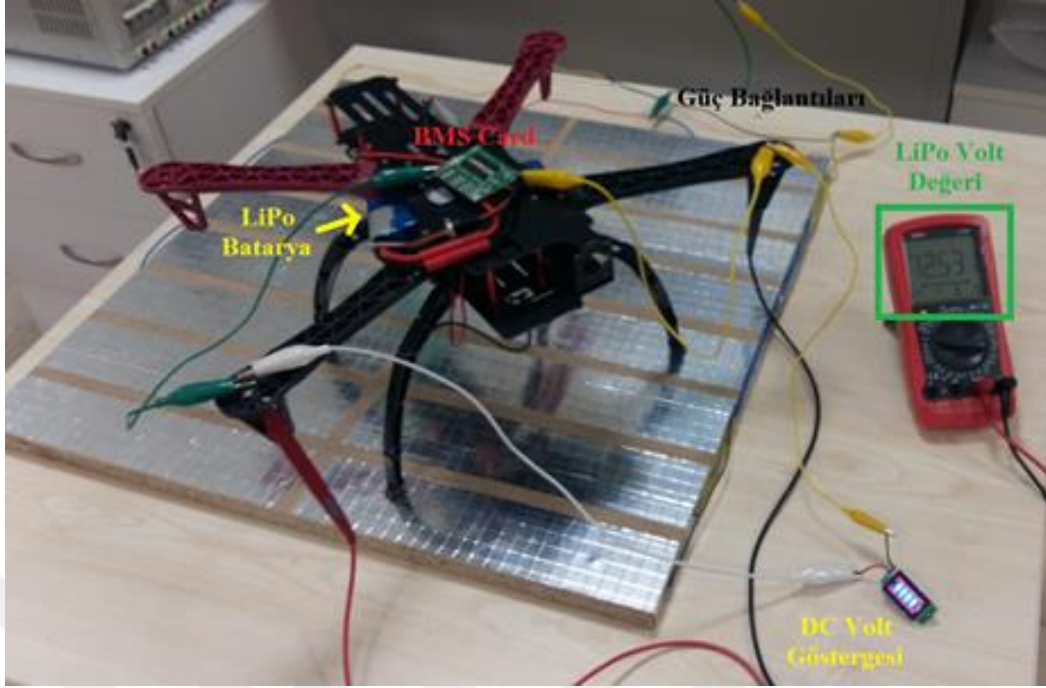
Şekil 5.4. Şarj Pistinin Donanımsal Değişikliği



Şekil 5.5. Şarj Pisti Çalışmasının Akış Diyagramı

5.3. LiPo Bataryasının BMS Modülü ve Şarj Pisti ile Şarj Edilmesi

LiPo bataryasının, BMS modülü ve şarj pisti ile şarj edilmesi için yapılan test işlemi Şekil 5.6.'da verilmiştir. Şarj pistine DC güç kaynağı ile enerji verilmiş ve bakır konektörler ile BMS kartına enerji akışı sağlanmıştır. BMS kartı üzerinden gelen enerji ile LiPo bataryasının dengeli şarj işlemi gerçekleştirilmiştir. LiPo bataryasının şekildeki anlık gerilim değeri, “12.531 V” olarak ölçülmüştür.

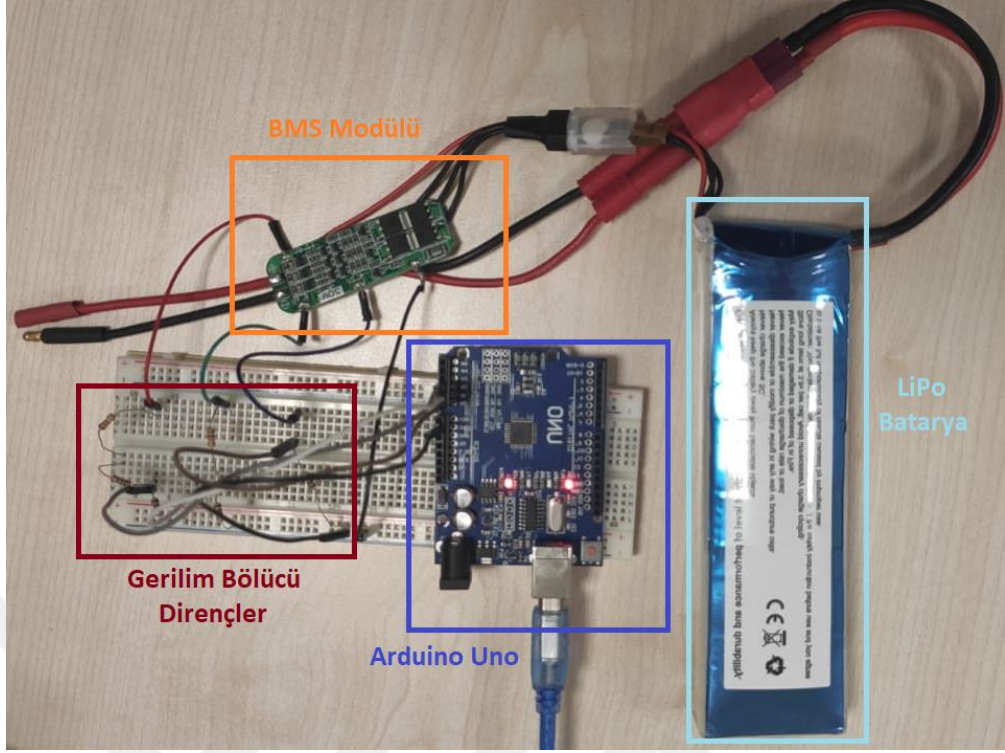


Şekil 5.6. BMS Kartı ve Şarj Pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi

5.4. LiPo Bataryasının Hücre Bilgilerinin Arduino ile Takip Edilmesi

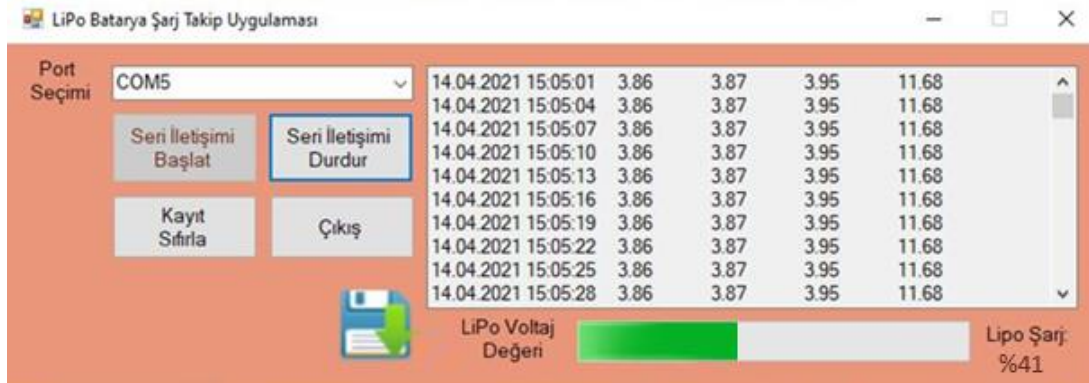
Şarj işlemleri esnasında LiPo bataryasının hücre gerilim değerlerini takip etmek amacıyla bir arayüz geliştirilmiştir. C# programlama dili ile geliştirilen arayüzde anlık olarak LiPo bataryasının hücrel ve toplam gerilim değerleri kullanıcıya gösterilmektedir. LiPo bataryasının hücre gerilim değerlerini anlık takip etme işleminde kullanılan arayüz ile anlık takip işleminde kullanılan elektronik devre Şekil 5.7.'de verilmiştir.

BMS kartı aracılığıyla alınan batarya gerilim değerleri, gerilim bölücü devre üzerinden Arduino Uno kartının analog girişlerine aktarılmaktadır. Arduino kartı ile yapılan analog dijital dönüşüm işlemleri üzerinden bataryanın hücrel ve toplam gerilim değerleri elde edilmektedir. Bu değerler kullanıcı arayüzüne aktarılmaktadır. Arduino ile arayüz uygulaması arasında veri alışverişi yapmak amacıyla seri haberleşme protokolü kullanılmıştır. Arayüz çalışırken ilk adımda, Arduino Uno kartı ile seri port bağlantısı kurulmakta daha sonra batarya verileri, 2 sn. aralıklarla Arduino aracılığıyla arayüze gönderilmektedir.



Şekil 5.7. Şarj Takip Devresi

Anlık takip işlemini yapılabilmesi amacıyla arayüze gönderilen batarya gerilim değerlerine güncel tarih ve saat verileri de eklenmektedir. Bu sayede şarj işleminin anlık takibi yapılmaktadır. Elde edilen veri satırı, Şekil 5.8.'de gösterilen arayüz ekranı üzerinden kullanıcıya aktarılmaktadır. Arayüzde sırasıyla tarih, saat, 1.Hücre, 2.Hücre, 3.Hücre ve toplam batarya gerilim değerleri verilmektedir.



Şekil 5.8. Arayüz ile Batarya Hücrelerinin Takibi

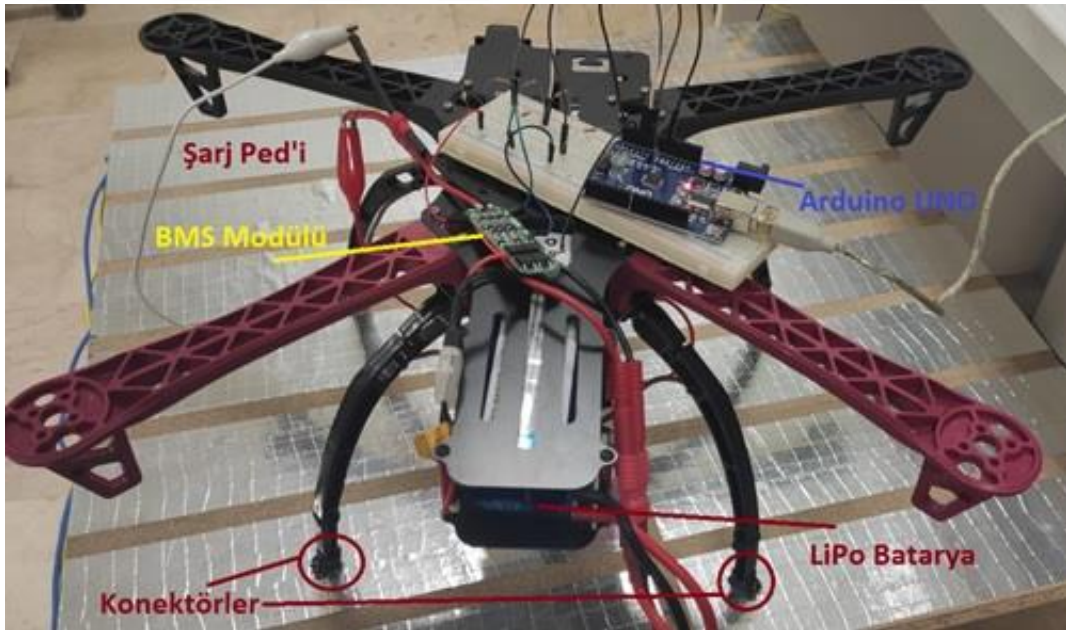
Arayüz üzerinden LiPo bataryasının yüzdellik gerilim değeri de gösterilmektedir. Yüzdellik oran formülü Denklem 5.1.'de verilmiştir. Test işlemlerinde, LiPo

bataryalardaki en kritik değerler oldukları için alt sınır 11.1 Volt, üst sınır 12.6 Volt olarak alınmıştır. Şarj işleminin bitiminde seri port iletişimi durdurulmakta ve kullanıcı tarafında veriler kaydedilmektedir.

$$LiPo\% = \frac{V_{LiPo} - V_{AltSeviye}}{V_{UstSeviye} - V_{AltSeviye}} \times 100 \quad (5.1.)$$

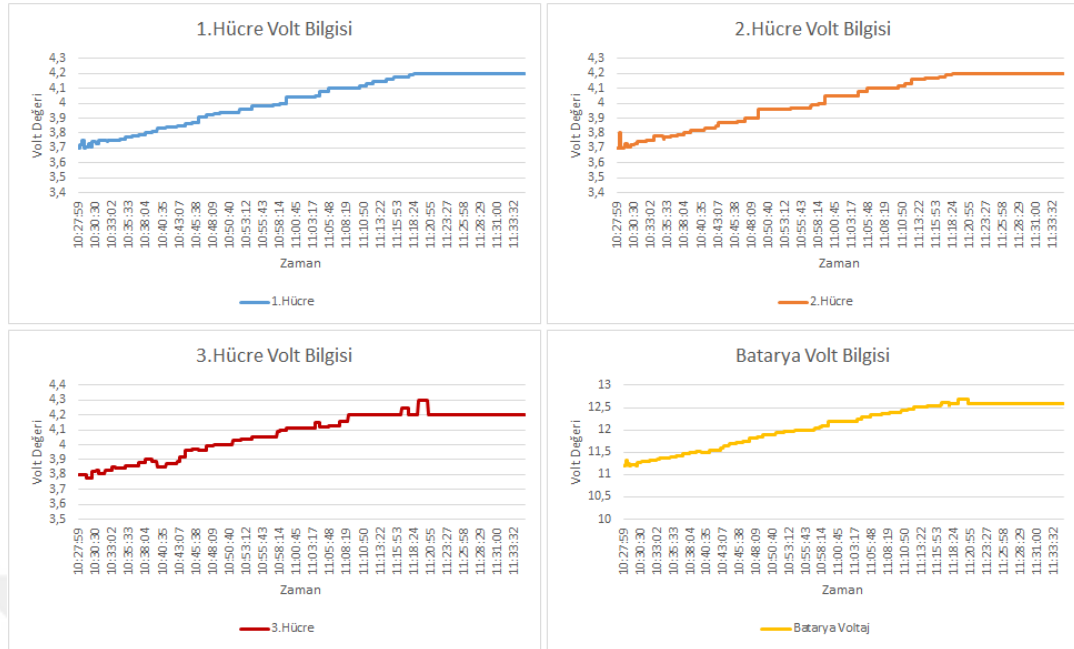
5.5. LiPo Bataryasının Gerçek Zamanlı Olarak Takip Edilmesi

Bu test çalışmasında, önceki testlerin birleştirilmesi sonucunda gerçek zamanlı şarj takip sistemi gerçekleştirilmiştir. LiPo bataryasının şarj pisti aracılığıyla şarj edilmesi esnasında batarya gerilim değerlerinin anlık takibine yönelik olarak yapılan test işleminin Şekil 5.9.'da verilmiştir. BMS modülü ile LiPo batarya dengeli olarak şarj edilirken eşzamanlı olarak batarya hücrelerinin gerilim değerleri Arduino kartına gönderilmektedir. Arduino kartı üzerinden elde edilen veriler kullanıcıya aktarılmış ve şarj işleminin bitiminde sonra veriler kayıt altına alınmıştır. Kaydedilen veriler üzerinden elde edilen grafikler ile şarj işlemi süreci kullanıcıya aktarılmıştır.



Şekil 5.9. Batarya Şarj ve Anlık Hücre Voltajı Takip Sistemi

Şekil 5.10.'da sırasıyla, 1.hücre, 2.hücre, 3.hücre ve toplam gerilim değerlerine ait şarj grafikleri verilmiştir.

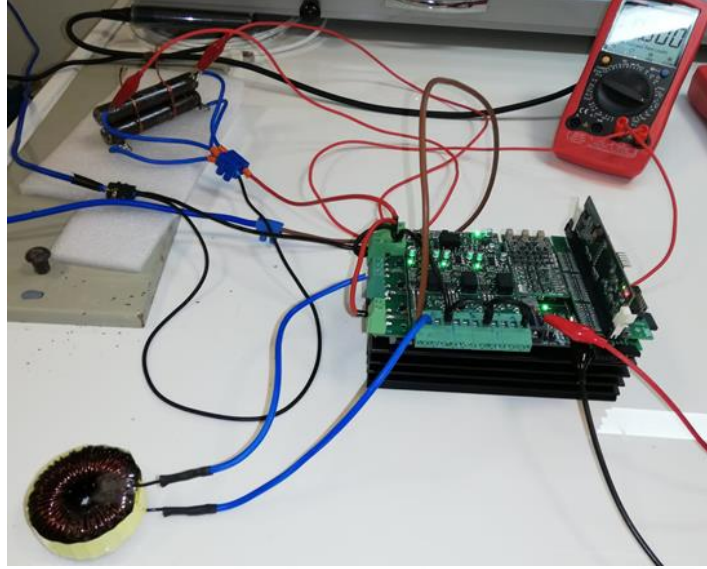


Şekil 5.10. LiPo Batarya Şarj Grafikleri

5.6. Elektronik Kartların Geliştirilmesi ve Test Edilmesi

Tez çalışması kapsamında şarj istasyonu içerisindeki donanımsal sistemi kontrol etmek amacıyla tasarlanan elektronik kartlar, sarf malzemelerin eklenmesinden sonra tamamlanmış ve test işlemlerine başlanmıştır. Elektronik kartlar ile DSP programlama işlemi, akım ve gerilim ölçümleri, donanım kalibrasyonları gibi test uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Test işlemleri sırasında kartlar üzerinde bazı hatalar tespit edilmiş ve düzeltilmiştir. Geliştirilen elektronik kartlar üzerinden yapılan uygulama çalışmaları, Şekil 5.11.'de verilmiştir. Yapılan donanımsal uygulamalar ile DSP kartlarının başarımları ve kullanılabilirlikleri test edilmiştir.

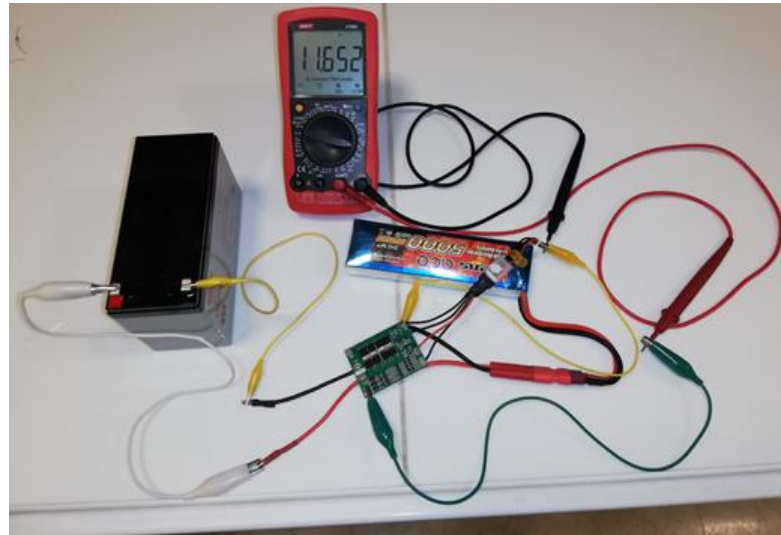
Yapılan benzetim çalışmalarının test edilmesi için ana kart üzerinde bulunan 3 adet faz çıkışı kullanılmıştır. Bu faz çıkışlarına sırasıyla PV panel, akü batarya ve LiPo batarya bağlanmıştır. PSIM programı üzerinden benzetim çalışmalarına ait kodlar oluşturulmuş ve daha sonra oluşturulan bu kodlar Code Composer Studio programı ile DSP kartına yüklenmiştir. Faz çıkışları üzerinden donanımlar ile ilgili uygulamalar tek tek gerçekleştirilerek ilgili donanımlar kontrol edilmiştir. Bu test uygulamalarında benzetim çalışmalarında elde edilen başarımlar ve geliştirilen elektronik kartlar test edilmiştir.



Şekil 5.11. Elektronik Kartlarının Test İşlemi

5.7. Akü Bataryası ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi

Tez çalışması kapsamında kullanılan enerji kaynaklarından bir tanesi olan Akü batarya üzerinden LiPo bataryasının şarj edilmesi işlemi, Şekil 5.12.'de gösterilmiştir. Önceki testlerde kullanılan DC kaynak yerine akü batarya kullanılmış ve BMS modülü üzerinden LiPo bataryasının dengeli bir şekilde şarj edilmesi sağlanmıştır. Yapılan test işlemlerinde LiPo bataryasının anlık gerilim değeri “11.652 V” olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.12. Akü Bataryası ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi

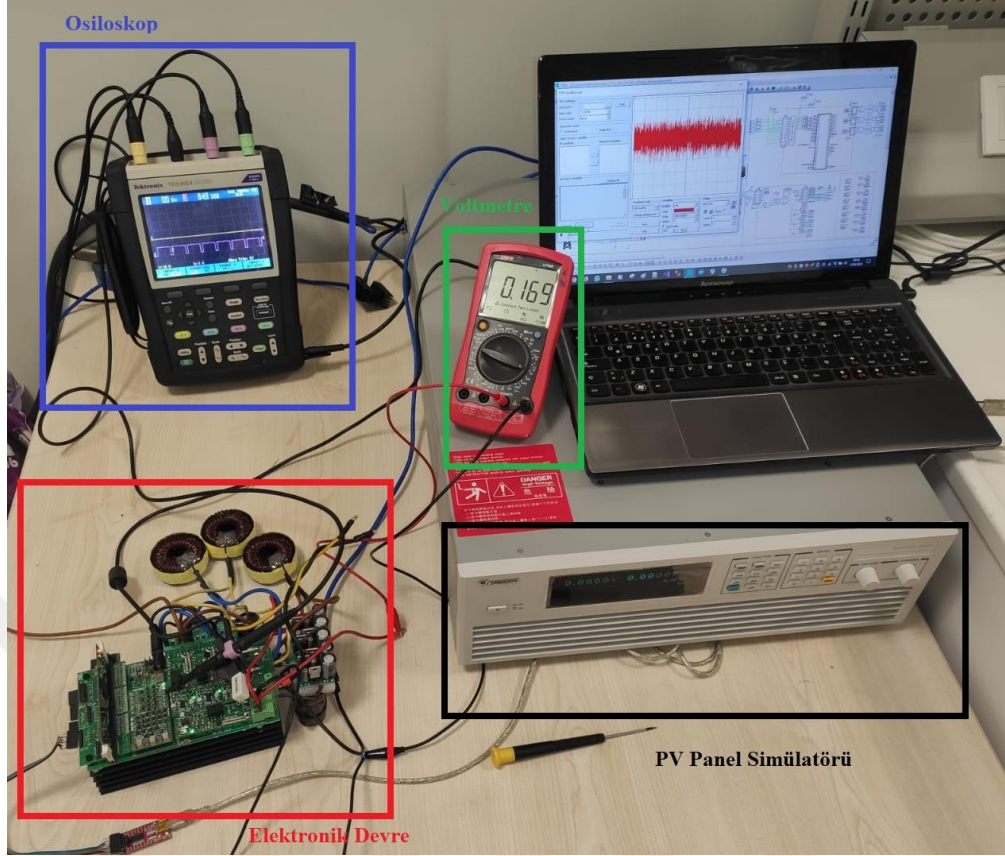
5.8. PV Panel ile Enerji Elde Edilmesi

PV panel ile yapılan benzetim çalışmalarından başarılı sonuçların elde edilmesinden sonra donanımsal test çalışmalarına geçilmiştir. Yapılan ilk test çalışmasında, PV panel üzerinden DC barayı beslemek için kullanılacak olan 24 Volt'luk gerilim değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Bu test çalışmasıyla şarj istasyonu için kullanılacak enerjinin karşılanması ve bu sayede LiPo ve akü bataryalarının şarj edilmesi sağlanacaktır.

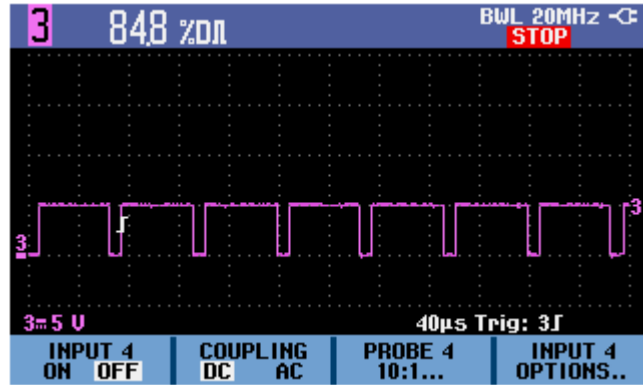
Test işlemlerinde kararsızlığın ortadan kaldırılması ve anında müdahale edilebilmesi amacıyla donanımsal PV paneller yerine "Chroma Model 62000H-S" isimli PV panel simülatörü kullanılmıştır. PV panel simülatörü son derece kararlı ve hızlı bir geçici tepki tasarımına sahip olduğu için test çalışmalarında tercih edilmiştir. Test işlemlerinde farklı gerilim ve akım değerleri verilerek geliştirilen elektronik kartın ve benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Şekil 5.13.'de gerçekleştirilen test çalışması gösterilmiştir. Test çalışmasında PV panel simülatöründen enerji verilmemiş ve donanımsal sistemin verdiği tepki gösterilmiştir. Şekilde bulunan voltmetre DC baranın anlık gerilim değerini göstermektedir. Bu test çalışmasında sistemin, enerji yokken verdiği tepki gösterilmiştir.

Şekil 5.14.'de osiloskoptan alınan sinyal görüntüsü verilmiştir. Sinyal görüntüsünde osiloskobun 3.kanallına bağlı olan duty cycle (doluluk boşluk oranı) değeri görülmektedir. Duty Cycle değeri, benzetim çalışmasında (Min:%15 ve Max:%85) ayarlanmıştır. Şekilde yaklaşık olarak %85'lik bir duty cycle değeri görülmektedir. Bu durum verilen gerilimin düşük olduğunu ve geliştirilen algoritmanın gerilimi arttırmaya yönelik olarak çalıştığını göstermektedir.



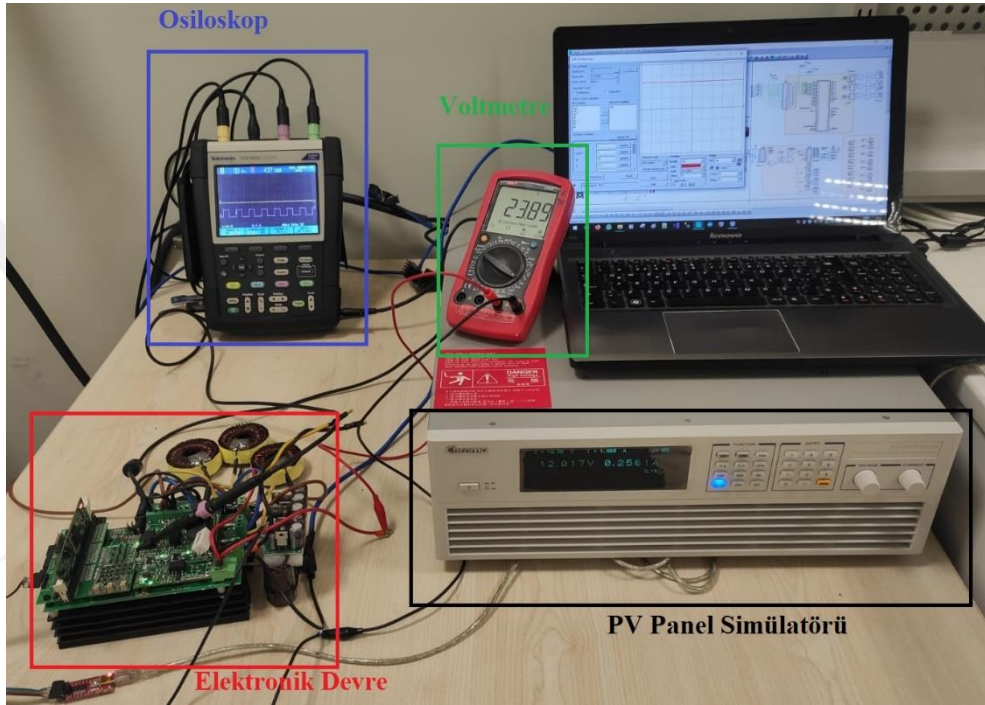
Şekil 5.13. PV Panel - DC Bara Test Çalışması (Sistem Boşta - Test 1)



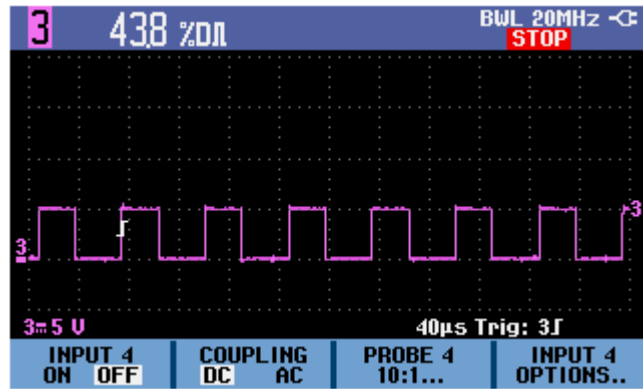
Şekil 5.14. PV Panel - DC Bara Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Boşta - Test 1)

Şekil 5.15.'de gerçekleştirilen test çalışmasında PV panel simülatöründen enerji verilmiş ve donanımsal sistemin verdiği tepki gösterilmiştir. Şekilde bulunan voltmetre DC baranın anlık gerilim değeri "**23.89 Volt**" olarak görülmektedir. PV panel simülatöründen çekilen anlık akım değeri yaklaşık "**0.25 Amper**", gerilim değeri ise yaklaşık "**12 Volt**" olarak görülmektedir. Bu test çalışmasında sistemin, enerji varken verdiği tepki gösterilmiştir.

Şekil 5.16.'da osiloskoptan alınan sinyal görüntüsü verilmiştir. Şekilde %43.6'lık bir duty cycle değeri görülmektedir. Bu duty cycle değerinin PV panel üzerinden anlık olarak verilen gerilim ve akım değerlerinin DC baraya 24 Volt verilebilmesi için yeterli olduğunu göstermektedir. Bu durum algoritmanın doğru bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

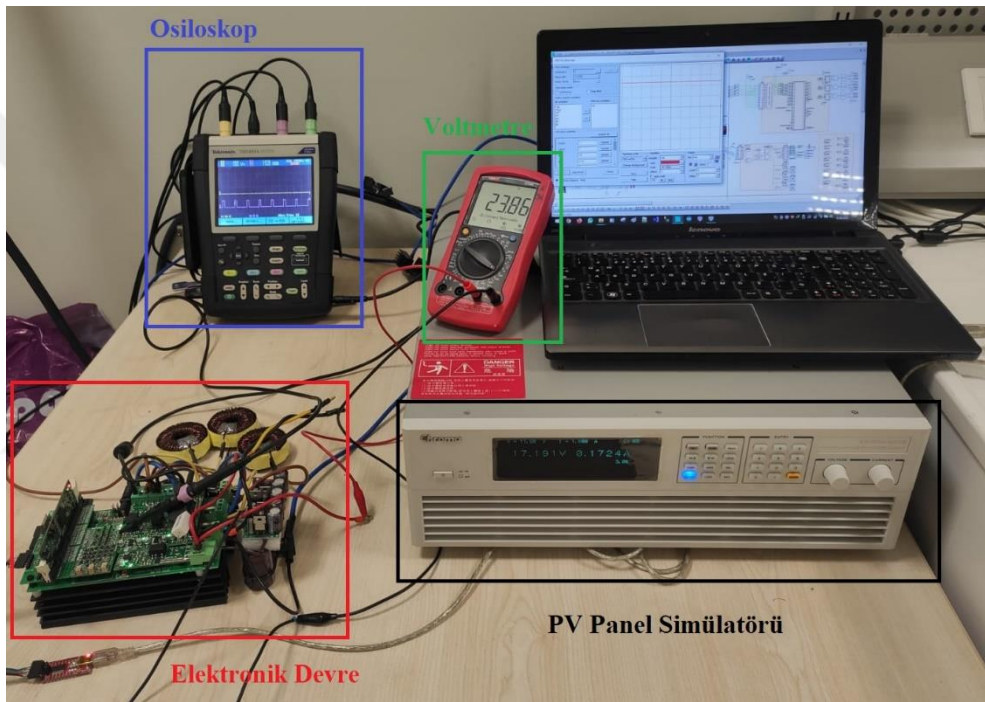


Şekil 5.15. PV Panel - DC Bara Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 2)

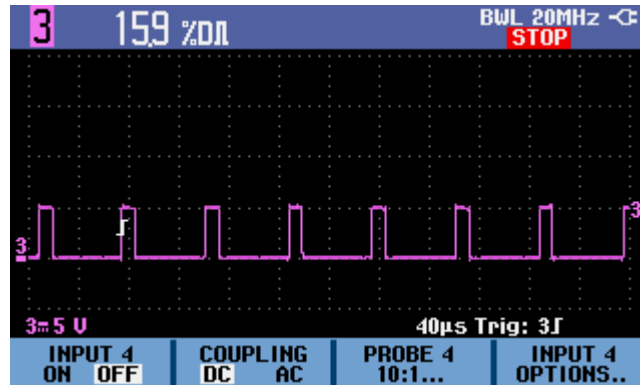


Şekil 5.16. PV Panel - DC Bara Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 2)

Şekil 5.17.'de gerçekleştirilen test çalışmasında PV panel simülatöründen farklı gerilim ve akım değerleri verilmiş ve donanımsal sistemin verdiği tepki gösterilmiştir. Şekilde bulunan voltmetre DC baranın anlık gerilim değeri “**23.86 Volt**” olarak görülmektedir. PV panel simülatöründen çekilen anlık akım değeri yaklaşık “**0.17 Amper**”, gerilim değeri ise yaklaşık “**17 Volt**” olarak görülmektedir. Şekil 5.18.'de osiloskopta %15.9'luk bir duty cycle değeri görülmektedir. Bu duty cycle değeri, anlık olarak verilen gerilim ve akım değerlerinin DC baraya 24 Volt verilebilmesi için yeterli olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.17. PV Panel - DC Bara Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 3)



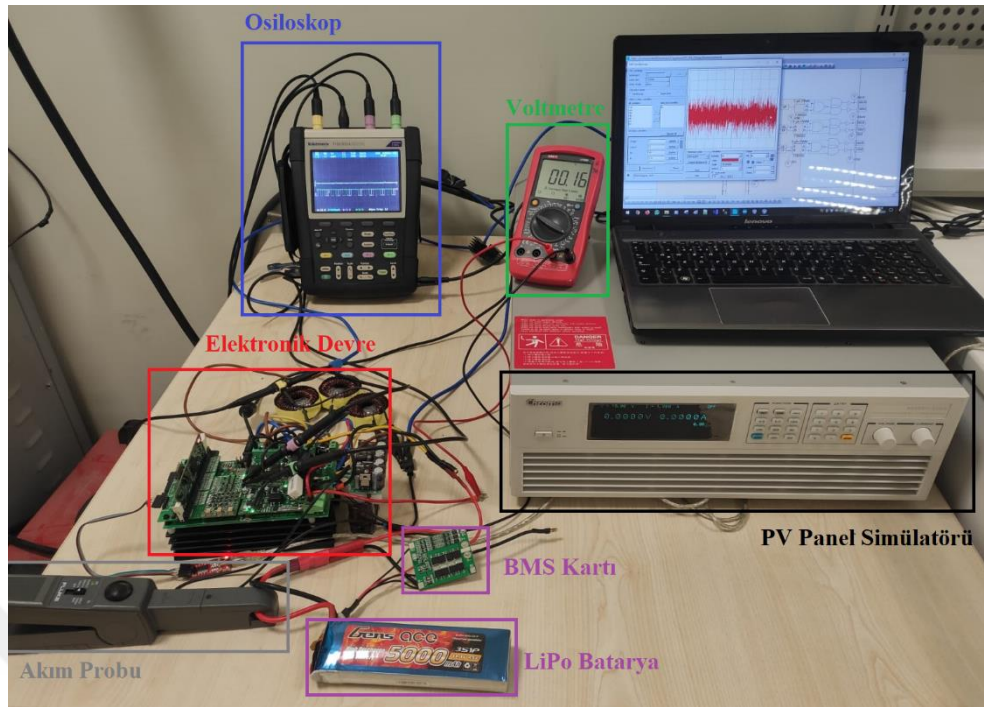
Şekil 5.18. PV Panel - DC Bara Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 3)

5.9. PV Panel ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi

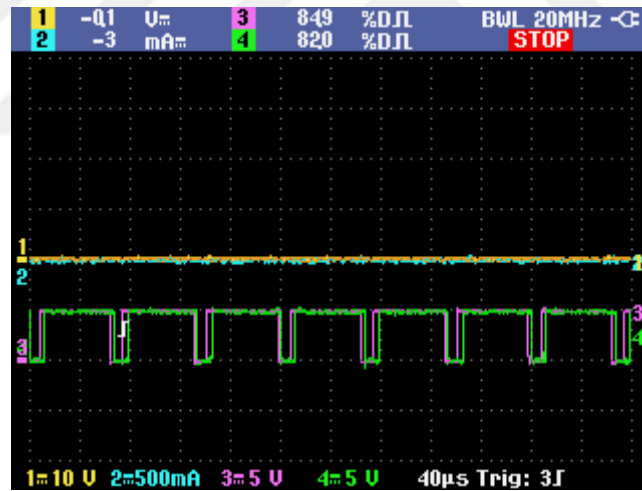
PV panel ile yapılan test çalışmalarında DC bara için gerekli olan 24 Volt'luk gerilim değerinin elde edilmesinin ardında LiPo bataryasının şarj edilmesi ile ilgili test çalışmalarına geçilmiştir. Test çalışmalarında PV panel simülatörü üzerinden LiPo bataryasının şarj edilmesi için gereken akım ve gerilim değerleri elde edilmiştir. LiPo bataryasının test işleminde çektiği anlık akım değeri ile benzetim çalışmalarında verilen referans akım değerlerinin aynı olup olmadığı kontrol edilerek geliştirilen algoritmanın çalışma durumu kontrol edilmiştir.

Şekil 5.19.'da PV panel ve LiPo batarya ile gerçekleştirilen test çalışması gösterilmiştir. Test çalışmalarının ilk aşamasında PV panel simülatöründen enerji verilmemiş ve donanımsal sistemin verdiği tepki gösterilmiştir. Şekilde bulunan voltmetrede DC baranın anlık gerilim değeri gösterilirken, osiloskopta ise PV panel ve LiPo batarya gerilimleri ile duty cycle değerleri görülmektedir. Bu test çalışmasında sistemin, enerji yokken verdiği tepki gösterilmiştir.

Şekil 5.20.'de test işlemi sırasında osiloskoptan alınan sinyal görüntüleri verilmiştir. Sinyal görüntüsünde, osiloskobun 1.kanalında PV panel gerilim değeri, 2.kanalında PV panel duty cycle değeri, 3.kanalında LiPo bataryanın çektiği akım değeri ve 4.kanalında ile LiPo batarya duty cycle değeri görülmektedir. Sistem boştaki için 1. ve 3. kanalda yaklaşık 0 gibi bir değer görülmektedir. 2. ve 4. kanaldaki duty cycle değerlerinde ise yaklaşık olarak %85'lik bir değer görülmektedir. Duty cycle değeri, PV panel - LiPo batarya benzetim çalışmasında (Min:%15 ve Max:%85) ayarlanmıştır. Bu durum verilen gerilimin düşük olduğunu ve algoritmanın gerilimi yükseltmeye yönelik olarak çalıştığını göstermektedir.



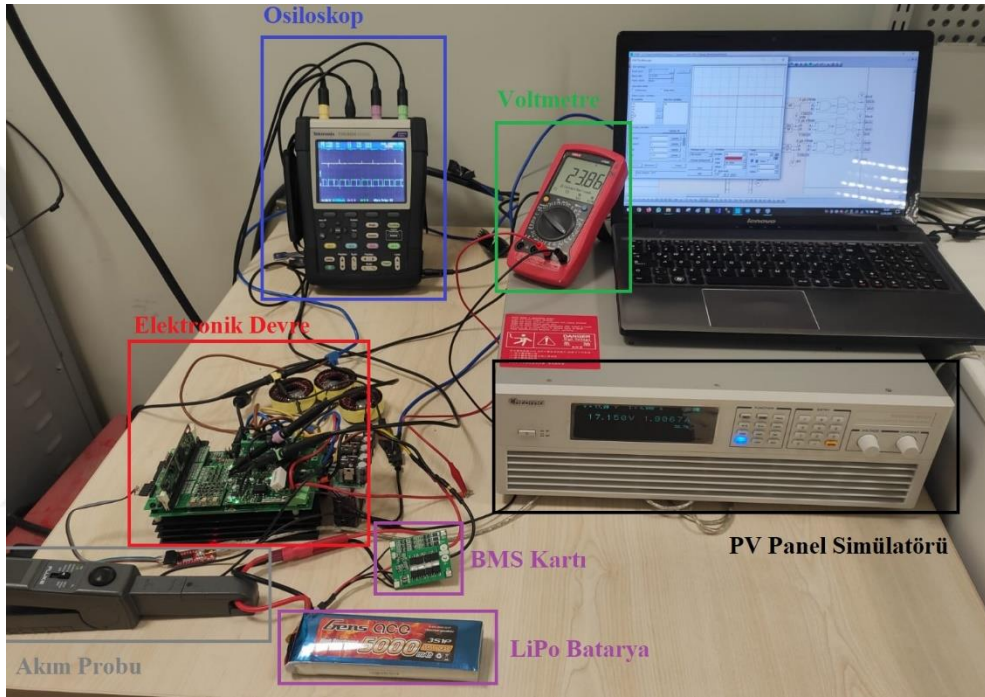
Şekil 5.19. PV Panel -LiPo Batarya Test Çalışması (Sistem Boşta - Test 1)



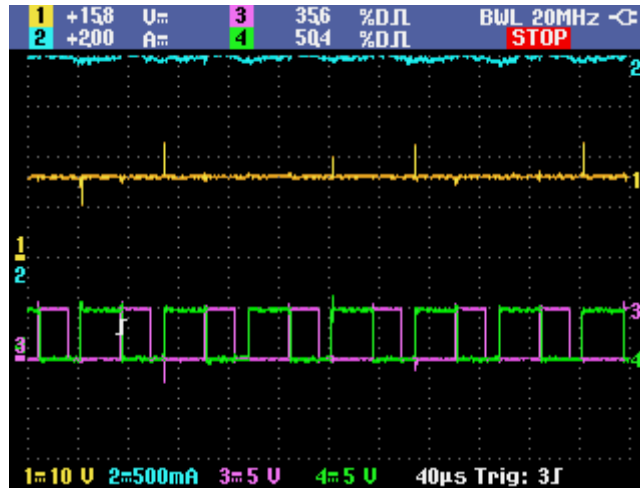
Şekil 5.20. PV Panel - LiPo Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Boşta - Test 1)

Şekil 5.21.'de gerçekleştirilen test çalışmasında PV panel simülâtöründen enerji verilmiş ve donanımsal sistemin verdiği tepki gösterilmiştir. Bu test çalışmasında, LiPo bataryasının referans akım değeri 2 Amper olarak ayarlanmış ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekilde bulunan voltmetre DC baranın anlık gerilim değeri “**23.86 Volt**” olarak görülmektedir. PV panel simülâtöründen çekilen anlık akım değeri yaklaşık “**2 Amper**”, gerilim değeri ise yaklaşık “**17.2 Volt**” olarak görülmektedir. Bu test çalışmasında sistemin, enerji varken verdiği tepki gösterilmiştir.

Şekil 5.22.'de osiloskoptan alınan sinyal görüntüleri verilmiştir. Osiloskobun 1.kanalındaki PV panel gerilim değeri 16 Volt, 2.kanalındaki PV duty cycle değeri %35.6, 3.kanalındaki LiPo batarya akım değeri 2 Amper ve 4.kanalındaki LiPo duty cycle değeri %50.4 olarak görülmektedir. LiPo bataryanın referans akım değeri ile test sonucunda ölçülen akım değerinin aynı olması yapılan test çalışmasının başarılı olduğunu göstermektedir. Bu durum algoritmanın doğru bir şekilde çalıştığını göstermektedir.



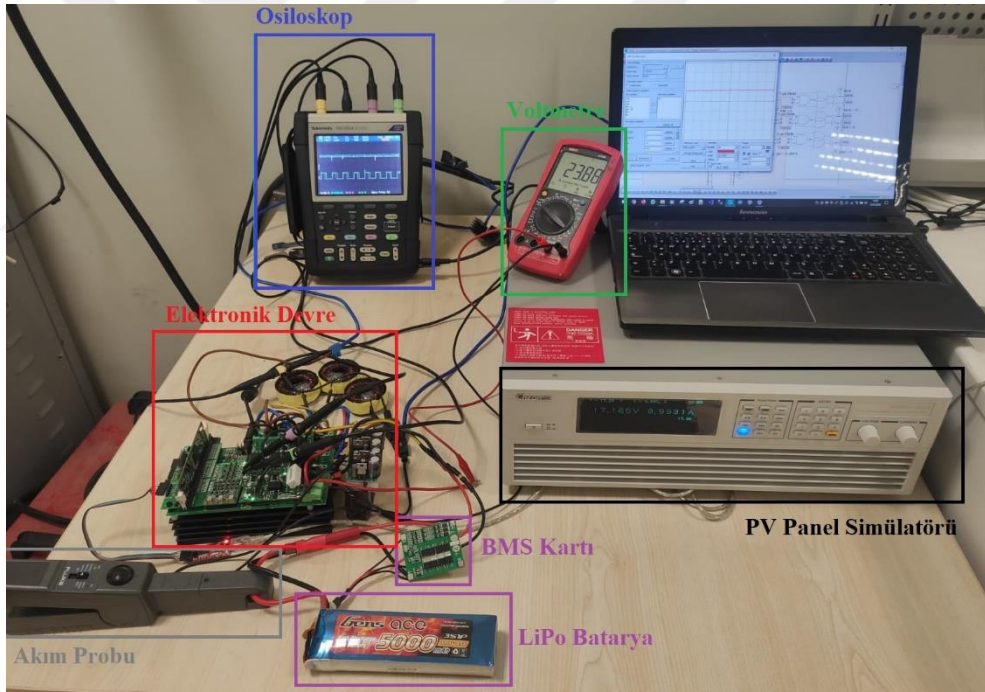
Şekil 5.21. PV Panel - LiPo Batarya Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 2)



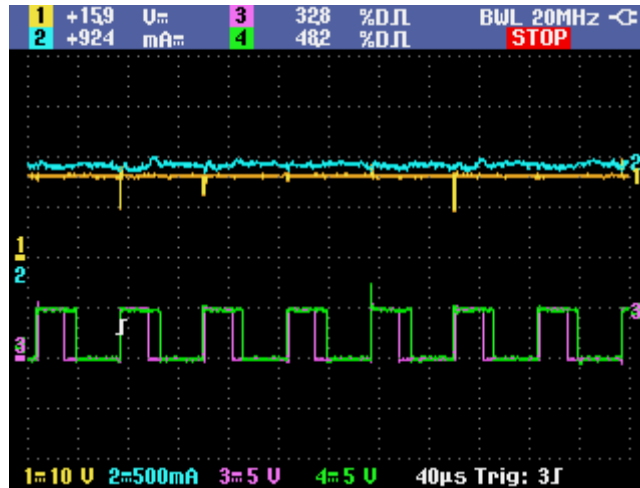
Şekil 5.22. PV Panel - LiPo Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 2)

Şekil 5.23.'de gerçekleştirilen test çalışmasında, LiPo bataryasının referans akım değeri 1 Amper olarak ayarlanmış ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekilde bulunan voltmetre DC baranın anlık gerilim değeri “**23.88 Volt**” olarak görülmektedir. PV panel simülatöründen çekilen anlık akım değeri yaklaşık “**1 Amper**”, gerilim değeri ise yaklaşık “**17.2 Volt**” olarak görülmektedir.

Şekil 5.24.'deki osiloskobun 1.kanalındaki PV panel gerilim değeri 16 Volt, 2.kanalındaki PV panel duty cycle değeri %32.8, 3.kanalındaki LiPo batarya akım değeri yaklaşık 1 Amper ve 4.kanalındaki LiPo duty cycle değeri %48.2 olarak görülmektedir. Bu test çalışması, geliştirilen algoritmanın farklı şarj akımı değerleri karşısında gösterdiği tepkiyi ölçmek için yapılmış ve LiPo bataryasının farklı değerlerde de doğru bir şekilde şarj edilebilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.



Şekil 5.23. PV Panel - LiPo Batarya Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 2)



Şekil 5.24. PV Panel - LiPo Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 3)

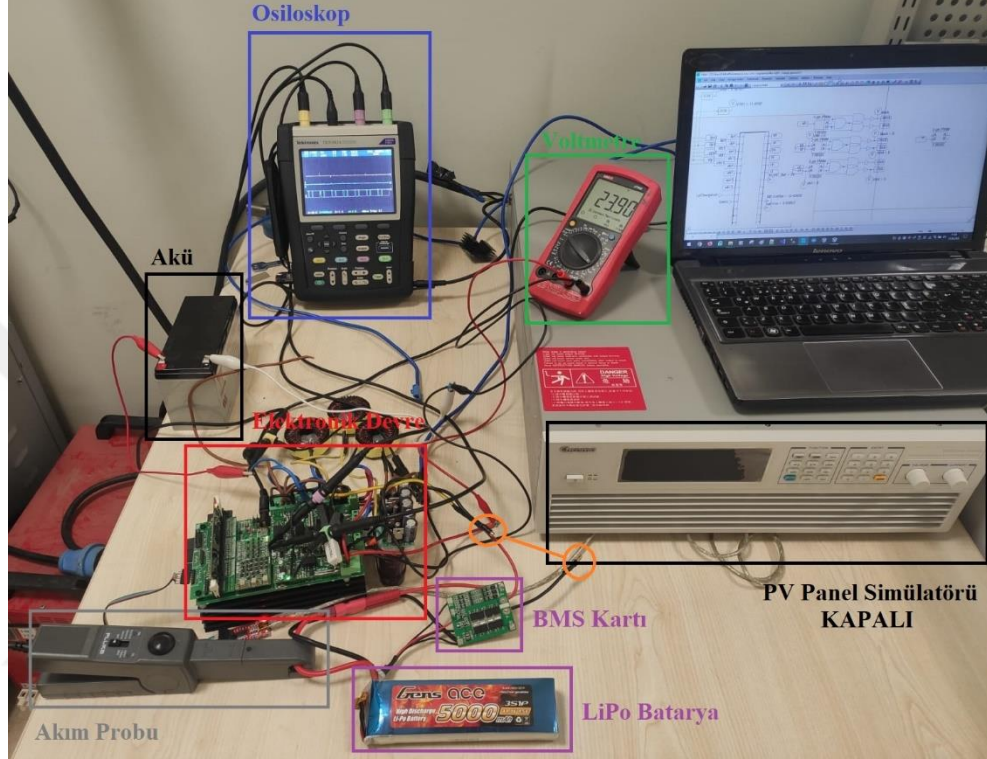
5.10. Akü Batarya ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi

PV panel ile yapılan test çalışmalarının ardından akü batarya üzerinden LiPo bataryasının şarj edilmesine yönelik test işlemlerine geçilmiştir. Test çalışmalarında akü batarya üzerinden LiPo bataryasının şarj edilmesi için gereken akım ve gerilim değerleri elde edilmiştir. LiPo bataryasının test işleminde çektiği anlık akım değeri ile benzetim çalışmalarında verilen referans akım değerlerinin aynı olup olmadığı kontrol edilerek geliştirilen algoritmanın çalışma durumu kontrol edilmiştir.

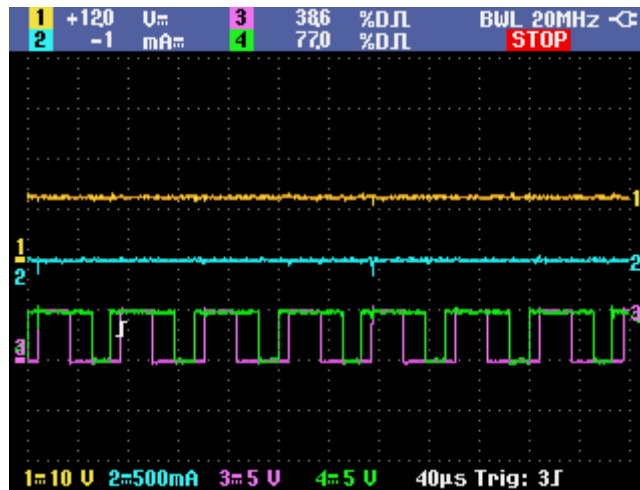
Şekil 5.25.'de akü batarya ve LiPo batarya ile gerçekleştirilen test çalışması gösterilmiştir. Test çalışmalarının ilk aşamasında akü bataryasından enerji verilmiş fakat LiPo batarya bağlanmamıştır. Bu durumdayken donanımsal sistemin verdiği tepki gösterilmiştir. Şekilde bulunan voltmetrede DC baranın anlık gerilim değeri "23.90 Volt" olarak görülürken, osiloskopta ise akü batarya gerilimi, LiPo batarya akımı ve duty cycle değerleri gösterilmektedir.

Şekil 5.26.'da test işlemi sırasında osiloskoptan alınan sinyal görüntüleri verilmiştir. Sinyal görüntüsünde, osiloskobun 1.kanalında akü gerilim değeri, 2.kanalında akü batarya duty cycle değeri, 3.kanalında LiPo bataryanın çektiği akım değeri ve 4.kanalında ile LiPo batarya duty cycle değeri görülmektedir. Sistemde ilk aşamada akü bataryadan enerji verildiği için 1.kanalda akü batarya gerilim değeri 12 Volt, 3.

kanalda ise LiPo batarya bağı olmadığı yaklaşık 0 gibi bir akım değeri görülmektedir. 2.kanaldaki akü batarya duty cycle değeri “36.8”, 4.kanaldaki LiPo batarya duty cycle değeri ise %77’lik bir değer görülmektedir. Duty cycle değerleri, akü batarya - LiPo batarya benzetim çalışmasında (Min:%15 ve Max:%85) ayarlanmıştır.



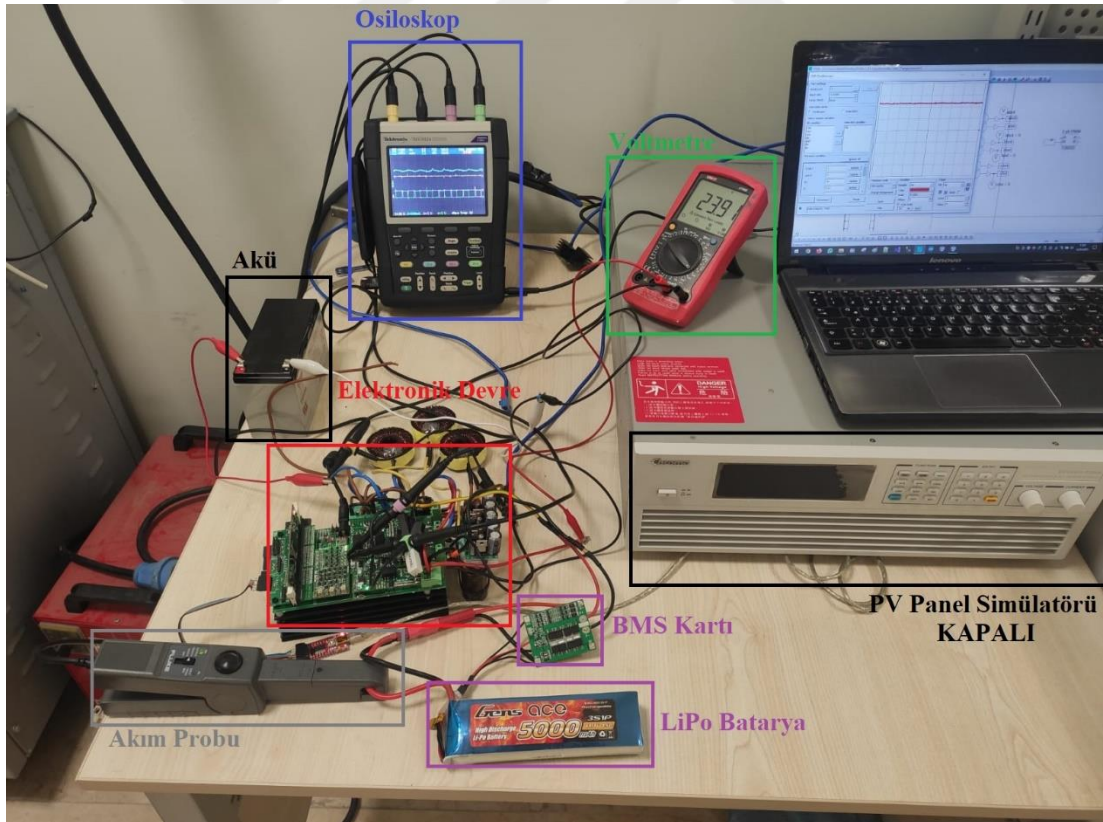
Şekil 5.25. Akü Batarya - LiPo Batarya Test Çalışması (Sistem Boşta - Test 1)



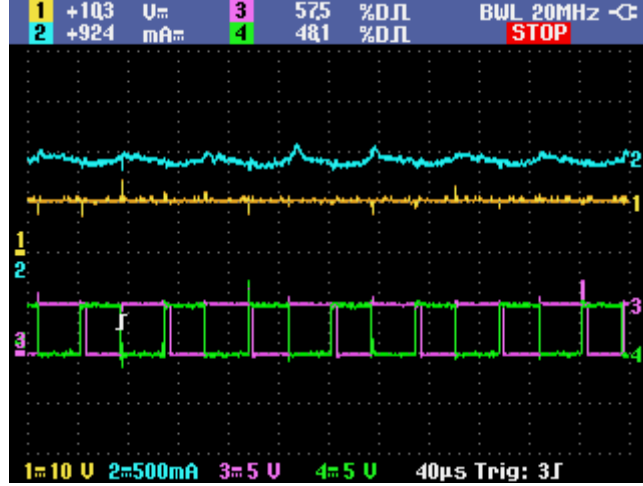
Şekil 5.26. Akü Batarya - LiPo Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Boşta - Test 1)

Şekil 5.27.'de gerçekleştirilen test çalışmasında LiPo bataryası bağlanmış ve donanımsal sistemin verdiği tepki gösterilmiştir. Bu test çalışmasında, LiPo bataryasının referans akım değeri 1 Amper olarak ayarlanmış ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekilde bulunan voltmetre DC baranın anlık gerilim değeri “**23.91 Volt**” olarak görülmektedir. Bu test çalışmasında sistemin, enerji varken verdiği tepki gösterilmiştir.

Şekil 5.28.'deki osiloskobun 1.kanalındaki akü batarya gerilim değeri 10.3 Volt, 2.kanalındaki akü batarya duty cycle değeri %32.8, 3.kanalındaki LiPo batarya akım değeri yaklaşık 1 Amper ve 4.kanalındaki LiPo duty cycle değeri %48.1 olarak görülmektedir. LiPo bataryanın referans akım değeri ile test sonucunda ölçülen akım değerinin aynı olması yapılan test çalışmasının başarılı olduğunu göstermektedir. Bu durum algoritmanın doğru bir şekilde çalıştığını göstermektedir.



Şekil 5.27. Akü Batarya - LiPo Batarya Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 2)



Şekil 5.28. Akü Batarya - LiPo Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 2)

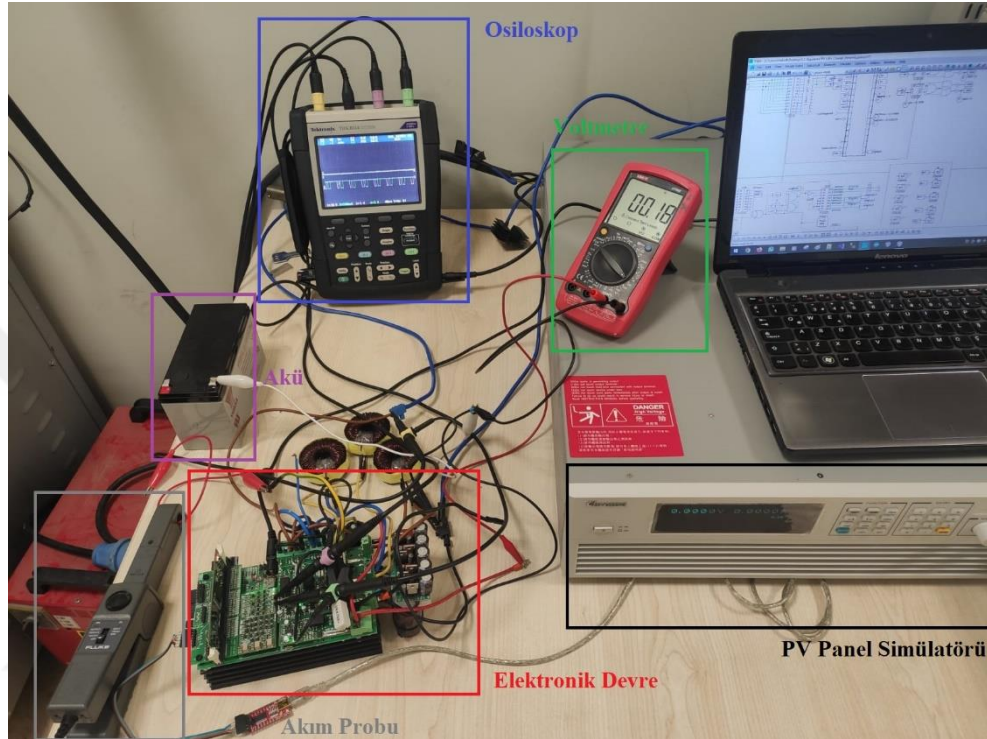
5.11. PV Panel ile Akü Bataryasının Şarj Edilmesi

PV panel ile yapılan test çalışmalarında, LiPo bataryasının şarj işleminden sonra akü bataryasının şarj edilmesi ile ilgili test çalışmalarına geçilmiştir. Test çalışmalarında PV panel simülatörü üzerinden akü bataryasının şarj edilmesi için gereken akım ve gerilim değerleri elde edilmiştir. Akü bataryasının test işleminde çektiği anlık akım değeri ile benzetim çalışmalarında verilen referans akım değerlerinin aynı olup olmadığı kontrol edilerek geliştirilen algoritmanın çalışma durumu kontrol edilmiştir.

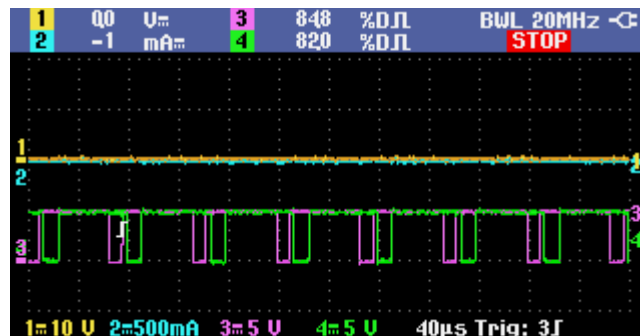
Şekil 5.29.'da PV panel ve akü batarya ile gerçekleştirilen test çalışması gösterilmiştir. Test çalışmalarının ilk aşamasında PV panel simülatöründen enerji verilmemiş ve donanımsal sistemin verdiği tepki gösterilmiştir. Şekilde bulunan voltmetrede DC baranın anlık gerilim değeri gösterilirken, osiloskopta ise PV panel ve akü batarya gerilimleri ile duty cycle değerleri görülmektedir. Bu test çalışmasında sistemin, enerji yokken verdiği tepki gösterilmiştir.

Şekil 5.30.'da test işlemi sırasında osiloskoptan alınan sinyal görüntüleri verilmiştir. Sinyal görüntüsünde, osiloskobun 1.kanalında PV panel gerilim değeri, 2.kanalında PV panel duty cycle değeri, 3.kanalında akü bataryasının çektiği akım değeri ve 4.kanalında ile akü batarya duty cycle değeri görülmektedir. Sistem boşta olduğu için 1. ve 3. kanalda yaklaşık 0 gibi bir değer görülmektedir. 2. ve 4. kanaldaki duty cycle

değerlerinde ise yaklaşık olarak %85’lik bir değer görülmektedir. Duty cycle değerleri, PV panel - akü batarya benzetim çalışmasında (Min:%15 ve Max:%85) ayarlanmıştır. Bu durum verilen gerilimin düşük olduğunu ve algoritmanın gerilimi yükseltmeye yönelik olarak çalıştığını göstermektedir.



Şekil 5.29. PV Panel - Akü Batarya Test Çalışması (Sistem Boşta - Test 1)

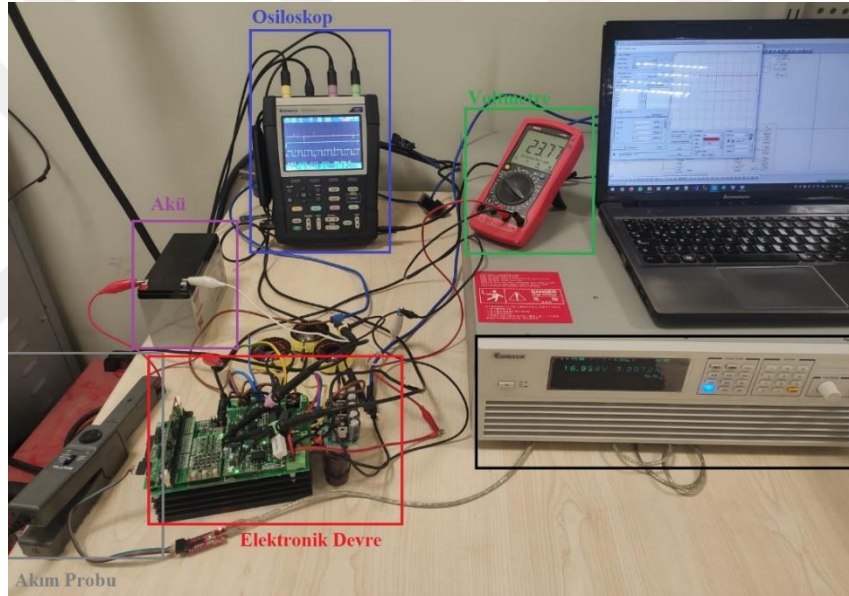


Şekil 5.30. PV Panel - Akü Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Boşta - Test 1)

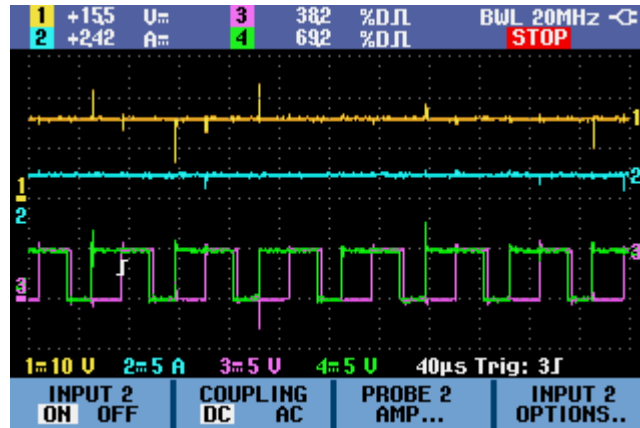
Şekil 5.31.’de gerçekleştirilen test çalışmasında PV panel simülâtöründen enerji verilmiş ve donanımsal sistemin verdiği tepki gösterilmiştir. Bu test çalışmasında, akü bataryasının referans akım değeri 2.25 Amper olarak ayarlanmış ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekilde bulunan voltmetre DC baranın anlık gerilim değeri “23.77

Volt olarak görülmektedir. PV panel simülatöründen çekilen anlık akım değeri yaklaşık **“3 Amper”**, gerilim değeri ise yaklaşık **“17 Volt”** olarak görülmektedir. Bu test çalışmasında sistemin, enerji varken verdiği tepki gösterilmiştir.

Şekil 5.32.'de osiloskoptan alınan sinyal görüntüleri verilmiştir. Osiloskobun 1.kanalındaki PV panel gerilim değeri 15.5 Volt, 2.kanalındaki PV duty cycle değeri %38.2, 3.kanalındaki akü batarya akım değeri 2.42 Amper ve 4.kanalındaki akü duty cycle değeri %69.2 olarak görülmektedir. Akü bataryanın referans akım değeri ile test sonucunda ölçülen akım değerinin yakın olması yapılan test çalışmasının başarılı olduğunu göstermektedir.



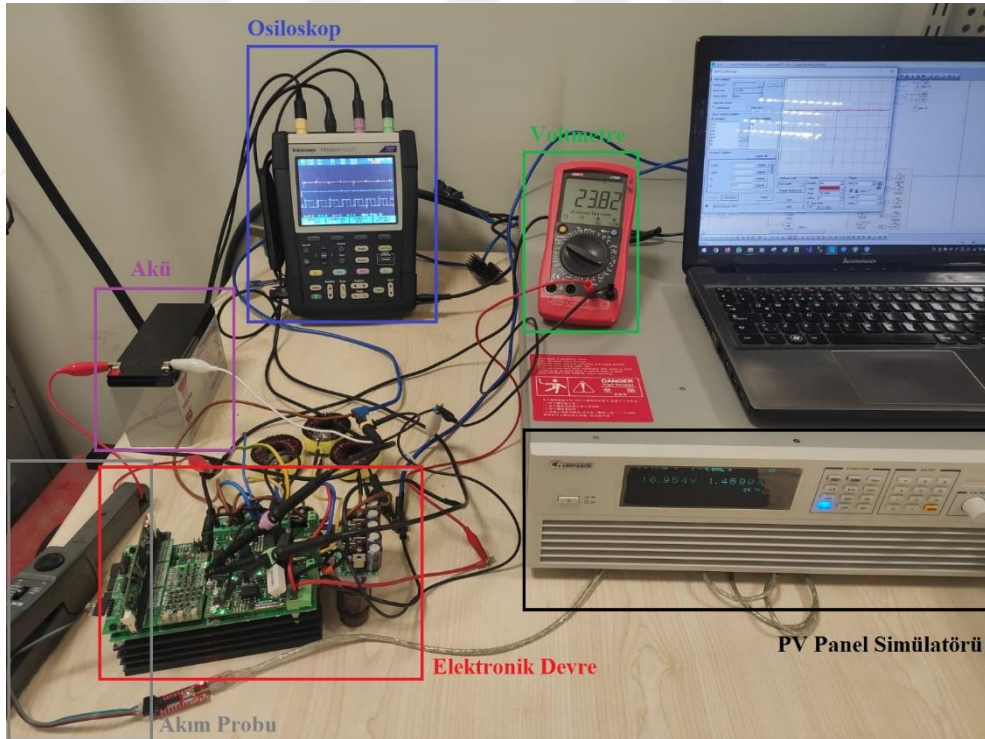
Şekil 5.31. PV Panel - Akü Batarya Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 2)



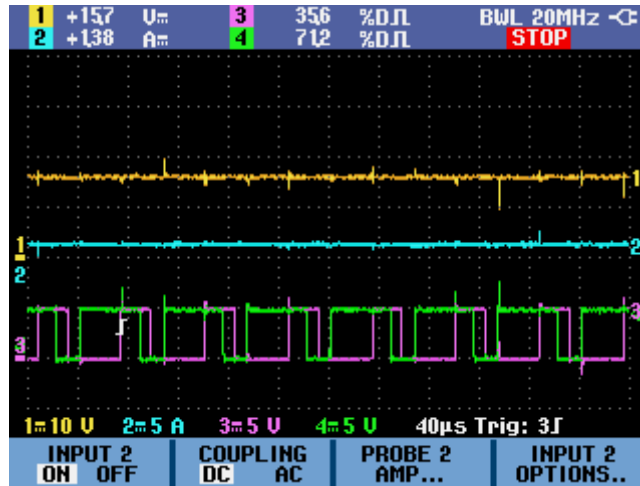
Şekil 5.32. PV Panel - Akü Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 2)

Şekil 5.33.'de gerçekleştirilen test çalışmasında, Akü bataryasının referans akım değeri 1.25 Amper olarak ayarlanmış ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekilde bulunan voltmetre DC baranın anlık gerilim değeri “**23.82 Volt**” olarak görülmektedir. PV panel simülatöründen çekilen anlık akım değeri yaklaşık “**1.45 Amper**”, gerilim değeri ise yaklaşık “**17 Volt**” olarak görülmektedir.

Şekil 5.34.'deki osiloskobun 1.kanalındaki PV panel gerilim değeri 15.7 Volt, 2.kanalındaki PV panel duty cycle değeri %35.6, 3.kanalındaki akü batarya akım değeri 1.38 Amper ve 4.kanalındaki akü duty cycle değeri %71.2 olarak görülmektedir. Bu test çalışması, geliştirilen algoritmanın farklı şarj akımı değerleri karşısında gösterdiği tepkiyi ölçmek için yapılmış ve akü bataryasının farklı değerlerde de doğru bir şekilde şarj edilebilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.



Şekil 5.33. PV Panel - Akü Batarya Test Çalışması (Sistem Çalışırken - Test 3)

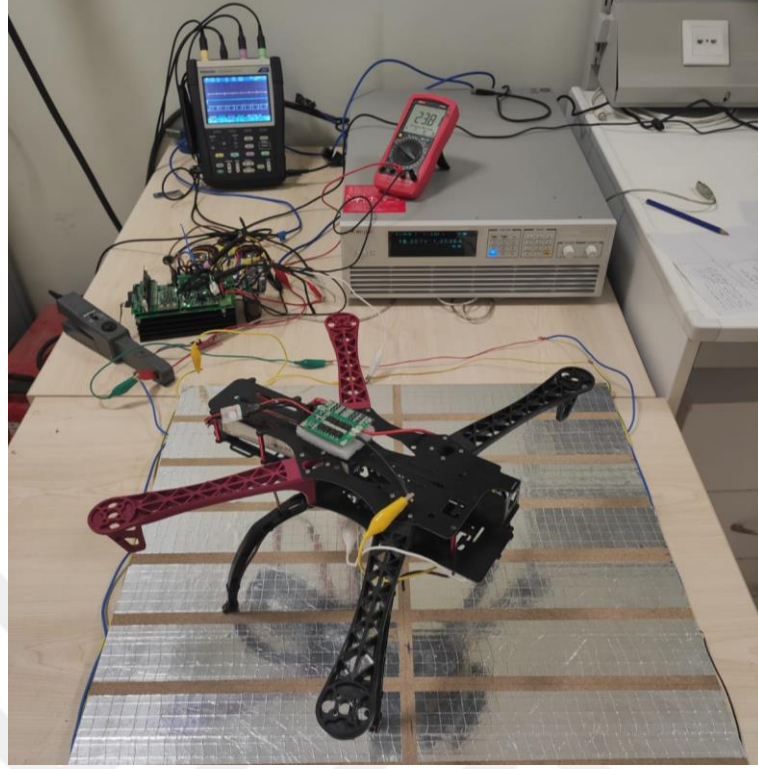


Şekil 5.34. PV Panel - Akü Batarya Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken - Test 3)

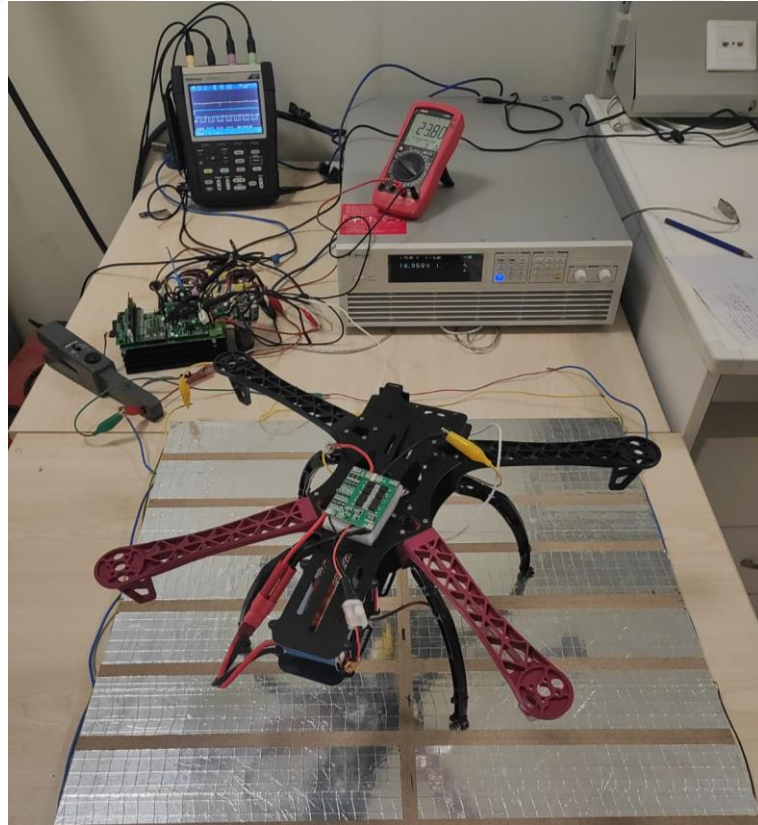
5.12. PV Panel ve Şarj Pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi

PV panel ve LiPo batarya arasında yapılan benzetim ve donanımsal test çalışmalarının başarılı bir şekilde uygulanmasının ardından bir sonraki aşamaya geçilmiştir. Bu aşamada tez çalışması kapsamında geliştirilen İHA şarj pistinin PV panel ile beslenerek LiPo bataryasının şarj edilmesi sağlanmıştır. Test çalışmasında PV panel üzerinden DC baraya 24 Volt'luk gerilim verilmiş ve bu gerilim şarj pistine aktarılmıştır. Şarj pisti üzerine iniş yapan döner kanatlı İHA, şarj işlemi için gereken akım ve gerilim değerlerini şarj pistinden karşılamakta ve otonom bir şekilde şarj edilmektedir. LiPo bataryasının test işleminde çektiği anlık akım değeri ile benzetim çalışmalarında verilen referans akım değerlerinin aynı olup olmadığı kontrol edilerek geliştirilen algoritmanın çalışma durumu kontrol edilmiştir.

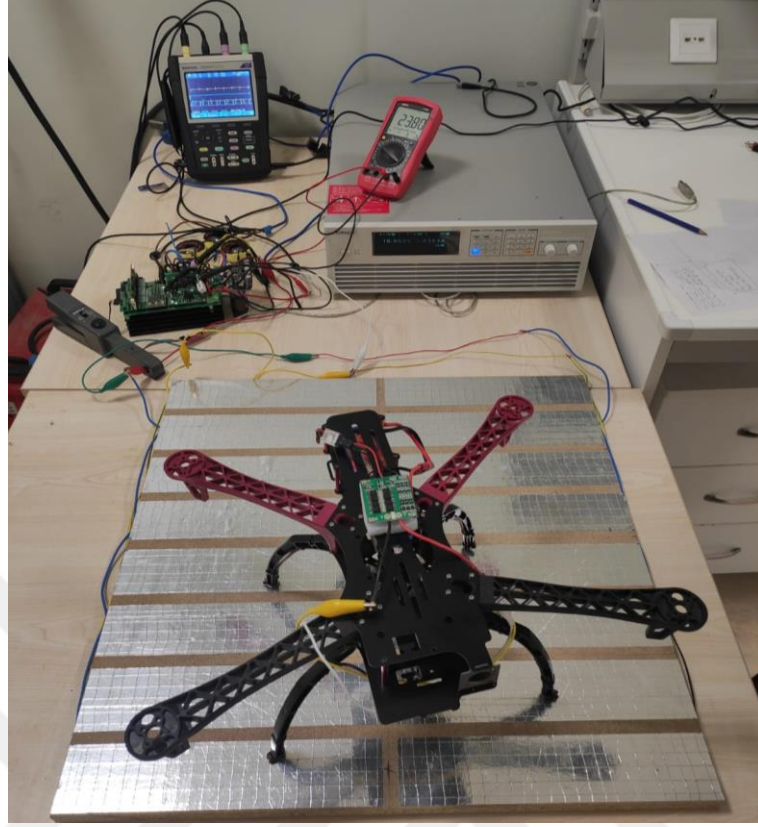
Şekil 5.35.'de PV panel, şarj pisti ve LiPo batarya ile gerçekleştirilen test çalışması gösterilmiştir. LiPo bataryasının referans akım değeri 1.25 Amper olarak ayarlanmış ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekilde bulunan voltmetre DC baranın anlık gerilim değeri "**23.81 Volt**" olarak görülmektedir. PV panel simülatöründen çekilen anlık akım değeri yaklaşık "**1.95 Amper**", gerilim değeri ise yaklaşık "**17 Volt**" olarak görülmektedir. Şekil 5.36. ve 5.37.'de döner kanatlı İHA'nın şarj pisti üzerine farklı konumlarda yaptığı iniş durumları gösterilmektedir. Farklı iniş durumlarında da şarj işlemi devam etmektedir.



Şekil 5.35. PV Panel - Şarj Pisti ile LiPo Bataryanın Şarj Edilmesi (Test 1)



Şekil 5.36. PV Panel - Şarj Pisti ile LiPo Bataryanın Şarj Edilmesi (Test 2)

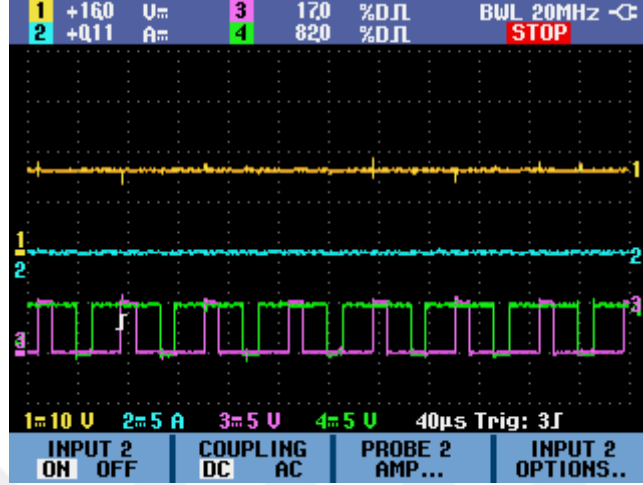


Şekil 5.37. PV Panel - Şarj Pisti ile LiPo Bataryanın Şarj Edilmesi (Test 3)

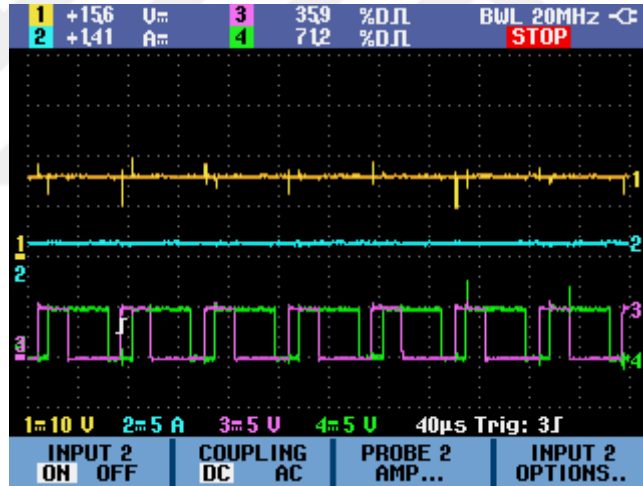
Şekil 5.38.'de test işlemi sırasında osiloskoptan alınan sinyal görüntüleri verilmiştir. Sinyal görüntüsünde, osiloskobun 1.kanallında PV panel gerilim değeri, 2.kanallında PV panel duty cycle değeri, 3.kanallında LiPo bataryanın çektiği akım değeri ve 4.kanallında ile LiPo batarya duty cycle değeri görülmektedir. Sistemde PV panelden enerji verildiği için 1.kanalda akü batarya gerilim değeri 16 Volt, 2. kanalda ise LiPo bataryasının bağlı olmadığı durumda yaklaşık 0 gibi bir akım değeri görülmektedir. 3.kanaldaki PV panel duty cycle değeri "17", 4.kanaldaki LiPo batarya duty cycle değeri ise %82'lik bir değer görülmektedir. Duty cycle değerleri, PV panel - LiPo batarya benzetim çalışmasında (Min:%15 ve Max:%85) ayarlanmıştır.

Şekil 5.39.'daki osiloskobun 1.kanallındaki PV panel gerilim değeri 15.6 Volt, 2.kanallındaki PV panel duty cycle değeri %35.9, 3.kanallındaki LiPo batarya akım değeri yaklaşık 1.25 Amper ve 4.kanallındaki LiPo duty cycle değeri %71.2 olarak görülmektedir. LiPo bataryanın referans akım değeri ile test sonucunda ölçülen akım

değerinin aynı olması yapılan test çalışmasının başarılı olduğunu göstermektedir. 2.kanaldaki akım değerinde kalibrasyon sebebiyle bazı farklılıklar meydana gelmiştir.



Şekil 5.38. PV Panel - Şarj Pisti Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Boşta)



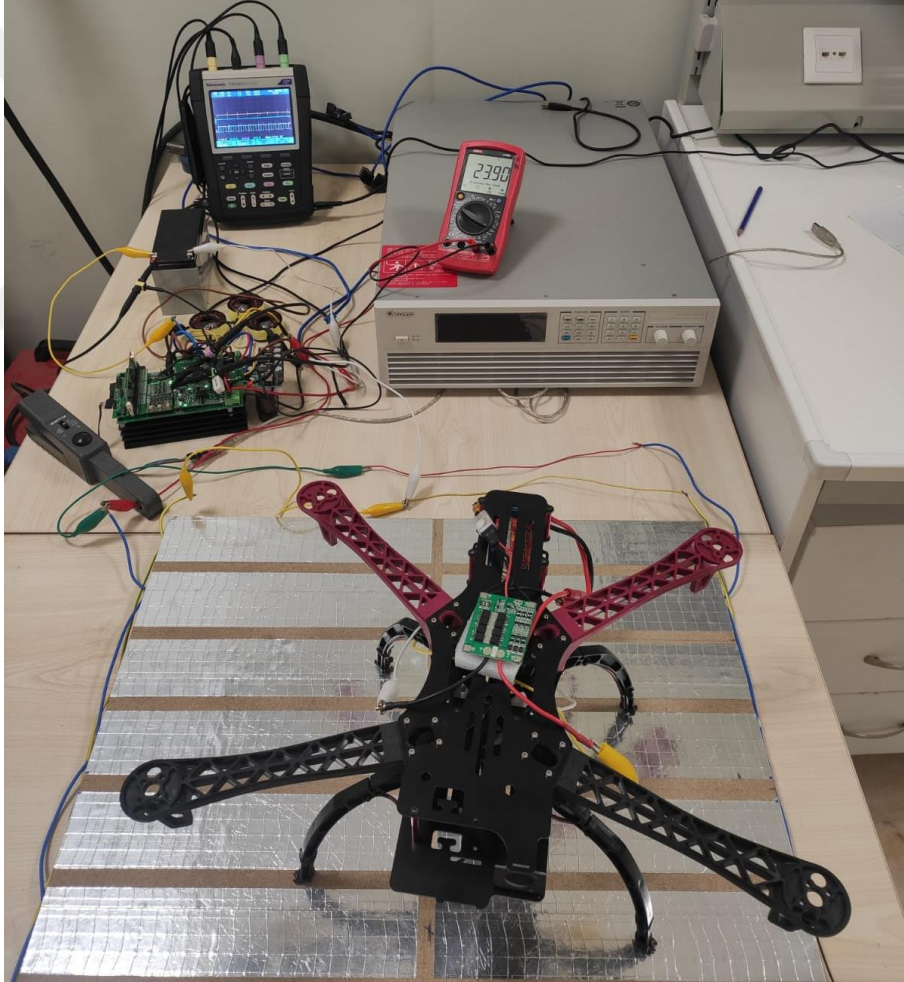
Şekil 5.39. PV Panel - Şarj Pisti Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken)

5.13. Akü Batarya ve Şarj Pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi

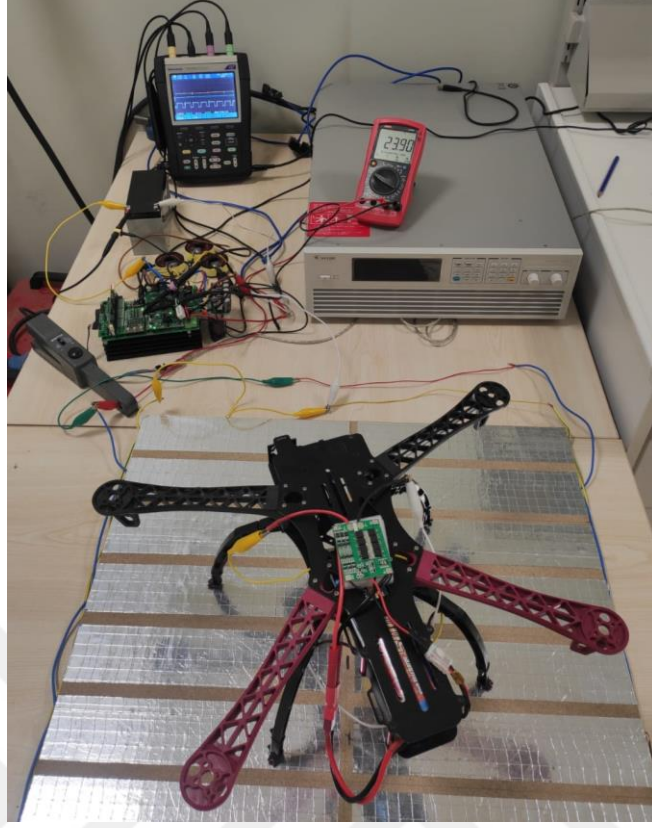
PV panel çalışmalarına benzer şekilde akü batarya ve LiPo batarya arasında yapılan benzetim ve donanımsal test çalışmalarının başarılı bir şekilde uygulanmasının ardından bir sonraki aşamada şarj pisti ile şarj işleminin gerçekleştirilmesine yönelik testlere geçilmiştir. Bu bağlamda DC baraya akü aracılığıyla gerilim verilmiş ve bu gerilim şarj pistine aktarılmıştır. Şarj pisti üzerine iniş yapan döner kanatlı İHA, şarj işlemi için gereken akım ve gerilim değerlerini şarj pistinden karşılamaktadır. LiPo

bataryasının test işleminde çektiği anlık akım değeri ile benzetim çalışmalarında verilen referans akım değerlerinin aynı olup olmadığı kontrol edilerek geliştirilen algoritmanın çalışma durumu kontrol edilmiştir.

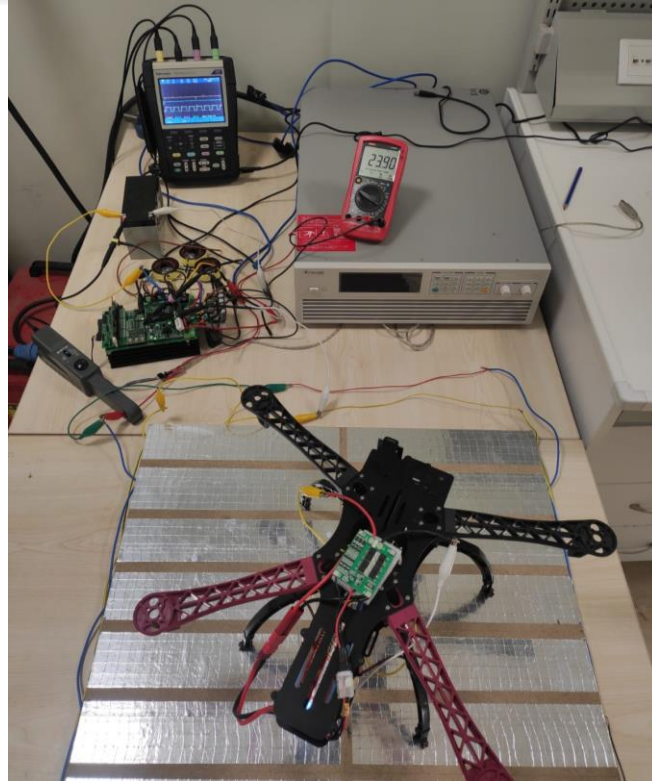
Şekil 5.40.'da akü batarya, şarj pisti ve LiPo batarya ile gerçekleştirilen test çalışması gösterilmiştir. LiPo bataryasının referans akım değeri 1 Amper olarak ayarlanmış ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekilde bulunan voltmetre DC baranın anlık gerilim değeri “**23.90 Volt**” olarak görülmektedir. Şekil 5.41. ve 5.42.'de döner kanatlı İHA'nın şarj pisti üzerine farklı konumlarda yaptığı iniş durumları gösterilmektedir. Farklı iniş durumlarında da şarj işlemi devam etmektedir.



Şekil 5.40. Akü Batarya ve Şarj Pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi (Test 1)

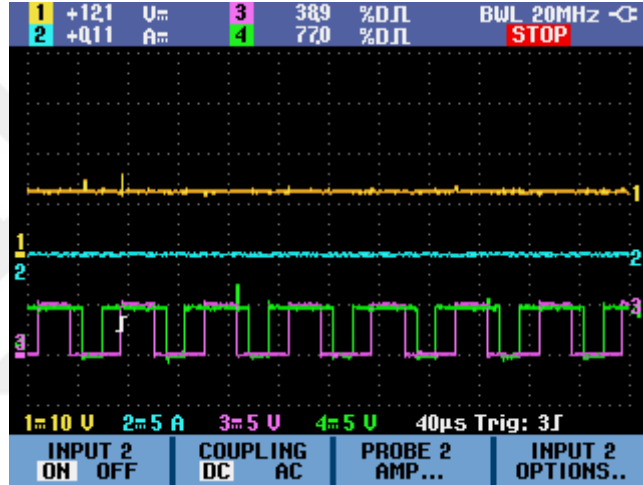


Şekil 5.41. Akü Batarya ve Şarj Pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi (Test 2)



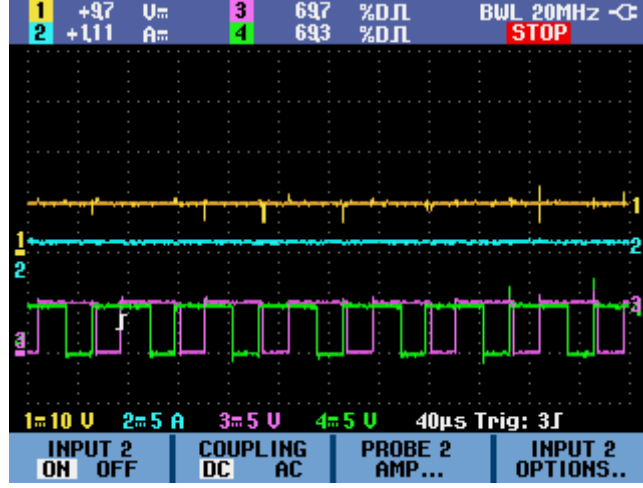
Şekil 5.42. Akü Batarya ve Şarj Pisti ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi (Test 3)

Şekil 5.43.'da test işlemi sırasında osiloskoptan alınan sinyal görüntüleri verilmiştir. Sinyal görüntüsünde, osiloskobun 1.kanalında akü gerilim değeri, 2.kanalında akü batarya duty cycle değeri, 3.kanalında LiPo bataryanın çektiği akım değeri ve 4.kanalında ile LiPo batarya duty cycle değeri görülmektedir. Sistemde akü bataryadan enerji verildiği için 1.kanalda akü batarya gerilim değeri 12.1 Volt, 2. kanalda ise LiPo bataryasının bağlı olmadığı durumda yaklaşık 0 gibi bir akım değeri görülmektedir. 2.kanaldaki akü batarya duty cycle değeri %36.8, 4.kanaldaki LiPo batarya duty cycle değeri ise %77'lik bir değer görülmektedir. Duty cycle değerleri, akü batarya - LiPo batarya benzetim çalışmasında (Min:%15 ve Max:%85) ayarlanmıştır.



Şekil 5.43. Akü Batarya - Şarj Pisti Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Boşta)

Şekil 5.44.'deki osiloskobun 1.kanalındaki akü batarya gerilim değeri 9.7 Volt, 2.kanalındaki akü batarya duty cycle değeri %69.7, 3.kanalındaki LiPo batarya akım değeri yaklaşık 1.25 Amper ve 4.kanalındaki LiPo duty cycle değeri %69.3 olarak görülmektedir. LiPo bataryanın referans akım değeri ile test sonucunda ölçülen akım değerinin aynı olması yapılan test çalışmasının başarılı olduğunu göstermektedir. 2.kanaldaki akım değerinde kalibrasyon sebebiyle bazı farklılıklar meydana gelmiştir.



Şekil 5.44. Akü Batarya - Şarj Pisti Test Çalışması Osiloskop Görüntüsü (Sistem Çalışırken)

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

İHA'lar, son yıllardaki teknolojik ilerlemelerin yanı sıra kullanılan donanımsal ve yazılımsal birimlerin temin edilmesinin kolaylaşması, düşük maliyetler, bakım kolaylığı, uzaktan kontrol edilmesi gibi avantajları sayesinde pek çok kişi tarafından rağbet görmektedir. Döner kanatlı İHA'lar, farklı hızlarda uçabilme, çok yönlü hareket edebilme, havada sabit durabilme, hızlı manevra yapabilme, iç ve dış ortamlarda uçabilme gibi yetenekleri sayesinde pek çok kullanıcının ilgi odağı olmuş ve popülaritesi günden güne artmıştır. Bu denli ilgi görmesine rağmen döner kanatlı İHA'ların, taşıma kapasitesinin sınırlı olması ve uçuş sürelerinin düşük olması gibi bazı eksiklikleri bulunmaktadır.

İHA'lar, üzerinde bulundurduğu donanımsal birimlerin güç ihtiyaçlarını karşılayabilmek için farklı tipte ve özellikte bataryalar kullanmaktadır. Bu bataryalar ile gerçekleştirilen uçuşlarda en büyük problemlerde bir tanesi uçuş süresidir. Uçuş süresi, İHA üzerindeki pillerin özelliklerine göre değişmekle beraber gerçekleştirilen en uzun uçuş süresi 10 ile 30 dakika arasında değişmektedir [30-31]. Düşük uçuş süreleri, İHA'ların uçuş menzilini düşürmekte ve verilen görevleri yerine getirememesine sebebiyet vermektedir. Bu durum, İHA'ların tam kapasiteyle çalışmasını engellemektedir. Uçuş süresinde İHA bataryaların şarj edilmesi veya değiştirilmesi ile İHA'ların sürekli olarak çalıştırılabilmesi mümkün olabilmektedir. Bu sürecin, insan müdahalesine gerek olmadan otonom olarak yapılmasıyla daha işlevsel bir sistem sunulmaktadır. İHA'ların sahip oldukları tüm potansiyellerini karşılayabilmeleri ve düşük uçuş süresi probleminin üstesinden gelebilmek amacıyla kullanılan şarj istasyonları ile İHA bataryalarının otonom olarak şarj edilmesi veya değiştirilmesi sayesinde İHA'ların uçuş süresinde bir artış görülebilir.

Otonom bir sistem geliştirmek için batarya şarj işlemlerinin otomatik olarak yapılması gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen şarj pistleri ile İHA'lar, kablolu veya kablosuz

bağlantılarla otonom olarak şarj edilebilmektedir. Kablolu bağlantılarda, enerji verimli bir şekilde kullanırken sistemdeki mekanik kontakların ortam koşullarından etkilenmesi sebebiyle sistemin güvenilirliği azalmaktadır. Kablosuz bağlantılarda, sistemin verimi daha az olmasına rağmen güvenilirlikte bakımından daha üstündür. Kablosuz iletişimde alıcı ve verici devre elemanlarının hizalanma problemlerinden ötürü enerji veriminde düşüşler görülebilmektedir [126].

Bu tez çalışmasında, yenilenebilir enerji destekli şarj istasyonu ile döner kanat tipi İHA'ların bataryasının otonom olarak şarj edilebilmesine imkân sağlayacak bir şarj istasyonu geliştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında ilk olarak şarj istasyonuna ait konsept tasarımları yapılmış ve istasyonda kullanılacak donanımlar tespit edilmiştir. Tasarım çalışmalarından sonra, istasyonda kullanılacak donanımların benzetimine yönelik uygulamalar yapılmıştır. Benzetim uygulamalarında solar enerji destekli şarj sistemlerine ait çalışmalar yapılmıştır. Benzetim çalışmaları sonucunda şarj istasyonunda kullanılacak donanımlar ile ilgili test çalışmaları yapılmıştır.

Tasarım çalışmaları kapsamında, İHA şarj istasyonunun genel çalışma prensibine yönelik modelleme çalışmaları yapılmıştır. Şarj istasyonunda kullanılacak olan şarj pisti ile ilgili tasarımsal uygulamalar yapılmış ve en kullanışlı şarj pistinin tasarımı tespit edilmiştir. Şarj pistinin tasarımından sonra İHA bataryasının şarj edilmesi için kullanılacak olan şarj sistemi tasarlanmış ve modellenmiştir. Bu adımda İHA bataryasının dengeli bir şekilde ve kısa devre ihtimallerini ortadan kaldıracak şekilde şarj edilebilmesine olanak sağlayacak bir şarj sistemi geliştirilmiştir. İHA bataryasının şarj işlemi sırasında hücre gerilim değerlerinin anlık olarak takip edilmesine yönelik tasarım çalışması yapılmıştır. Bu sayede batarya şarj işlemi sırasında kullanıcıların şarj değerlerinin takip etmesi sağlanacaktır. Tasarım çalışmalarında son olarak şarj istasyonunda kullanılacak olan elektronik kartların tasarlanmıştır.

Benzetim çalışmaları kapsamında, şarj istasyonu içerisinde enerji kaynağı olarak kullanılacak olan PV panel ve akü batarya ile LiPo bataryasının şarj edilmesine yönelik benzetim çalışmaları yapılmıştır. Üç farklı benzetim uygulaması üzerine çalışmalar yapılmıştır. PV panel - LiPo batarya, PV panel - Akü batarya ve Akü batarya - LiPo

batarya şeklinde benzetim uygulaması gerçekleştirilmiştir. Donanımsal test işlemlerinden önce yapılan benzetimler ile sistemin kullanılabilirliğine yönelik test uygulamaları yapılmış ve benzetimler sonucunda elde edilen başarılı sonuçlara bağlı olarak donanımsal test işlemlerine geçilmiştir.

Donanımsal test çalışmaları kapsamında, şarj pistinin kullanılabilirliği, LiPo bataryasının balanslı bir şarj edilmesi, anlık batarya takip sistemi, geliştirilen DSP denetleme kartlarının kontrol edilmesi, PV panel üzerinden enerji elde edilmesi, PV panel ve akü batarya aracılığıyla LiPo bataryasının şarj edilmesine yönelik uygulamalar yapılmıştır. Yapılan donanımsal test çalışmaları adım adım yapılmış ve test işlemleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

PV panel ve akü bataryanın kullanımıyla gerçekleştirilen test çalışmalarında, LiPo bataryasının donanımsal olarak şarj edilmesi sağlanmıştır. Bu test işlemlerinde, benzetim çalışmalarında belirlenen referans akım değerleri üzerinden LiPo bataryasının kontrollü bir şekilde şarj edilip edilmediği kontrol edilmiştir. Benzetim sonuçları ile test sonuçları karşılaştırıldığında verilen referans akımı ile şarj esnasında LiPo bataryasının çektiği akım değerlerinin aynı olması, geliştirilen algoritmanın kontrollü ve doğru bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen şarj pisti aracılığıyla LiPo bataryasının şarj edilmesine yönelik test işlemlerinde, enerji kaynağı olarak DC güç kaynağı yerine PV panel ve akü batarya kullanılmıştır. Bu test çalışmasında PV panel ve akü batarya ile enerji verilen şarj pisti üzerine İHA'nın iniş yapmasından sonra şarj işleminin otomatik olarak başlaması ve belirlenen referans akımı değerinde LiPo bataryasının balanslı bir şekilde şarj edilmesi durumu ele alınmıştır. Yapılan test çalışmalarında PV panel ve akü batarya üzerinden yapılan şarj işlemlerinde farklı referans akımı değerleri seçilmesine bakılmaksızın geliştirilen şarj algoritmalarının doğru çalıştığı tespit edilmiştir. Bu durum şarj işleminin başarılı bir şekilde yapıldığı sonucunu ortaya çıkartabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen şarj istasyonu, geliştirilen şarj sistemi ve şarj pisti sayesinde döner kanatlı İHA'lar için otonom şarj imkânı sunmaktadır. İstasyonun enerji ihtiyacının ise PV panel ve akü bataryadan karşılanması sayesinde şebeke enerjisine ihtiyaç duyulmamaktadır. Sonuç olarak tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen işlemler şu şekilde özetlenebilir:

- Şarj istasyonuna ait tasarımsal çalışmalar yapılmıştır.
- Otonom Şarj sistemine yönelik tasarımsal ve donanımsal uygulamalar yapılmıştır.
- Elektronik denetleme kartları tasarlanmış ve geliştirilmiştir.
- Şarj istasyonunda kullanılacak olan PV panel, akü batarya ve LiPo batarya ile ilgili benzetim çalışmaları yapılmıştır.
- BMS kartı ile LiPo bataryasının dengeli bir şekilde şarj edilmesi sağlanmıştır.
- Şarj sırasında anlık batarya geriliminin takibi gerçekleştirilmiştir.
- PV panel üzerinden LiPo ve akü bataryalarının şarj işlemi gerçekleştirilmiştir.
- Akü batarya üzerinden LiPo bataryasının şarj işlemi gerçekleştirilmiştir.
- Şarj pisti üzerinden PV panel ve Akü batarya ile LiPo bataryasının şarj edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.
- Tez çalışması ile yazılımsal ve donanımsal olarak İHA şarj probleminin çözümüne yönelik bir uygulama geliştirilmiştir.
- Sonuçlar, hem benzetim hem de prototip uygulaması üzerinden ele alınmıştır.
- İHA'ların otonom şarj sistemleri üzerine literatüre katkıda bulunulmuştur.

Tez çalışmasından elde edilen çıktıların, ülkemizin güvenliği açısından büyük önem arz eden sınır güvenliğindeki denetim uygulamalarına kolaylıkla adapte edilebileceği düşünülmektedir. Şöyle ki, coğrafi şartlar nedeniyle birçok noktada elektriğin bulunamıyor olması, bu tarz elektronik cihazların enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında problemlere neden olmaktadır. Bu proje kapsamında geliştirilen yenilenebilir enerji destekli otonom şarj sistemi ile İHA'ların şarj edilmesi için gerekli olan enerji ihtiyacı şebeke enerjisine gerek duyulmaksızın otonom olarak yapılabilecektir. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında, mobil olarak taşınabilecek ve farklı konumlarda kullanılacak bir şarj istasyonu geliştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Hussain, R., Zeadally S., Autonomous Cars: Research Results, Issues, and Future Challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(2), 1275-1313, 2019.
- [2] Pang, Y., Zhang, L., Ding, H., Fang, Y., Chen, S., SPATH: Finding the Safest Walking Path in Smart Cities. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(7), 7071-7079, 2019.
- [3] Wang, Q., Jiao, W., Yu, R., Johnson, M.T., Zhang, Y., Modeling of Human Welders' Operations in Virtual Reality Human-Robot Interaction. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(3), 2958-2964, 2019.
- [4] Fang, B., Wei, X., Sun, F., Huang, H., Yu, Y., Liu, H., Skill learning for human-robot interaction using wearable device. *Tsinghua Science and Technology*, 24(6), 654-662, 2019.
- [5] Taylor, A.P., Velez-Cuervo, C., Arnold D.P., Velasquez-Garcia, L.F., Fully 3D-printed, monolithic, mini magnetic actuators for low-cost, compact systems. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 28(3), 481-493, 2019.
- [6] Xu, W., Shen, Y., Bergmann, N., Hu, W., Sensor-Assisted Multi-View Face Recognition System on Smart Glass. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 17(1), 197-210, 2017.
- [7] Tahir, M., Ali-Shah, S.I., Zaheer, Q., Aircraft system design for an anti-terrorist unmanned aerial vehicle. 2019 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET), Lahore, 1-8, 2018.
- [8] Padam, R., Malhotra, J., Secure techniques for the UAV networks: A review. 2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON), Greater Noida, 485-488, 2018.
- [9] Stöcker, C., Bennett, R., Nex, F., Gerke, M., Zevenbergen, J., Review of the current state of UAV regulations. *Remote Sensing*, 9(5), 33-35, 2017.

- [10] Hayat, S., Yanmaz, E., Muzaffar, R., Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications: A Communications Viewpoint. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(4), 2624-2661, 2016.
- [11] Gu, Q., Jia, C., A Consumer UAV-based Air Quality Monitoring System for Smart Cities. *2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, Las Vegas, 1-6, 2019.
- [12] Venkata S.R.P., Gorantla, S.R., Design and Modelling of an Affordable UAV Based Pesticide Sprayer in Agriculture Applications. *ICEES 2019 Fifth International Conference on Electrical Energy Systems*, Chennai, 360-363, 2019.
- [13] Vempati, A.S., Kamel, M., Stilinovic, N., Zhang, Q., Reusser, D., Sa, I., Nieto, J., Siegwart, R., Beardsley, P., PaintCopter: An autonomous UAV for spray painting on three-dimensional surfaces. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(4), 2862-2869, 2019.
- [14] Hu, Z., Bai, Z., Yang, Y., Zheng, Z., Bian, K., Song, L., UAV Aided Aerial-Ground IoT for Air Quality Sensing in Smart City: Architecture, Technologies, and Implementation. *IEEE Network*, 33(2), 14-22, 2019.
- [15] Facinelli, D., Larcher, M., Brunelli, D., Fontanelli, D., Cooperative UAVs gas monitoring using distributed consensus. *2019 IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, Milwaukee, 463-468, 2019.
- [16] Hossain, F.M.A., Zhang, Y., Yuan, C., A Survey on Forest Fire Monitoring Using Unmanned Aerial Vehicles. *2019 3rd International Symposium on Autonomous Systems (ISAS)*, Shanghai, 484-489, 2019.
- [17] Abushahma, R.I.H., Ali, M.A.M., Rahman, N.A.A., Al-Sanjary, O.I., Comparative Features of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Border Protection of Libya: A Review. *2019 IEEE 15th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)*, Penang, 114-119, 2019.
- [18] Bein, D., Bein, W., Karki, A., Madan, B.B., Optimizing Border Patrol Operations Using Unmanned Aerial Vehicles. *2015 12th International Conference on Information Technology - New Generations*, Las Vegas, 479-484, 2015
- [19] Alotaibi, E.T., Alqefari, S.S., Koubaa, A., LSAR: Multi-UAV Collaboration for Search and Rescue Missions. *IEEE Access*, 7, 55817-55832, 2019.

- [20] Niu, H., González-Prelcic, N., Heath, R.W., A UAV-Based Traffic Monitoring System - Invited Paper. 2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Porto, 1-5, 2018
- [21] Liu, C., Zhang, S., Akbar, A., Ground Feature Oriented Path Planning for Unmanned Aerial Vehicle Mapping. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 12(4), 1175-1187, 2019.
- [22] Yang, T., Li, Z., Zhang, F., Xie, B., Li, J., Liu, L., Panoramic UAV surveillance and recycling system based on structure-free camera array. IEEE Access, 7, 25763-25778, 2019.
- [23] Rohan, A., Rabah, M., Kim, S.H., Convolutional Neural Network-Based Real-Time Object Detection and Tracking for Parrot AR Drone 2. IEEE Access, 7, 69575-69584, 2019.
- [24] Horstrand, P., Guerra, R., Rodriguez, A., Diaz, M., Lopez, S., Lopez, J.F., A UAV Platform Based on a Hyperspectral Sensor for Image Capturing and On-Board Processing. IEEE Access, 7, 66919-66938, 2019.
- [25] Vempati, A.S., Khurana, H., Kabelka, V., Flueckiger, S., Siegwart, R., Beardsley, P., A Virtual Reality Interface for an Autonomous Spray Painting UAV. IEEE Robotics and Automation Letters, 4(3), 2870-2877, 2019.
- [26] Bai, T., Wang, J., Ren, Y., Hanzo, L., Energy-efficient computation offloading for secure uav-edge-computing systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 68(6), 6074-6087, 2019.
- [27] Legowo, A., Sulaeman, E., Rosli, D., Review on System Identification for Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle (UAV). 2019 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET), Dubai, 1-8, 2019.
- [28] Shakhathreh, H., Sawalmeh, A.H., Al-Fuqaha, A., Dou, Z., Almaita, E., Khalil, I., Othman, S.N., Khreishah, A., Guizani, M., Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges. IEEE Access, 7, 48572-48634, 2019.
- [29] Gupta, L., Jain, R., Vaszkun, G., Survey of Important Issues in UAV Communication Networks. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18(2), 1123-1152, 2016.
- [30] Morbidi, F., Cano, R., Lara, D., Minimum-energy path generation for a quadrotor UAV. 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Stockholm, 1492-1498, 2016.

- [31] Roberts, J.F., Zufferey, J.C., Floreano, D., Energy management for indoor hovering robots. 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Nice, 1242-1247, 2008.
- [32] Tommaso, C., Cruciani, S., Feliziani, M., Wireless Power Transfer Technology Applied to an Autonomous Electric UAV with a Small Secondary Coil. *Energies*, 11(2), 1-15, 2018.
- [33] Taylor, J.W.R., *Jane's pocket book of remotely piloted vehicles*, Collier Books, London, 34-80, 1977.
- [34] https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle., Erişim Tarihi: 30.09.2021.
- [35] Matolak, D.W., Fiebig, U.C., UAV Channel Models: Review and Future Research. 2019 13th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Krakow, 1-5, 2019.
- [36] Kotsemir, M., Unmanned Aerial Vehicles Research in Scopus: An Analysis and Visualization of Publication Activity and Research Collaboration at the Country Level. *Quality & Quantity*, 53, 2143-2173, 2019.
- [37] Nourmohammadi, A., Jafari, M., Zander, T.O., A survey on unmanned aerial vehicle remote control using brain-computer interface. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 48(4), 337-348, 2018.
- [38] Liu, P., Chen, A.Y., Huang, Y.N., Han, J.Y., Lai, J.S., Kang, S.C., Wu, T.H., Wen, M.C., Tsai, M.H., A review of rotorcraft unmanned aerial vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering. *Smart Structures and Systems*, 13(6), 1065-1094, 2014.
- [39] González-Jorge, H., Martínez-Sánchez, J., Bueno, M., Arias, P., Unmanned Aerial Systems for Civil Applications: A Review. *Drones*, 1(1), 1-19, 2017.
- [40] Lee, S., Choi, Y., Reviews of unmanned aerial vehicle (drone) technology trends and its applications in the mining industry. *Geosystem Engineering*, 19(4), 197-204, 2016.
- [41] Kanellakis, C., Nikolakopoulos, G., Survey on Computer Vision for UAVs: Current Developments and Trends. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 87, 141-168, 2017.
- [42] Gupte, S., Mohandas, P.I.T., Conrad, J.M., A survey of quadrotor unmanned aerial vehicles. 2012 Proceedings of IEEE Southeastcon, Orlando, 1-6, 2012.

- [43] Norouzi G.S., Aghli, Y., Alimohammadi, M., Akbari, A.A., Quadrotors unmanned aerial vehicles: A review. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 9(1), 309-333, 2016.
- [44] Zhu, W., Xu, Y., Du, H., Li, J., Thermal performance of high-altitude solar powered scientific balloon. *Renewable Energy*, 135, 1078-1096, 2019.
- [45] Yao, N.S., Tao, Q.Y., Liu W.Y., Liu, Z., Tian, Y., Wang, P.Y., Li, T., Zhang, F., Autonomous flying blimp interaction with human in an indoor space. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 20(1), 45-59, 2019.
- [46] Jabbal, M., An Aerial Deployed Unmanned Autonomous Glider for Cross-Channel Flight. *International Journal of Unmanned Systems Engineering*, 3(3), 1-20, 2015.
- [47] Pačes, P., Theiner, R., Brabec, J., A precise altitude difference measurement system for terrain mapping: And application in a ducted-fan powered airplane. 2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC), St. Petersburg, 1-6, 2017.
- [48] Conyers, S.A., Rutherford, M.J., Valavanis, K.P., An empirical evaluation of ground effect for small-scale rotorcraft. 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Brisbane, 1244-1250, 2018.
- [49] Jith, N.J.P., Gupta, H., Design and Fabrication of a Flapping Wing Unmanned Aerial Vehicle with Bird Kinematics. *Journal of Aerospace Engineering & Technology*, 4(2), 9-21, 2014.
- [50] Gautam, A., Sujit, P.B., Saripalli, S., A survey of autonomous landing techniques for UAVs. 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Orlando, 1210-1218, 2014.
- [51] Zhao, X., Zhou, Z., Zhu, X., Design of a lift-propulsion VTOL UAV system. 2018 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), Changchun, 1908-1913, 2018.
- [52] Zhang, Q., Liu, H.H.T., Robust Cooperative Formation Control of Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicles, <https://arxiv.org/pdf/1905.01028.pdf>, Erişim Tarihi: 30.09.2021.
- [53] Akin, A., Sabit Kanatlı İnsansız Hava Aracının Dikey Uçuş Kontrolü. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2019.

- [54] Cai, G., Lum, K., Chen, B.M., Lee, T.H., A Brief Overview on Miniature Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicles. IEEE ICCA 2010, Xiamen, 285-290, 2010.
- [55] Dong, F., Li, L., Lu, Z., Pan, Q., Zheng, W., Energy-efficiency for Fixed-Wing UAV-Enabled Data Collection and Forwarding. 2019 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), Shanghai, 1-6, 2019.
- [56] Chen, H., Cong, Y., Wang, X., Shen, L., Coordinated Path Following Control of Fixed-wing Unmanned Aerial Vehicles, <https://arxiv.org/pdf/1906.05453.pdf>, Erişim Tarihi: 30.09.2021.
- [57] Gatti, M., Giulietti, F., Turci, M., Maximum endurance for battery-powered rotary-wing aircraft. *Aerospace Science and Technology*, 45(2015), 174-179, 2015.
- [58] Zeng, Y., Xu, J., Zhang, R., Energy Minimization for Wireless Communication with Rotary-Wing UAV. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18(4), 2329-2345, 2018.
- [59] Ahmed, B., Pota, H.R., Garratt, M, Flight control of a rotary-wing UAV using backstepping. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 20, 639-658, 2010.
- [60] Basset, P.M., Tremolet, A., Lefebvre, T, Rotary-wing UAV pre-sizing: Past and Present Methodological Approaches at Onera. *Aerospace Lab Journal*, 8, 1-12, 2014.
- [61] Agrawal, K., Shrivastav, P., Multi-rotors: A Revolution In Unmanned Aerial Vehicle. *International Journal of Science and Research*, 4(11), 1800-1804, 2015.
- [62] Chen, S., Li, H., Guo, S., Tong, M., Ji, B., Unsteady aerodynamic model of flexible flapping wing. *Aerospace Science and Technology*, 80, 354-367, 2018.
- [63] Mairaj, A., Baba, A.I., Javaid, A.Y., Application specific drone simulators: Recent advances and challenges. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 94, 100-117, 2019.
- [64] Guo, S., Li, H., Zhou, C., Zhang, Y.L., He, Y., Wu, J.H., Analysis and experiment of a bio-inspired flyable micro flapping wing rotor. *Aerospace Science and Technology*, 79, 506-517, 2018.

- [65] Chen, L., Zhang, Y., Zhou, C., Wu, J., Aerodynamic mechanisms in bio-inspired micro air vehicles: a review in the light of novel compound layouts. *IET Cyber-Systems and Robotics*, 1(1), 2-12, 2019.
- [66] Fenelon, M.A.A., Biomimetic Flapping Wing Aerial Vehicle. 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Bangkok, 1053-1058, 2009.
- [67] Cai, G., Dias, J., Seneviratne, L., A Survey of Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles: Recent Advances and Future Development Trends. *Unmanned Systems*, 2(2), 1-26, 2014.
- [68] Stanford, B., Ifju, P., Albertani, R., Shyy, W., Fixed membrane wings for micro air vehicles: Experimental characterization, numerical modeling, and tailoring. *Progress in Aerospace Sciences*, 44, 258-294, 2008.
- [69] Nikolaev, I., Modelling of dielectrophoresis for feedback control. Czech Technical University, Elektrik Mühendisliği Fakültesi, Kontrol Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi, 2012.
- [70] Aono, H., Chimakurthi S.K., Wu, P., Sallstrom, E., Stanford, B.K., Cesnik, C.E.S., Ifju, P., Ukeiley, L., Shyy, W., A Computational and Experimental Study of Flexible Flapping Wing Aerodynamics. 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition. pp. 1-22, Orlando, 2010.
- [71] Beard, R., Kingston, D., Quigley, M., Snyder, D., Christiansen, R., Johnson, W., McLain, T., Goodrich M.A., Autonomous vehicle technologies for small fixed-wing UAVs. *Journal of Aerospace Computing Information and Communication*, 2, 92-108, 2005.
- [72] Garcia C,L.R., Lopez, A.E.D., Lozano, R., Pegard, C., Quad-Rotor Control Vision-Based Hovering and Navigation, Springer, London, 23-58, 2012.
- [73] Wang, J., Quadrotor analysis and model free control with comparisons. Universite Paris Sud, Otomatik Bölümü, Doktora Tezi, 2013.
- [74] Stanculeanu, I., Borangiu, T., Quadrotor Black-Box System Identification. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 5(6), 1025-1028, 2011.
- [75] Wierema, M., Design, implementation and flight test of indoor navigation and control system for a quadrotor UAV. Delft University of Technology, Uzay Mühendisliği Fakültesi, Kontrol ve Simülasyon Böümü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.

- [76] Cowling, I.D., Yakimenko, O.A., Whidborne, J.F., Cooke, A.K., A prototype of an autonomous controller for a quadrotor UAV. 2007 European Control Conference (ECC), Kos, 4001-4008, 2007.
- [77] Trapiello, C., Puig, V., Morcego, B., Position-heading quadrotor control using LPV techniques. *IET Control Theory & Applications*, 13(6), 783-794, 2019.
- [78] Khalid, H.M., Al Blushi, I.G.M., Al-Raeesi, Y.A., Abdulla, J.K., Al-Shehhi, O.A., Al-Mazam, F.I., Al-Beshr, H.A., Al-Awadhi, A.K., Optimal Control of a Quadcopter: A Constrained Optimization Problem. 2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM), Cambridge, 201-205, 2019.
- [79] Bari, S., Zehra H,S.S., Khan, H.U., Rehman, M.U., Khan, H., Artificial neural network based self-tuned PID controller for flight control of quadcopter. 2019 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET), Lahore, 1-5, 2019.
- [80] Kim, S.K., Ahn, C.K., Shi, P., Performance Recovery Tracking-Controller for Quadcopters via Invariant Dynamic Surface Approach. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(9), 5235-5243, 2019.
- [81] Rohan, A., Rabah, M., Asghar, F., Talha, M., Kim, S.H., Advanced Drone Battery Charging System. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 14, 1395-1405, 2019.
- [82] Yang, L., Qi, J., Xiao, J., Yong, X., A literature review of UAV 3D path planning. *World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, Shenyang, 2376-2381, 2014.
- [83] Rabah, M., Rohan, A., Mohamed, S.A.S., Kim, S.H., Autonomous Moving Target-Tracking for a UAV Quadcopter Based on Fuzzy-PI. *IEEE Access*, 7, 38407-38419, 2019.
- [84] Spica, R., Giordano, P.R., Ryll, M., Bülthoff, H.H., Franchi., A. An open-source hardware/software architecture for quadrotor UAVs. 2nd IFAC Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems, Compiègne, 198-205, 2013.
- [85] Nguyen, H.N., Park, S., Park, J., Lee, D., A Novel Robotic Platform for Aerial Manipulation Using Quadrotors as Rotating Thrust Generators. *IEEE Transactions on Robotics*, 34(2), 353-369, 2018.

- [86] Meslouli, I., Mesli, R., Kahouadji, M., Choukchou B.A., Cherki, B., Quadrotor Design Procedure and PID Control for Outdoor Free Flight. 2018 International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM), Algiers, 1-6, 2018.
- [87] Setiono, F.Y., Candrasaputra, A., Prasetyo, T.B., Santoso, K.L.B., Designing and implementation of autonomous quadrotor as unmanned aerial vehicle. 2016 3rd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), Semarang, 17-20, 2016.
- [88] Ferdaus, M.M., Pratama, M., Anavatti, S.G., Garratt, M.A., Online identification of a rotary-wing Unmanned Aerial Vehicle from data streams. *Applied Soft Computing*, 76, 313-325, 2019.
- [89] Parihar, P., Bhawsar, P., Hargod, P., Design & Development Analysis of Quadcopter. *International Journal of Advanced Computer Technology*, 5(6), 2128-2133, 2016.
- [90] Etigowni, S., Hossain-McKenzie, S., Kazerooni, M., Davis, K., Zonouz, S., Crystal (ball): I look at physics and predict control flow! Just-ahead-of-time controller recovery. *ACSAC '18: Proceedings of the 34th Annual Computer Security Applications Conference*, San Juan, 553–565, 2018.
- [91] Prem Kumar, N., Raj Kumar, A., Anand, S., Ganesh, E.N., Prithiviraj, V., Quad band signal strength monitoring system using quadcopter and quad phone. *Journal of Green Engineering*, 5, 1-22, 2015.
- [92] Hassanalian, M., Abdelkefi, A., Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 99-131, 2017.
- [93] Reg, A., *Unmanned Aircraft Systems: UAVs Design, Development and Deployment*, 1. Baskı, Wiley, New Delhi, 5–24, 2011.
- [94] Hassanalian, M., Radmanesh, M., Sedaghat, A., Increasing flight endurance of MAVs using multiple quantum well solar cells. *International Journal of Aeronautical Science & Aerospace Research*, 15(2), 212-217, 2014.
- [95] Abdilla, A., Richards, A., Burrow, S., Power and endurance modelling of battery-powered rotorcraft. 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Hamburg, 675-680, 2015.
- [96] Bronz, M., Moschetta, J.M., Brisset, P., Gorraz, M., Towards a Long Endurance MAV. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 1(4), 241-254, 2009.

- [97] Xu, Y., Wan, Q., Raymond, M.T., Lu, G., Zeng, X., Design of Solar Powered and Fatigue Durable Quadcopter. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*, 7(2), 58-65, 2019.
- [98] Belmonte, N., Staulo, S., Fiorot, S., Luetto, C., Rizzi, P., Baricco, M., Fuel cell powered octocopter for inspection of mobile cranes: Design, cost analysis and environmental impacts. *Applied Energy*, 215, 556-565, 2018.
- [99] Dobbs, S., Yu, Z., Anderson, K.R., Franco, J.A., Deravanessian, A.E., Lin, A., Ahn, A., Design of an Inflight Power Generation and Storage System for Use in UAVs. 2018 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech), Long Beach, 1-8, 2018.
- [100] Ouyang, J., Che, Y., Xu, J., Wu, K., Throughput maximization for laser-powered UAV wireless communication systems. 2018 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), Kansas, 1-6, 2018.
- [101] Mulgaonkar, Y., Automated Recharging for Persistence Missions with Multiple Micro Aerial Vehicles. University of Pennsylvania, Robotik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [102] Cocchioni, F., Mancini, A., Longhi, S., Autonomous navigation, landing and recharge of a quadrotor using artificial vision. 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Orlando, 418-429, 2014.
- [103] Cocchioni, F., Pierfelice, V., Benini, A., Mancini A., Frontoni, E., Zingaretti, P., Ippoliti G., Longhi, S., Unmanned ground and aerial vehicles in extended range indoor and outdoor missions. 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Orlando, 374-382, 2014.
- [104] Song, B.D., Kim, J., Kim, J., Park, H., Morrison, J.R., Shim, D.H., Persistent UAV service: An improved scheduling formulation and prototypes of system components. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 74, 221-232, 2014.
- [105] Leahy, K., Zhou, D., Vasile, C.I., Oikonomopoulos, K., Schwager, M., Belta, C., Persistent surveillance for unmanned aerial vehicles subject to charging and temporal logic constraints. *Autonomous Robots*, 40, 1363-1378, 2016.
- [106] Dale, D.R., Automated Ground Maintenance and Health Management for Autonomous Unmanned Aerial Vehicles. Massachusetts Institute of Technology, Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.

- [107] Valenti, M.J., Approximate dynamic programming with applications in multi-agent systems. Massachusetts Institute of Technology, Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü, Doktora Tezi, 2007.
- [108] Kemper, F.P., Suzuki, K.A.O., Morrison, J.R., UAV consumable replenishment: Design concepts for automated service stations. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 61, 369-397, 2011.
- [109] <https://www.bu.edu/iml/2012/08/02/221/>, Erişim Tarihi: 30.09.2021.
- [110] <https://mechecapstone.blogs.unr.edu/previous-projects/2015-teams/battleborn-dynamics/>, Erişim Tarihi: 13.03.2020.
- [111] <https://www.skysense.co/>, Erişim Tarihi: 30.09.2021.
- [112] <http://hiveuav.com/>, Erişim Tarihi: 13.03.2020.
- [113] <http://www.heishatech.com/charging-pad-3/>, Erişim Tarihi: 30.09.2021.
- [114] Lu, M., Bagheri, M., James, A.P., Phung, T., Wireless Charging Techniques for UAVs: A Review, Reconceptualization, and Extension. *IEEE Access*, 6, 29865-29884, 2018.
- [115] Simic, M., Bil, C., Vojisavljevic, V., Investigation in wireless power transmission for UAV charging. *Procedia Computer Science*, 60, 1846-1855, 2015.
- [116] Junaid, A.B., Lee, Y., Kim, Y., Design and implementation of autonomous wireless charging station for rotary-wing UAVs. *Aerospace Science and Technology*, 54, 253-266, 2016.
- [117] Junaid, A.B., Konoiko, A., Zweiri, Y., Sahinkaya, M.N., Seneviratne, L., Autonomous wireless self-charging for multi-rotor unmanned aerial vehicles. *Energies*, 10(6), 1-14, 2017.
- [118] Choi, C.H., Jang, H.J., Lim, S.G., Lim, H.C., Cho, S.H., Gaponov, I., Automatic Wireless Drone Charging Station Creating Essential Environment for Continuous Drone Operation. 2016 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS), Ansan, 132-136, 2016.
- [119] Jung, S., Ariyur, K.B., Automated wireless recharging for small UAVs. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 18(3), 588-600, 2017.

- [120] Jung, S., Lee, T., Mina, T., Ariyur, K.B., Inductive or magnetic recharging for small UAVs. SAE 2012 Aerospace Electronics and Avionics Systems Conference, Phoenix, 1-10, 2012.
- [121] Ke, D., Liu, C., Jiang, C., Zhao, F., Design of an effective wireless air charging system for electric unmanned aerial vehicles. IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Beijing, 6949-6954, 2017.
- [122] Rohan, A., Rabah, M., Talha, M., Kim, S.H., Development of Intelligent Drone Battery Charging System Based on Wireless Power Transmission Using Hill Climbing Algorithm. Applied System Innovation, 1(4), 1-19, 2018.
- [123] Yang, C., He, Y., Qu, H., Wu, J., Hou, Z., Lin, Z., Cai, C., Analysis, design and implement of asymmetric coupled wireless power transfer systems for unmanned aerial vehicles. AIP Advances, 9, 1-11, 2019.
- [124] Chen, J., Ghannam, R., Imran, M., Heidari, H., Wireless Power Transfer for 3D Printed Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Systems. 2018 IEEE Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics (PrimeAsia), Chengdu, 72-76, 2018.
- [125] Campi, T., Dionisi, F., Cruciani, S., De Santis, V., Feliziani, M., Maradei, F., Magnetic field levels in drones equipped with Wireless Power Transfer technology. 2016 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC), Shenzhen, 544-547, 2016.
- [126] Campi, T., Cruciani, S., Feliziani, M., Maradei, F., High efficiency and lightweight wireless charging system for drone batteries. 2017 AEIT International Annual Conference, Cagliari, 1-6, 2017.
- [127] Toksoz, T., Design and implementation of an automated battery management platform. Massachusetts Institute of Technology, Havacılık ve Uzay Bilimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [128] Ure, N.K., Chowdhary, G., Toksoz, T., How, J.P., Vavrina, M.A., Vian, J., An Automated Battery Management System to Enable Persistent Missions With Multiple Aerial Vehicles. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 20, 275-286, 2015.
- [129] Lee, D., Zhou, J., Lin, W.T., Autonomous battery swapping system for quadcopter. 2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Denver, 118-124, 2015.

- [130] Dong, X., Ren, Y., Meng, J., Lu, S., Wu, T., Sun, Q., Design and Implementation of Multi-rotor UAV Power Relay Platform. 2018 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC 2018), Xi'an, 1142-1146, 2018.
- [131] Fujii, K., Higuchi, K., Rekimoto, J., Endless flyer: A continuous flying drone with automatic battery replacement. 2013 IEEE 10th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2013 IEEE 10th International Conference on Autonomic and Trusted Computing, Vietri sul Mare, 216-223, 2013.
- [132] Swieringa, K.A., Hanson, C.B., Richardson, J.R., White, J.D., Hasan, Z., Qian, E., Girard, A., Autonomous battery swapping system for small-scale helicopters. 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Anchorage, 3335-3340, 2010.
- [133] Suzuki, K.A.O., Kemper Filho, P., Morrison, J.R., Automatic battery replacement system for UAVs: Analysis and design. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 65, 563-586, 2012.
- [134] Herath, H.M.C.W.B., Herath, H.M.S., Sumangala, S.W., De Silva, O., Chathuranga, D., Lalitharatne, T.D., Design and development of an automated battery swapping and charging station for Multirotor Aerial Vehicles. 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), Jeju, 356-361, 2017.
- [135] Shiau, J.K., Ma, D.M., Yang, P.Y., Wang, G.F, Gong, J.H., Design of a solar power management system for an experimental UAV. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 45(4), 1350-1360, 2009.
- [136] Fazelpour, F., Vafaeipour, M., Rahbari, O., Shirmohammadi, R., Considerable parameters of using PV cells for solar-powered aircrafts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 81-91, 2013.
- [137] Gadalla, M., Zafar, S., Analysis of a hydrogen fuel cell-PV power system for small UAV. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 6422-6432, 2016.
- [138] Liu, C., Wang, L., Liu, C., Mission planning of the flying robot for powerline inspection. *Progress in Natural Science*, 19, 1357-1363, 2009.
- [139] Achtelik, M.C., Stumpf, J., Gurdan, D., Doth, K.M., Design of a flexible high performance quadcopter platform breaking the MAV endurance record with laser power beaming. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, San Francisco, 5166-5172, 2011.

- [140] Chen, Q., Zhang, D., Zhu, D., Shi, Q., Gu, J., Ai, Y., Design and experiment for realization of laser wireless power transmission for small unmanned aerial vehicles. *Advances in Laser Technology and Applications Proceedings of SPIE*, Beijing, 9671, 2015.
- [141] Duncan, K.J., Laser based power transmission: Component selection and laser hazard analysis. *IEEE Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power (WoW)*, Knoxville, 100-103, 2016.
- [142] Baronti, F., Fantechi, G., Leonardi, E., Roncella R. & Saletti, R., Hierarchical platform for monitoring, managing and charge balancing of LiPo batteries. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Chicago, 1-6, 2011.
- [143] Carkhuff, B. G., Demirev, P. A. & Srinivasa, R., Impedance-Based Battery Management System for Safety Monitoring of Lithium-Ion Batteries. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(8), 6497-6504, 2018.
- [144] Katzir, L., Loewenstern, Y., Bishara, B., Shmilovitz, D., Implementation of a high voltage power supply with the MATLAB/Simulink embedded coder. *28th Convention of Electrical & Electronics Engineers in Israel (IEEEI)*, Eilat, 1-4, 2014.
- [145] Kırıcıoğlu, O., Ünlü, M., Çamur, S., Değişir&gözle ve artımsal iletkenlik algoritmalarının EN 50530 dinamik verim testine göre performanslarının değerlendirilmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 85-93, 2018.
- [146] Kurak, E., Erdemir, V., Dursun, A.B, PV Sistemin İçin Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Tasarımı ve Uygulaması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4, 581-592, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan ÜÇGÜN

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Doktora	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği	2022
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bilgisayar Mühendisliği	2014
Lisans	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği	2012
Lise	Adana Abdulkadir Paksoy Lisesi	2006

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2021 - Halen	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Bilgi İşlem Daire Başkanlığı	Öğretim Görevlisi
2020 - 2021	Eskişehir Teknik Üniversitesi / Bilgi İşlem Daire Başkanlığı	Öğretim Görevlisi
2014 - 2020	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

1. Üçgün H., Yüzgeç U., Bayılmış C., İHA Bataryasının Şarj Padi ile Dengeli Şarj Edilmesi ve Gerçek Zamanlı İzleme Sistemi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(1): 398-407, 2021.
2. Üçgün H., Yüzgeç U., Bayılmış C., A Review on Applications of Rotary-Wing Unmanned Aerial Vehicle Charging Stations, International Journal of Advanced Robotic Systems, 18(3): 1-20, 2021.
3. Üçgün H., Kaplan Z.K., Yüzgeç U., Akıllı Hava İstasyonu ile IoT Tabanlı Hava Durumu İzleme Sistemi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 23, 563-571, 2021.
4. Üçgün H., Gömbeci F., Yüzgeç U., Yalçın N., IoT Tabanlı Platform ile Gerçek Zamanlı İç Ortam Hava Kalitesi İzleme Sistemi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7(1):370-381, 2020.
5. Üçgün Hakan, Çiçekdemir Çağrı, Yüzgeç Uğur, Kesler Metin, The Comparison of Energy Sources Used in Unmanned Air Vehicles, International Journal of Scientific and Technological Research, 5(6), 30-38, 2019.
6. Üçgün H., Kocaman O., Yüzgeç U., Çiçekdemir Ç., Kırmızı Kaliforniya Solucanlarının Yaşam Ortamlarının Mikrodenetleyici ile İzlenmesi, Academic Perspective Procedia, 1(1): 843-851, 2018.
7. Üçgün H., İleri E., Yüzgeç U., Yayla R., Development of Microcontroller Based Two Stage Student Attendance Management System, Academic Perspective Procedia, 1(1): 429-437, 2018.
8. Yüzgeç U., Ökten İ., Üçgün H., Gün A.R., Türkyılmaz T., Kesler M., Karakuzu C., Uçar G., Development of the Test Platform for Rotary Wing Unmanned Air Vehicle, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3(2): 18-24, 2016.
9. Üçgün H., Yüzgeç U., Gün A.R., Döner Kanatlı İHA'lar için Şarj Padi Tasarımı ve Geliştirilmesi, Global Conference on Engineering Research (GLOB CER'21), Balıkesir, Türkiye, pp. 318-326, 2021.
10. Üçgün H., Öztürk İ., Madenlerdeki Yaşam Koşullarının Mikrodenetleyici Tabanlı Sistem ile İzlenmesi, The 8th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2020), Bursa, Türkiye, pp. 395-403, 2020.
11. Yayla R., Üçgün H., Tunçer S., Şifreleme Yöntemleri ve Hesap Güvenliği Üzerine Bir Araştırma, The 8th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2020), Bursa, Türkiye, pp. 395-403, 2020.
12. Üçgün H., Efendi M., Yüzgeç U., Mikrodenetleyici Tabanlı Sistem ile Deprem

Yatağının Geliştirilmesi, UBMK2019, International Conference on Computer Science and Engineering, Samsun, Türkiye, pp. 596-600, 2019.

13. Çiçekdemir Ç., Üçgün H., Yüzgeç U., Kesler M., Designing Autonomous Landing System For Rotary Wing Unmanned Air Vehicles, International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science (ICATCES'18), Safranbolu, Türkiye, pp. 10-13, 2018.
14. Üçgün H., Kaplan Z.K., Determination of the Psychological Effects of Weather Conditions on Humans with RPi Based Weather Station, 7th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'2018), Antalya, Türkiye, pp. 636-639, 2018.
15. Üçgün H., Akbaş A., Detection of Epilepsy Crisis with Raspberry Pi Based Controller, 7th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'2018), Antalya, Türkiye, pp. 1052-1055, 2018.
16. Arslan B., Üçgün H., Yüzgeç U., Image Processing Based License Plate Recognition System using Raspberry Pi 3 Microcontroller, International Congress on Engineering and Life Sciences (ICELIS'18), Kastamonu, Türkiye, 2018.
17. Ok F., Can M., Üçgün H., Yüzgeç U., Kesler M., Real-Time Object Tracking System using Raspberry Pi 3 Microcontroller. International Congress on Engineering and Life Sciences (ICELIS'18), Kastamonu, Türkiye, 2018.
18. Üçgün H., Kaplan Z.K., Arduino Based Weather Forecasting Station, UBMK2017, International Conference on Computer Science and Engineering, Antalya, Türkiye, pp. 1031-1036, 2017.
19. İskender A., Üçgün H., Yüzgeç U., Kesler M., Voice Command Controlled Mobile Vehicle Application, UBMK2017, International Conference on Computer Science and Engineering, Antalya, Türkiye, pp. 970-974, 2017.
20. Ok F., Can M., Üçgün H., Yüzgeç U., Smart Mirror Applications with Raspberry Pi, UBMK2017, International Conference on Computer Science and Engineering, Antalya, Türkiye, pp. 99-103, 2017.
21. Uçar G., Üçgün H., Yüzgeç U., Karakuzu C., Üç Serbestlik Dereceli Dengeleme Halkasının Modellenmesi ve Kontrolü, UBMK'2016 Uluslararası Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Konferansı, Tekirdağ, Türkiye, 2016.
22. Kozlu H., Üçgün H., İmal N., Arm Modülü Kullanarak Usart Haberleşme, UBMK'2016 Uluslararası Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Konferansı, Tekirdağ, Türkiye, 2016.
23. Üçgün H., Ökten İ., Yüzgeç U., Kesler M., Graphical Interface Design and Implementation for Flight Tests of the Rotary Wing Unmanned Aerial Vehicles, UBMK'2016 Uluslararası Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Konferansı,

Tekirdağ, Türkiye, 2016.

24. Üçgün H., Ökten İ., Yüzgeç U., Kesler M., Dört Rotorlu Döner Kanat İnsansız Hava Aracı Test Düzenegi Geliştirilmesi, EEB'2016 Elektrik-Elektronik Ve Bilgisayar Sempozyumu, Tokat, Türkiye, 2016.
25. Ökten İ., Üçgün H., Yüzgeç U., Kesler M., Döner Kanat İnsansız Hava Aracının Dinamik Modellenmesi Ve Benzetimi, EEB'2016 Elektrik-Elektronik Ve Bilgisayar Sempozyumu, Tokat, Türkiye, 2016.
26. Üçgün H., Danacı M., Performance Comparison of Aodv Dsr and Dsdv Routing Protocols in Mobil Ad Hoc Networks, International Congress on Natural and Engineering Sciences'2015, Sarajevo, Bosna-Hersek, 2015
27. Üçgün H., Kesler M., Karakuzu C., Yüzgeç U., Bilkopter için GPRS Tabanlı Navigasyon Uygulaması, Eleco '2012 - Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 2012