

ELEKTRİKLİ UÇAKLAR İÇİN LİTYUM TABANLI BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ MODELLEMESİ VE TASARIMI

Burak TARHAN

Yüksek Lisans Tezi

Havacılık Elektrik ve Elektronik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Tahir Hikmet KARAKOÇ

(İkinci Danışman: Arş. Gör. Dr. Özge YETİK)

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2022

Bu tez çalışması BAP Komisyonu tarafından kabul edilen 20ADP233 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

17/01/2022

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Burak TARHAN, ELEKTRİKLİ UÇAKLAR İÇİN LİTYUM TABANLI BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ MODELLEMESİ VE TASARIMI başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Prof. Dr. Tahir Hikmet KARAKOÇ

ÖZET

ELEKTRİKLİ UÇAKLAR İÇİN LİTYUM TABANLI BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ MODELLEMESİ VE TASARIMI

Burak TARHAN

Havacılık Elektrik ve Elektronik Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2022

Danışman: Prof. Dr. Tahir Hikmet KARAKOÇ

(İkinci Danışman: Arş. Gör. Dr. Özge YETİK)

Havacılık endüstrisinin mevcut zorlukları arasında enerji ihtiyaçları ve çevre kirliliği konuları önemli bir yer almaktadır. Dünyada enerji ve çevre sorunlarının çözümü için son yıllarda atılan adımlardan biri lityum türevli bataryaların kullanılmasıdır. Bu çözüm doğrultusunda, otomotiv ve havacılık sektörlerinde kullanılmaya başlanan bataryaların tek başına yeterli olmadığı gözlenmiştir. Bunun nedeni bataryaların hatalı kullanımı veya zorlu koşullarda çalışmaktan kaynaklanan hasarlar alması olarak verilmiştir. Bu sorunların kontrol altına alınması için batarya yönetim sistemine (BYS) ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır. Bir BYS'nin görevi lityum batarya paketinin ve batarya hücrelerinin gerilimini, sıcaklığını, akımını, şarj durumunu (SoC), sağlık durumunu (SoH) ölçmesi ve kontrol etmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu değerlerin haberleşme yöntemi ile kullanıcı ara yüzüne iletilmesi ve kayıtların tutulması gerekmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda, elektrikli uçaklar için iki farklı özelliğe sahip Lityum İyon (Li-Ion) ve Lityum Demir Fosfat (LFP) bataryaları kullanarak ayrı portlar üzerinden çalıştırabilen ve kontrol edebilen hibrid BYS modellenmiştir. Yeni yaklaşımla BYS tasarımı için Altium programı kullanılmış ve hücre ölçümleri için LTC6804 mikroişlemci seçilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Batarya yönetim sistemi tasarımı, Altium simülasyonu, Elektrikli uçaklar, Lityum Demir Fosfat batarya, Lityum İyon batarya

ABSTRACT

LITHIUM BASED BATTERY MANAGEMENT SYSTEM MODELING AND DESIGN FOR ELECTRIC AIRCRAFT

Burak TARHAN

Department of Department of Avionics

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2022

Supervisor: Prof. Dr. Tahir Hikmet KARAKOÇ

(Co-Supervisor: R.A.Dr. Özge YETİK)

Among the current challenges of the aviation industry, energy needs and environmental pollution issues take an important place. One of the steps taken in recent years for the solution of energy and environmental problems in the world is the use of lithium-derived batteries. In line with this solution, it has been observed that the batteries, which have started to be used in the automotive and aviation sectors, are not sufficient on their own. This is due to the batteries being damaged by misuse (over-discharging or over charging) or operating in harsh conditions (low or high temperature). It has been understood that a battery management system (BMS) is needed to control these problems. BMS ensures that the operating conditions of the battery are in the ideal range. The task of a BMS is defined as measuring and controlling the voltage, temperature, current, state of charge (SoC), state of health (SoH) of the lithium battery pack and battery cells. These values should be transmitted to the user interface by a communication method and records of the information should be kept. For these purposes, a hybrid BMS that can operate and control two different Lithium Ion (Li-Ion) and Lithium Iron Phosphate (LFP) batteries through separate ports has been designed for electric aircraft. With the new approach, Altium program was used for BMS design and LTC6804 microprocessor was chosen for cell measurements.

Keywords: Design of battery management system, Altium simulation, Electric aircraft.
Lithium Iron Phosphate battery, Lithium-Ion battery.

TEŞEKKÜR

Bilgi, tecrübe ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ'a,

Katkıları ve değerlendirmeleri için değerli hocam Arş. Gör. Dr. Özge YETİK'e,

Bu tezi yazmamda destekleri olan Arş. Gör. Betül KAÇAR'a, Elif KARAKILIÇ'a, Harun KURDAL ve Kadir Kemal APAYDIN'a,

Özellikle bu günlere gelmemde her türlü maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen her koşulda yanımda olan çok değerli anneme, babama ve kardeşlerime

En içten teşekkürlerimi sunarım.

Burak TARHAN

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Burak TARHAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
GÖRSELLER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Ön Bilgi	1
1.2. Problemin Tanımı	2
1.3. Çalışmanın Hedefi ve Amacı	3
1.4. Çalışmanın Yöntemi	4
1.5. Çalışmanın İçeriği	4
2. GENEL BİLGİLER VE TEMEL KAVRAMLAR.....	5
2.1. Elektrikli Uçaklar	5
2.2. Elektrikli Motorlar ve Türleri	7
2.2.1. Elektrikli motor	7
2.2.2. Paralel hibrid elektrik motor	9
2.2.3. Seri hibrid elektrik motor	10
2.2.4. Turbo elektrikli motor	11
2.3. Bataryalar ve Türleri.....	12

2.3.1. Havacılıkta kullanılan bataryalar.....	13
2.4. Batarya Türleri.....	14
2.4.1. Nikel-Kadmiyum (Ni-Cd) bataryalar	14
2.4.2. Nikel-Metal Hidrid (Ni-MH) bataryalar	14
2.4.3. Lityum- Polimer (LiPO) bataryalar	14
2.4.4. Lityum-İyon (Li-Ion) bataryalar	15
2.4.4.1. Lityum demir fosfat (LFP) bataryalar	15
2.4.4.2. Lityum kobalt oksit (LCO) bataryalar.....	15
2.4.4.3. Lityum nikel mangan kobalt (NMC) bataryalar	15
2.5. Batarya Özellikleri ve Karşılaştırılması.....	16
2.6. Batarya Şekilleri.....	17
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	19
4. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ	31
4.1. Batarya Yönetim Sistemi Sınıflandırılması	32
4.1.1. Dağıtılmış topoloji	33
4.1.2. Modüler topoloji.....	33
4.1.3. Merkezi topoloji.....	34
4.2. Gerilim, Akım ve Sıcaklık Koruması ve İzlemesi	34
4.3. Hücre Dengeleme	36
4.3.1. Pasif dengeleme.....	37
4.3.1.1. Bütünleşik dirençli pasif dengeleme	37
4.3.1.2. Anahtarlama dirençli pasif dengeleme.....	38
4.3.2. Aktif dengeleme	38
4.3.2.1. Anahtarlama kapasitör aktif dengeleme.....	39
4.3.2.2. Anahtarlama tek kapasitör aktif dengeleme.....	39
4.3.2.3. Anahtarlama çift kapasitör aktif dengeleme	40
4.4. SoC Tahminlemesi	40
4.5. Haberleşme Yöntemleri.....	43
4.6. BYS için Üretilen Mikroişlemciler	44
5. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ MODELLEMESİ.....	46
5.1. Modellenen Batarya Yönetim Sisteminin İçeriği ve Devre Şemaları.....	46

6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKÇA.....	57
ÖZGEÇMİŞ	



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Elektrikli uçaklar ve özellikleri	5
Tablo 2.2. 2020-2050 yılları arasında üretilmesi planlanan elektrikli-hibrid uçaklar	6
Tablo 2.3. Günümüzde sık kullanılan uçaklar ve özellikleri	7
Tablo 2.4. Batarya türlerinin özellikleri	16
Tablo 3.1. BYS için yapılan tez çalışmaları.....	21
Tablo 4.1. BYS'nin görevleri	32
Tablo 4.2. BYS tasarımında kullanılan bataryaların özellikleri.....	35
Tablo 4.3. SoC tahminleme yöntemleri	41
Tablo 4.4. Haberleşme tiplerini karşılaştırılması	43
Tablo 4.5. BYS için üretilen mikro işlemcileri	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Elektrik motor şematiği	8
Şekil 2.2. Paralel hibrid elektrik motor şematiği	10
Şekil 2.3. Seri hibrid elektrik motor şematiği	11
Şekil 2.4. Turbo elektrikli motor şematiği	12
Şekil 4.1. Batarya gerilimi ve sıcaklığa bağlı güvenli çalışma alanı	31
Şekil 4.2. Bataryanın sıcaklık ve akıma bağlı olarak güvenli çalışma alanı	32
Şekil 4.3. Dağıtılmış topoloji yapısı	33
Şekil 4.4. Modüler topoloji yapısı	33
Şekil 4.5. Merkezi topoloji yapısı	34
Şekil 4.6. Hücre dengeleme yöntemleri	37
Şekil 4.7. Bütünleşik dirençli pasif dengeleme	38
Şekil 4.8. Anahtarlama dirençli pasif dengeleme	38
Şekil 4.9. Anahtarlama kapasitör aktif dengeleme	39
Şekil 4.10. Anahtarlama tek kapasitör aktif dengeleme	40
Şekil 4.11. Anahtarlama çift kapasitör aktif dengeleme	40
Şekil 5.1. Batarya yönetim sistemi devre şeması	46
Şekil 5.2. LTC6804 işlemcinin çizimi	48
Şekil 5.3. Gerilim ölçüm ve kontrol devresi	49
Şekil 5.4. Akım ölçüm devresi	50
Şekil 5.5. Sıcaklık ölçüm devresi	51
Şekil 5.6. Haberleşme devresi	52
Şekil 5.7. Hücre dengeleme devresi	53
Şekil 5.8. EEPROM devresi	54
Şekil 5.9. Basınç ölçüm devresi	55

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. Elektrikli motor	8
Görsel 2.2. Paralel hibrid elektrik motor	9
Görsel 2.3. Seri hibrid elektrik motor	11
Görsel 2.4. Turbo elektrikli motor	12
Görsel 2.5. Batarya türlerinin hacimsel ve ağırlık olarak enerji yoğunluğu karşılaştırılması	16
Görsel 2.6. Lityum türevli bataryalarının ideal çalışma sıcaklığı ve çevrim sayısı değişimi grafiği	17
Görsel 2.7. Lityum türevli bataryaların çalışma sıcaklığı ve enerji yoğunluğu grafiği	17
Görsel 2.8. Batarya Şekilleri (a) prizmatik, (b) poşet, (c) silindirik, (d) düğme tipi hücre	18
Görsel 4.1. (a) Li-Ion batarya- (b) LFP batarya	35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER DİZİNİ

β	: Transistörün kazancı
C_n	: Batarya kapasitesi (Amper-Saat)
E_b	: Bataryanın enerji değeri
h	: Zaman birimi (saat)
H_e	: Enerji değerinin hibridizasyonu
H_p	: Güç değerinin hibridizasyonu
Hz	: Frekans değeri
I	: Akım (Amper, A)
I_b	: Transistörün base bacağından geçen akım değeri (Amper, A)
I_c	: Transistörün kolektör bacağından geçen akım değeri (Amper, A)
I_e	: Transistörün emiter bacağından geçen akım değeri (Amper, A)
I_{stan}	: Bataryanın standart şarj akımı
I_{fast}	: Bataryanın hızlı şarj akımı
I_{max}	: Bataryanın maksimum deşarj akımı (Amper, A)
P_m	: Motor güç değeri
P_{top}	: Toplam güç değeri
V	: Gerilim (Volt)
V_{ce}	: Emiter ile Kolektör Arasındaki Gerilim Farkı (Amper, A)
V_{be}	: Emiter ile Base Arasındaki Gerilim Farkı (Amper, A)
V_{max}	: Maksimum gerilim (Volt)
V_{min}	: Minimum gerilim (Volt)

KISALTMALAR DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
AC	: Alternatif Akım
ADC	: Analog-Dijital Dönüştürücü
BYS	: Batarya Yönetim Sistemi
CANbus	: Kontrolör Alan Ağı
CC-CV	: Sabit Gerilim- Sabit Akım
CO ₂	: Karbondioksit
DC	: Doğru Akım
E	: Elektrikli Motor
EASA	: Avrupa Havacılık Güvenliği Ajansı (European Union Aviation Safety Agency)
EIS	: Elektro-Kimyasal Empedans Spektroskopisi (Electrochemical Impedance Spectroscopy)
EMF	: Elektro İtici Güç (Elektro Motor Force)
I ² C	: Entegre Devre
IATA	: Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (The International Air Transport Association)
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (International Civil Aviation Organization)
IPCC	: Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
KF	: Kalman Filtre
LCO	: Lityum Kobalt Oksit
Li-Ion	: Lityum İyon
LiPO	: Lityum- Polimer
LFP	: Lityum Demir Fosfat
LiFeS ₂	: Lityum Demir Sülfür
Ni-Cd	: Nikel-Kadmiyum
Ni-MH	: Nikel-Metal Hidrid
NMC	: Lityum Nikel Manganez Kobalt
NO ₂	: Azot Dioksit

NTC	: Negatif Sıcaklık Katsayısı
O ₃	: Ozon
OCV	: Açık Devre Gerilimi
PHE	: Paralel Hibrid Bağlantılı Motor
PM	: Partikül Madde
PTC	: Pozitif Sıcaklık Katsayısı
RS232	: Önerilen Standart 232
RS485	: Önerilen Standart 485
SHE	: Seri Hibrid Bağlantılı Motor
SPI	: Seri Çevresel Arabirim
SO ₂	: Kükürt Dioksit
SoC	: Batarya Şarj Durumu
SoH	: Batarya Sağlık Durumu
TE	: Turbo Elektrikli Motor
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
UART	: Evrensel Asenkron Alıcı Verici
VRLA	: Valf Düzenlemeli Kurşun Asit
YH	: Yakıt Hücresi

1. GİRİŞ

Bu bölümde Türkiye’de ulaşımdan kaynaklanan sera gazı emisyonları hakkında genel bilgiler verilmiş ve Dünya çapında havacılıkta emisyon değerleri ve gelecekteki olası sera gazı emisyonları ve çevre kirliliği üzerine temel bilgiler sunulularak, problemin ne olduğu, bu çalışmanın amacı, hedefi, çalışma yöntemi ve çalışmanın içeriği yer almıştır.

1.1. Ön Bilgi

Küresel ısınma, çevre kirliliği ve karbon emisyonu problemleri tüm Dünyada olduğu gibi Türkiye’nin de problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu problemlere özellikle insan sağlığını, çevre etmenleri ve gelecek hayatın sürdürülebilir olmasını tehdit etmesi nedeniyle, çözüm aranması gerekmektedir. Bu sebepler doğrultusunda Paris Anlaşması ile 2016 yılında ülkemiz tarafından yürürlüğüne giren kanunlar doğrultusunda 2021-2030 yılları arasında sera gazı emisyonlarının %18-21 seviyesinde azaltılması hedeflenmektedir [1]. Bu hedefler 55 farklı alanda alınan önlemlerden oluşmaktadır. En büyük kısıtlama ve önlemler ulaşım sektörünü kapsamaktadır. 2018 yılı verilerine göre ülkemizde ulaşımda kullanılan enerji tüketimi 28.441 bin Ton Eşdeğer Petroldür (TEP). Harcanan enerjinin %98’i petrol kaynaklarından, %1,2’si doğal gaz kaynaklarından ve %0,8’i de elektrik ve biyoyakıtlardan karşılanmaktadır [2]. Ulaşım sektöründe tüketilen enerji kaynakları toplam ülke enerji tüketiminin %15’ini kapsamaktadır. Buna bağlı olarak ülkemizde üretilen toplam karbondioksit (CO₂) gaz emisyonunun %16’sına ulaşım sektörü neden olmaktadır. Ulaşımdan kaynaklanan insan sağlığına zararlı emisyonlar arasında CO₂, partikül madde (PM), azotdioksit (NO₂), ozon (O₃) ve kükürt dioksit (SO₂) gazları sayılmaktadır [3]. Bunun yanı sıra ülkemizde 2000-2017 yıllarında ulaşım sektörü kaynaklı sera gazı emisyonlarında %132’lik artış gözlenmiştir. Ülkemizde ulaşım kaynaklı emisyonların azaltılması için kirlletici vasfı yüksek araçların trafikten çekilmesi veya yüksek CO₂ emisyonu sahip uçakların havalimanlarında kalması durumunda yüksek vergilendirme ile daha az emisyon sağlayan ulaşım araçlarında teşvik kampanyaları gerçekleştirilmektedir [4].

Havacılık sektörü emisyon değerleri ve gelecek hedefleri incelediğinde;

Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (International Civil Aviation Organization - ICAO) 2021 yılı açıklamasına göre, 2017’de Avrupa Birliği (AB)’nde havacılıktan kaynaklanan doğrudan emisyonlar, toplam CO₂ emisyonlarının %3,8’ini oluşturmaktadır. Havacılık sektörü, ulaşımdan kaynaklanan emisyonların %13,9’unu oluşturmakta ve

karayolu taşımacılığından sonra en büyük ikinci ulaştırma emisyon kaynağı olarak görülmektedir [5].

COVID-19 salgınından önce, ICAO, 2050 yılına kadar uluslararası havacılık emisyonlarının 2015'e kıyasla üç katına çıkabileceğini tahmin etmektedir [5].

Avrupa Havacılık Güvenliği Ajansı (European Union Aviation Safety Agency - EASA) tarafından Kasım 2020'de yürütülmüş bir araştırmada, havacılığın iklim değişikliği üzerindeki CO₂ dışı etkilerini incelenmiş, yüksek irtifalar için NO₂, SO₂ ve atık yakıt parçacıklarının salınmasıyla ortaya çıkan emisyonların iklim üzerinde etkisi değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, AB emisyon ticareti sisteminin belirlediği gerekliliklerin sınır değerlerde karşıladığı tespit edilmiştir [5].

Yapılan tüm çalışmalar neticesinde, gelecek sera gazı hedeflerine ulaşmak ve havacılığı sürdürülebilir kılmak için sera gazı emisyonları üreten fosil yakıtlar yerine yenilebilir enerji kaynaklarının kullanılması gerekliliği öngörülmüştür.

1.2. Problemin Tanımı

1999 yılında yapılan Hükümetler Arası İklim Değişikliği Panelinde (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC), hem CO₂ hem de artan sera gazı seviyelerinin küresel atmosferik çevre üzerindeki potansiyel etkileri konu olarak gündeme alınmıştır [6]. IPCC 2014 verilerine göre havacılık sektörü, tüm sera gazı ile ilgili CO₂ emisyonlarının yaklaşık %2'sini üretmektedir [7]. Bu oran tüm sera gazı emisyon değerleri ile karşılaştırıldığında düşük bir oran olarak görülsede havacılığa artan talep nedeniyle havacılık emisyonlarının 2050'ye kadar yıllık yaklaşık %3-4 oranında artması beklenmektedir [8]. Yaklaşık 100 yılda %2 seviyelerine ulaşan havacılık emisyon miktarının önlem alınmaması durumunda sadece 35 yıl sonra mevcut emisyon değerlerinin 2 katına çıkması beklenmektedir. Bu artış logaritmik olduğu için havacılık emisyonlarının hızlı bir şekilde artışına neden olacaktır. Uçak üreticisi olan Airbus ve Boeing firmaları 2030 yılına kadar havacılık emisyonlarının yaklaşık yıllık %5 seviyesinde artışının gerçekleşeceği, buna rağmen yakıt verimliliğinde ise ancak yıllık %1-1,5 seviyelerinde iyileşmenin olacağını tahmin etmektedirler [9]. Sürdürülebilir bir yaşam için, havacılığın sera gazı emisyonlarında artan bir paya sahip olduğunun havacılık endüstrisi ve kurumları tarafından ön plana çıkarılması gerektiği vurgulanmıştır [10].

Havacılığın yarattığı olumsuz çevresel etkilere ilişkin artan endişeye ek olarak, havacılık yakıtı, bir havayolu işletme maliyetinin en önemli bileşenidir ve işletme maliyetinin yaklaşık %30-40'ını oluşturmaktadır. Bu maliyetin yüksek olmasının nedenleri yakıt fiyatlarındaki artış ve arz-talep ihtiyaçları olarak sıralanabilir. Petrol fiyatlarının değişken ve yüksek olmasına rağmen kar marjlarının düşük tutulması sonucunda, işletmenin sürdürülebilirliği yolcu kapasitesinin maksimum hale getirmesi ile devam ettirilmeye çalışılmaktadır. Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (The International Air Transport Association-IATA) tarafından 2013/2014 mali yılı için kar marjlarının %1,8 seviyesinde bir değer olduğu açıklanmıştır [11]. Ham petrolün gelecekte tükeneceğinin bilinmesi ve artan yakıt ihtiyacı ile ortaya çıkan arz-talep, uçak yakıt fiyatında artış olarak karşımıza çıkmaktadır. Kar marjları düşük tutulmaya çalışılsa bile, orta sınıftaki bir insanın ulaşım aracı olarak hava araçlarını tercih edemeyeceği anlamı ortaya çıkmaktadır. Gelecekte artan yakıt fiyatları ve arz-talep durumundan havacılık sektörünün daralması söz konusu olabileceği ön görülmektedir.

1.3. Çalışmanın Hedefi ve Amacı

Artan CO₂ emisyonlarının çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin olması, bunun yanında fosil yakıtların giderek azalması sonucunda, kullanımının azalması beklenen içten yanmalı jet motorlarının yerine alternatiflerinin üretilmesi gerekmektedir.

Yolcu taşımacılığının devam ettirilmesi için jet motorlarının yerine öncelikli olarak elektrikli motorlarının kullanılması beklenmektedir. Günümüzdeki elektrikli uçaklar incelediğinde güç sistemleri için birincil enerji kaynağı olarak bataryaların kullanıldığı görülmektedir [12]. Yapılan açık literatür taraması sonucunda elektrikli uçaklarda bataryaların doğrudan elektrikli motorlara bağlanmasının uygun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır [13]. Elektrikli uçaklarda kullanılan güç sisteminin çalışması için batarya yönetim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada lityum türevli batarya için batarya yönetim sistemi modellemesi oluşturulmuştur. Tasarlanan batarya yönetim sisteminin amacı sektörde var olan farklı tür lityum türevli bataryaların hibrid bir şekilde çalışmasını modellemektir. Genelde BYS'ler tek tür kimyasala sahip batarya için uygulanmaktadır. Yapılan modellemede ise iki farklı özelliğe sahip Lityum iyon (Li-Ion) ve Lityum Demir Fosfat (LiFePO₄- LFP) bataryaların üstün olduğu noktaları öne çıkaran bir BYS oluşturulmuştur.

Bu çalışmanın hedefi, elektrikli motor için tek tip batarya yerine çoklu batarya tipi ile çalışan, verimi arttıran, ağırlığı azaltan ve bir BYS'nin sahip olacağı tüm görevleri başarı ile yerine getiren bir BYS modellemektir.

Tasarlanan BYS'nin amacı, farklı özelliklere sahip olan iki bataryadan daha iyi olanın özelliklerini ön plana çıkararak BYS'nin daha etkin bir şekilde kullanılmasını, buna ek olarak; bataryanın akım, gerilim, sıcaklık, batarya şarj durumu (SoC) ve bataryanın sağlık durumu (SoH) değerlerinin kontrol altında tutulmasını ve bu değerlerin kayıt altına alınmasını sağlamaktır.

1.4. Çalışmanın Yöntemi

Çalışmada Li-Ion batarya ve LFP batarya türleri modellenmiştir. Li-Ion bataryanın enerji yoğunluğu LFP bataryaya göre daha yüksek iken, LFP bataryanın ömür döngüsü (life cycle) değeri Li-Ion bataryaya göre daha yüksektir. Li-Ion batarya 2,8- 4,2 V gerilim değerleri arasında çalışırken, LFP batarya 2,1-3,7 V gerilime sahiptir. Bu nedenle BYS modellemesinde farklı kimyasal özelliklere sahip bataryalar kullanıldığı için farklı batarya sıcaklık değerleri beklenmektedir. Altium programı, kart tasarımı yapılan ve simülasyon özelliği bulunan bir programdır. Bu nedenle bu çalışmada BYS modellemesi Altium programında oluşturulmuştur.

Batarya değerlerinin ölçümü için kullanılan 6 farklı mikro işlemci vardır. Bu çalışmada, Linear Technology şirketi üretimi LTC6804 mikroişlemcisi seçilmiştir. LTC6804 mikroişlemcisi 12 batarya hücresinin seri bağlanması ile çalışmaktadır. Ayrıca bu mikroişlemcinin yetenekleri arasında batarya ölçümü, batarya koruması, şarj-deşarj kontrolü ve batarya hücrelerinin dengelenmesi, tahminleme ve izleme özellikleri sayılabilir. Bu yetenekleri gerçekleştirilmesi için mikroişlemci ile birlikte sensörler tasarlanacaktır.

1.5. Çalışmanın İçeriği

Bölüm 2'de temel kavramlar ve genel bilgiler tanımlanmıştır. Bölüm 3'te BYS sistemi hakkında literatür taraması ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bölüm 4'te BYS modellemesi yapılırken dikkat edilen parametreler açıklanmıştır. Bölüm 5'te tasarlanan BYS kartı hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 6'de sonuçlar açıklanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER VE TEMEL KAVRAMLAR

Bu bölümde çalışmada yer alan temel kavramların tanımları yapılacaktır. Elektrikli ve hibrid uçak tarihçesinden, yeni nesil elektrikli ve hibrid uçaklardan ve elektrikli motor sistemlerinden bahsedilecektir. Elektrikli uçaklarda kullanılan batarya tipleri ve özellikleri anlatılacaktır.

2.1. Elektrikli Uçaklar

İlk elektrikli uçak, Wright kardeşlerin insanlı ilk uçuşundan yaklaşık 70 yıl sonrasında üretilmiştir. 1970'li yıllarda uçak sistemlerinin ihtiyaçlar doğrultusunda elektrikli hale getirilmesine yönelik girişimlerde bulunulduğundan, tahrik sistemlerinin güç gereksinimleri için elektrikli ve hibrid itki sistemleri incelenmiştir [14]. Bu amaç doğrultusunda, ilk elektrikli uçak olan Militky MB-E1, 23 Ekim 1973'te 100 V dc motoru çalıştıran Nikel Kadmiyum (Ni-Cd) bataryalarla 12 dakikalık ilk uçuşunu gerçekleştirmiştir [15]. Tahrik sistemlerin, elektrikli motorların, batarya kimyasallarının iyileşmesi ve teknolojik gelişmeler sonucunda 1979 yılında Solar One uçağı üretilmiştir [16]. Bu uçak, güneş panelleri ve batarya ile uçan ilk uçak olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüze kadar üretilen elektrikli uçak motorları Tablo 2.1'de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 2.1. Elektrikli uçaklar ve özellikleri [17]

Uçak Adı	Uçuş Yılı	Motor Gücü (kW)	Koltuk	Menzil (Nmi/Endur)	Batarya	Kalkış	
						Ağırlığı (kg)	Motor Türü
Militky MB	1973	-	1	-	Ni-Cd	-	E*
Solar One	1979	3	1	1.2	Ni-Cd	-	E
Lange Antares	2003	42	1	-	Li-Ion	660	E
20E							
Fishman	2008	13.5	1	90	Li-Ion	283	E
Electraflyer							
Boeing HK-36	2008	75	1	45	Li-Ion	860	YH*
FCD							
Yuneec E430	2009	40	2	-	LiPO	470	E
Siemens e-star	2011	70	2	-	LiPO	800	SHE*
Pipistel Taurus	2011	40	2	-	Li-Ion	450	E
El. G2							
Pipistel Taurus	2011	150	2	244	Li-Ion	1500	E
El. G4							
Siemens e-star 2	2013	80	2	-	LiPO	800	SHE

Airbus E-Fan	2014	60	2	60	Li-Ion	600	E
Pipistel Alpha	2015	60	2	70	Li-Ion	550	E
Electro							
Airbus E-Fan	2016	60	2	-	LiPO	600	SHE

E: Elektrikli motor YH: Yakıt hücresi SHE: Seri hibrid elektrikli motor

Tablo 2.1’de 1973 -2016 yıllarında üretilen toplam 12 adet elektrik motorlu / yakıt hücreli / hibrid motorlu uçak; motor gücü, menzil, kalkış ağırlığı ve batarya türü açısından incelenmiştir. Günümüze doğru yaklaştıkça lityum batarya teknolojindeki gelişim ve hibrid tahrik sistemlerindeki ilerleme ile birlikte menzil ve kalkış ağırlığında artış göze çarpmaktadır. Tablo 2.2’de verilen 2020-2050 yılları arasında üretilmesi planlanan elektrik motorlu ve hibrid motorlu uçakları incelediğinde, hibrid motorun daha fazla kullanılması ile menzil ve kalkış ağırlığında artışı olacağı gözlenmektedir. Tablo 2.1 ile Tablo 2.2’yi karşılaştırdığımızda ise hibrid itki sistemlerinin elektrikli itki sistemlerine göre daha büyük avantaj sağlayacağı görülmektedir.

Tablo 2.2. 2020-2050 yılları arasında üretilmesi planlanan elektrikli-hibrid uçaklar [17]

Uçak Adı	Uçuşu Planlanan Yıl	Motor Gücü (MW)	Koltuk	Menzil (Nmi/Endur)	Kalkış Ağırlığı (kg)	Motor Türü
Ampire Tailwind	2020-2025	-	-	-	-	E/SHE*
Zunum	2020-2025	1	12	700	5216	SHE
XTI Tri-Fan 600	2024	1.5	6	1200	2404	SHE
Airbus VoltAir	2035	-	33	750	33000	E*
Boeing SUGAR	2035	1	154	3500	68040	PHE*
Volt						
NASA STARC-ABL	2035	2.6	154	3500	60000	TE*
Baunhaus	2035	33.5	189	900	109300	E
Luftfahrt CeLiner						
NASA N3-X	2045	50	300	7500	227000	TE
Airbus/R-R-E	2050	9	90	1000	-	SHE
Thrust						

E: Elektrikli motor SHE: Seri hibrid elektrikli motor PHE: Paralel hibrid elektrikli motor TE: turbo elektrikli motor

Tablo 2.3'te günümüzde en çok kullanılan uçak tipleri ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.3. *Günümüzde sık kullanılan uçaklar ve özellikleri [18,19]*

Uçak Adı	Uçuş Yılı	Motor Gücü (kW)	Koltuk	Kalkış Ağırlığı (kg)
Airbus A320	1987	270	180	78000
Airbus A340	1991	415	420	276000
Airbus A380	2005	840	650	575000
Boeing B737 NG	1997	140	140	75000
Boeing B747-8	2010	480	600	448000
Boeing B777	2009	240	400	253000

Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3 incelendiğinde, 2020 yılına kadar üretilmiş elektrikli uçakların yolcu kapasitesi, menzil ve kalkış ağırlığının çok düşük olduğu, yakın tarihte elektrikli uçakların yolcu taşıma veya kargo taşımacılığında verimli olarak kullanılmayacağı ancak özel jet veya küçük yerel merkezli uçuşlar için kullanılabileceği sonucuna ulaşılmaktadır. 2035-2050 yıllarında arasında üretilmesi planlanan elektrikli uçaklar incelediğinde, elektrik ve mikroişlemci sistemlerindeki ilerleme ile turbo jet veya turbofan kullanan uçakların yerine geçeceğini ön görülmektedir. Bu değişimin en önemli bileşeni hibrid motorlardır. Bu nedenle elektrikli uçaklar konusu altında elektrikli motorlar ve türleri hakkında bilgi verilmiştir.

2.2. Elektrikli Motorlar ve Türleri

Bu bölümde elektrikli motorlar ve türleri anlatılmıştır. Motorlara ait görseller ve şematikler verilmiştir. Elektrikli motorları oluşturan elemanlar tanımlanmış ve hibridizasyon değerleri verilmiştir.

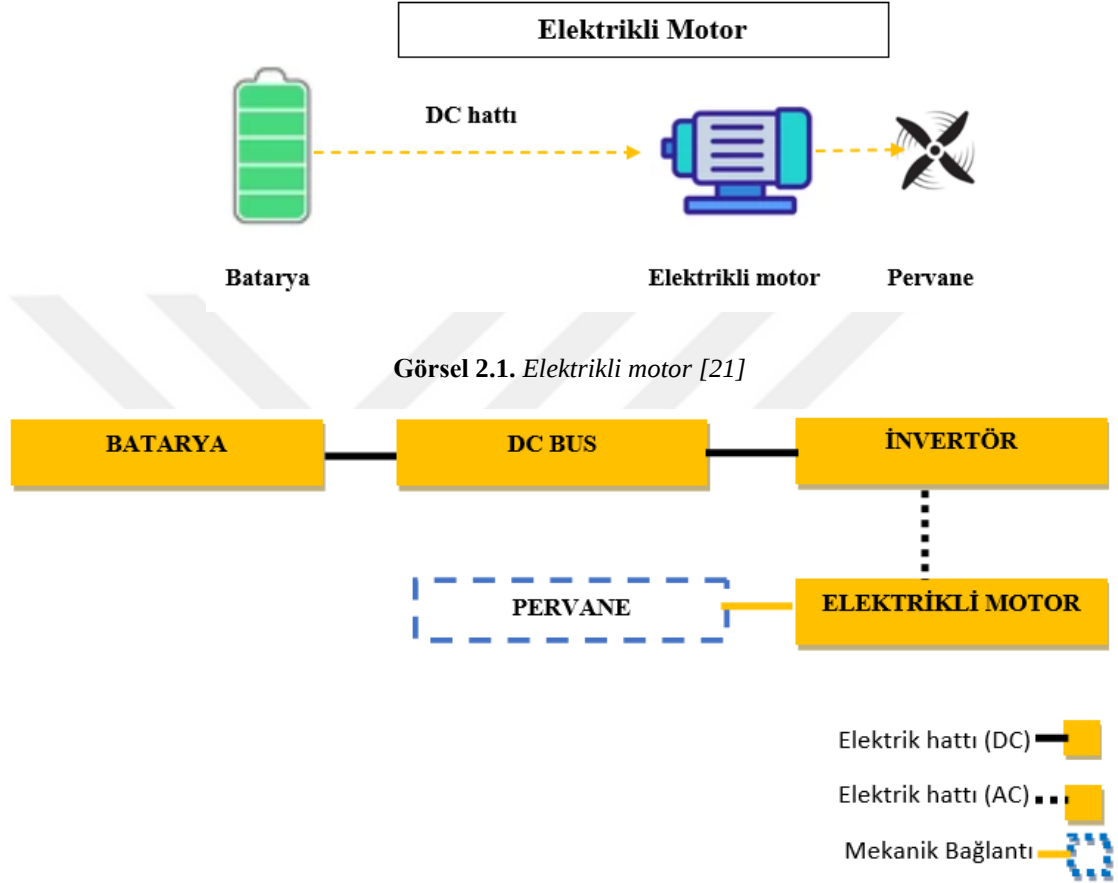
2.2.1. Elektrikli motor

Elektrikli motorlar, elektrikli uçaklar için kullanılan ilk motor türüdür. Elektrik tahrik sistemi, 4 temel elemandan oluşmaktadır. Bu elemanlar;

- Batarya; sisteme güç sağlayan enerji kaynağı görevini gerçekleştirmektedir.
- Doğrudan akım hattı (DC bus); doğru akımın, alternatif akıma dönüştürülmesine kadar güç kaybetmeden iletilmesini sağlamaktadır.
- İnvertör; doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesini sağlamaktadır.

- Elektrikli motor; sistemin itki gücünü sağlayan eleman görevini üstlenmektedir.

Elektrik tahrik sistemine ait motor şematiği Görsel 2.1’de ve Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Elektrik motor şematiği [17]

Elektrikli motorların hibridizasyon hesaplaması için Denklem 1.1 ve Denklem 1.2 kullanılmaktadır.

$$H_p = \frac{P_m}{P_{top}} \quad (1.1)$$

$$H_e = \frac{E_b}{E_{top}} \quad (1.2)$$

H_p güç değerinin hibridizasyonunu simgeler. P_m , motorun güç değerini, P_{top} ise toplam gücü tanımlar. H_e enerji değerinin hibridizasyonunu simgeler. E_b , bataryanın enerji değerini, E_{top} ise toplam enerji miktarını tanımlar. Elektrikli motor için bu değerler $H_p=1$ ve $H_e=1$ değerini görmektedir [20,21].

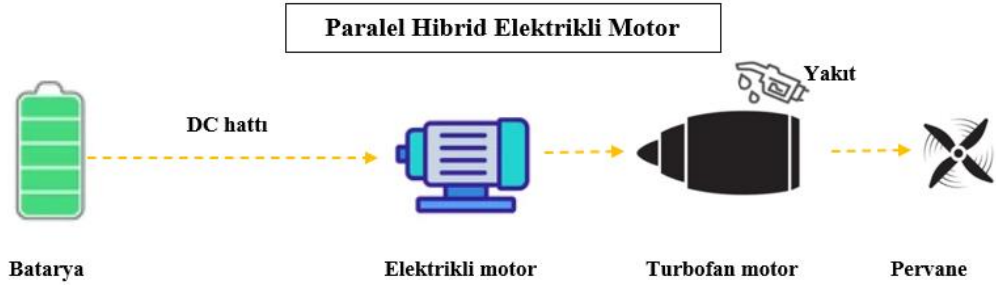
2.2.2. Paralel hibrid elektrik motor

Paralel hibrid elektrikli motor, 6 temel elemandan oluşmaktadır. Bu elemanlar sırası ile; batarya, doğru akım hattı, invertör, güç ayırma mekanizması, turbo fan motoru ve pervanedir.

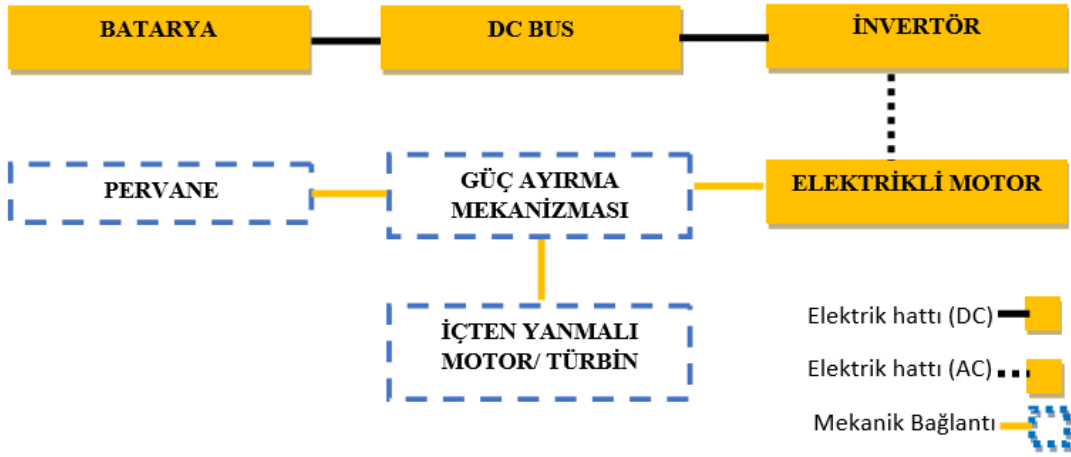
- Batarya; sisteme güç sağlayan enerji kaynağı görevini gerçekleştirmektedir.
- Doğru akım hattı; doğru akımın, alternatif akıma dönüştürülmesine kadar güç kaybetmeden iletilmesini sağlamaktadır.
- İnvertör; doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesini sağlamaktadır.
- Güç ayırma mekanizması; uçuş fazına ve güç isterine bağlı olarak elektrikli motorun veya turbo fan motorun (içten yanmalı motor) çalışmasını sağlamaktadır.
- Elektrikli motor; sistemin itki gücünü bataryadan alan elemandır.
- Turbofan motor; yakıt ile itki gücünü sağlamaktadır.

Paralel hibrid elektrikli motor için $H_p < 1$, $H_e < 1$ hibridizasyon değerleri sonucuna ulaşılmaktadır [20,21].

Paralel hibrid elektrik motoru Görsel 2.2’de ve Şekil 2.2’de verilmiştir.



Görsel 2.2. Paralel hibrid elektrik motor [21]



Şekil 2.2. Paralel hibrid elektrik motor şematiği [17]

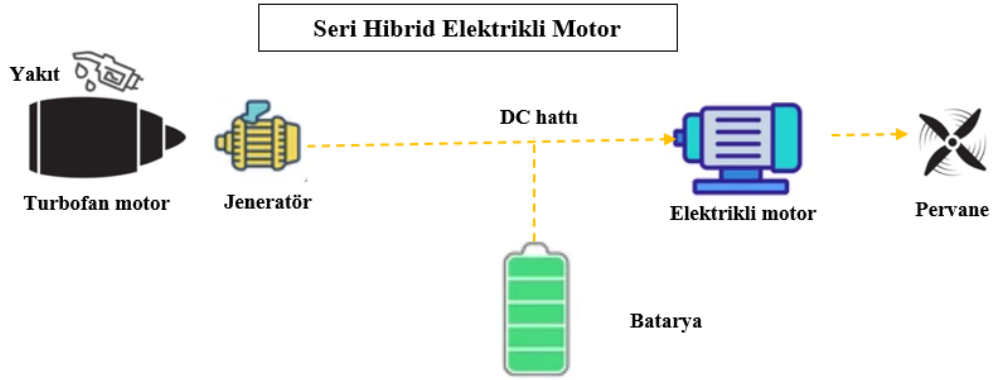
2.2.3. Seri hibrid elektrik motor

Seri hibrid elektrikli motorun yapısında 6 temel eleman bulunmaktadır.

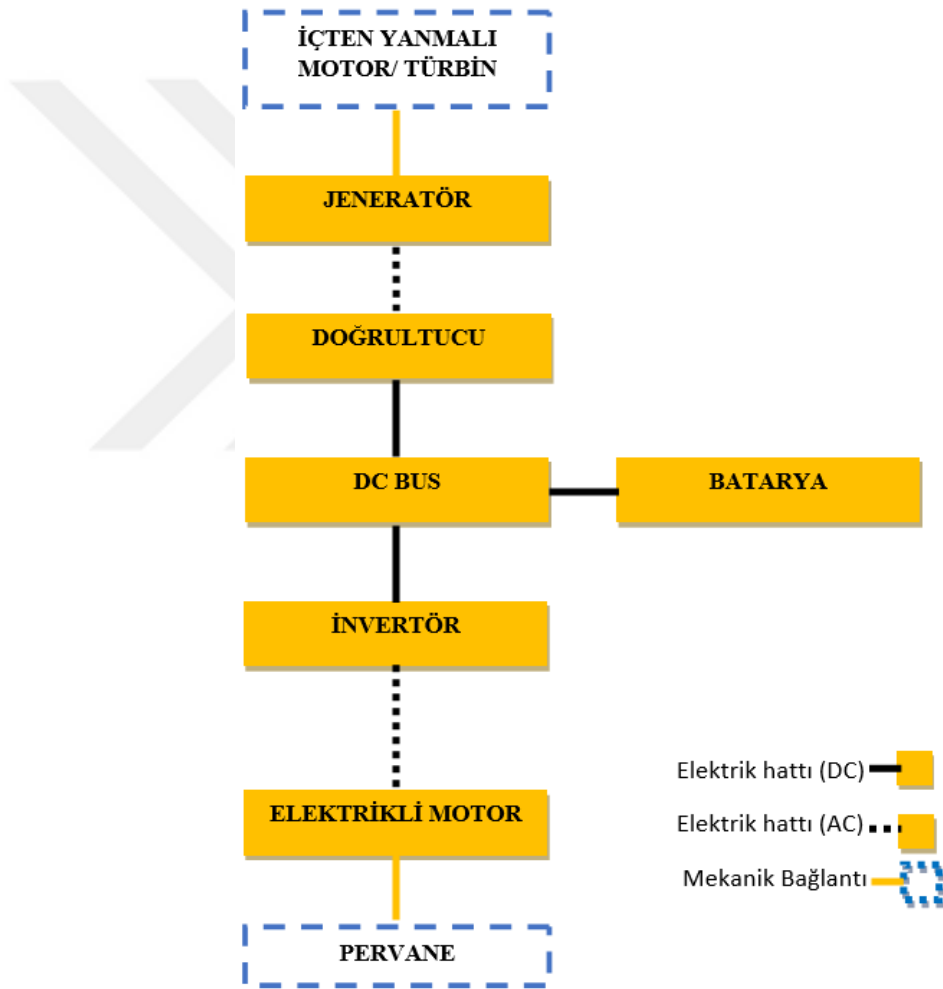
- Batarya; sisteme güç sağlayan enerji kaynağı görevini gerçekleştirmektedir.
- Doğru akım hattı; doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesine kadar güç kaybetmeden iletilmesini sağlamaktadır.
- İnvertör; doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesini sağlamaktadır.
- Doğrultucu (rectifier); invertörün tam tersi bir işlem yaparak alternatif akımın, doğru akıma dönüştürülmesi sağlamaktadır.
- Jeneratör ise doğrultucudan gelen enerjinin içten yanmalı motorun çalışması için gerekli enerji seviyesine çıkarılmasını sağlar.
- Elektrikli motor ve turbo şaft motor; birlikte itki gücünü sağlanmaktadır.

Seri hibrid motor için $H_p=1$, $H_e < 1$ hibridizasyon değerleri verilmektedir.

Seri hibrid elektrik motoru Görsel 2.3'te ve Şekil 2.3'te verilmiştir.



Görsel 2.3. Seri hibrid elektrik motor [21]

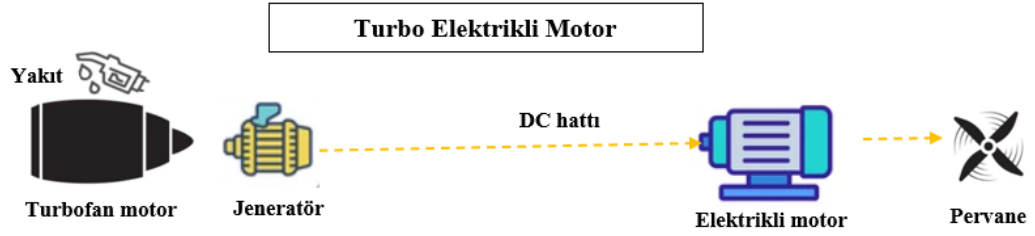


Şekil 2.3. Seri hibrid elektrik motor şematiği [17]

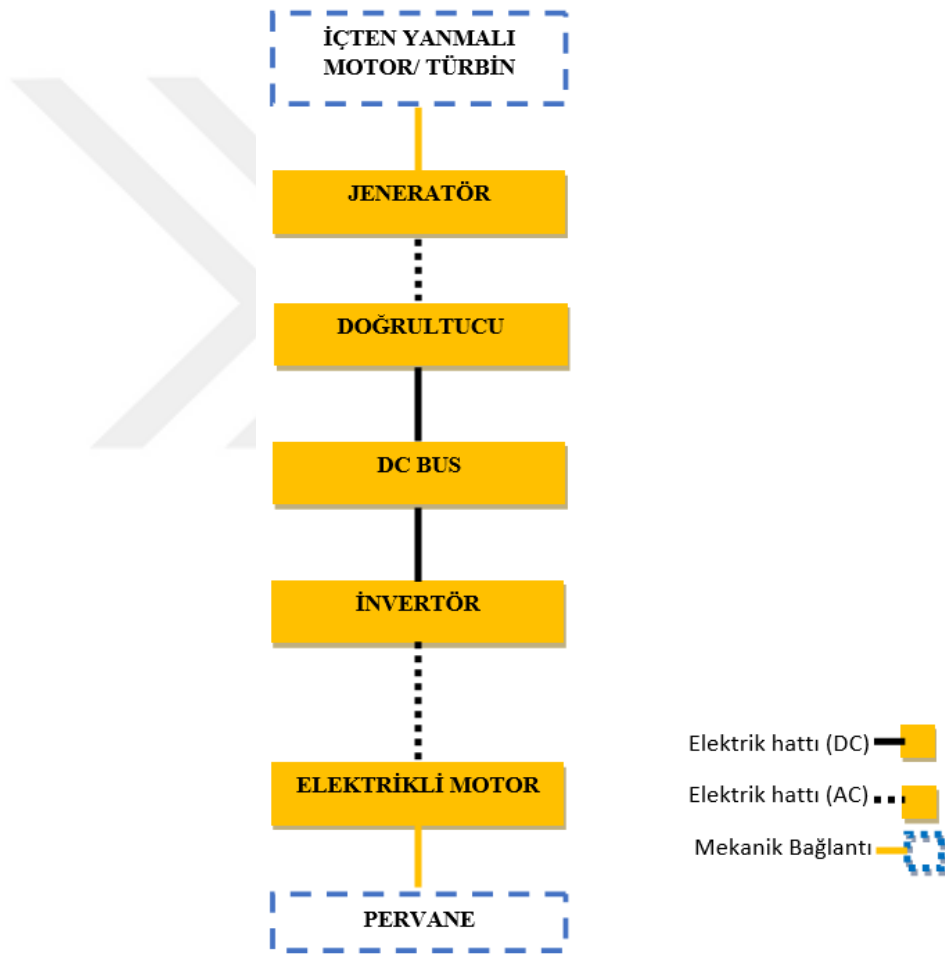
2.2.4. Turbo elektrikli motor

Turbo elektrikli motorun çalışma prensibi ve elamanları seri elektrikli motor ile benzerdir. Sadece sistemde batarya bulunmamaktadır. Elektrikli motorun enerji kaynağı jeneratör olarak karşımıza çıkmaktadır. Turbo elektrikli motor için $H_p > 0$, $H_e = 0$

hibridizasyon değerleri verilmektedir. Turbo elektrikli motor Görsel 2.4'te ve Şekil 2.4'te verilmiştir.



Görsel 2.4. Turbo elektrikli motor [21]



Şekil 2.4. Turbo elektrikli motor şematiği [17]

2.3. Bataryalar ve Türleri

Bu bölümde batarya tipleri, batarya şekilleri ve batarya terimlerinin açıklaması yapılmıştır.

2.3.1. Havacılıkta kullanılan bataryalar

Havacılıkta turbojet uçaklarda kullanılan bataryalar ikincil güç kaynakları olarak kullanılmaktadır. Bataryalar, elektrokimyasal enerjiyi depolar ve devrelerine üreteç bağlandığında bu enerjiyi tekrar elektrik enerjisine dönüştürerek geri verir. Turbofan uçaklarda ikincil elektrik güç üretim kaynağı olarak kullanılan bataryalar; kritik sistemlere sağlanan gerilim seviyesinin anlık gerilim düşmelerinden etkilenmeyecek şekilde belli limitlerde tutulması, ilk olarak motor çalıştırma, birincil güç kaynaklarının arızalanması durumunda güvenli uçuş ve iniş için gerekli sistemlerin yeterli süreler için çalışmasının sağlanması ve acil inişlerde yolcu tahliyesi için gerekli aydınlatmanın sağlanması gibi fonksiyonlar için kullanılabilmektedirler.

Bataryalar, hava araçlarında şu işlevleri yerine getirmektedirler;

- Elektrik sistemine gelen ani yükleri dengelemek,
- Sistem ve motor çalıştırma gücünü sağlamak,
- Acil durumlarda enerji sağlamak.

Bu amaçla hava araçlarında farklı türlerde bataryalar kullanılması mümkündür. Uçaklar için batarya seçimi, uçakların kullanım ve görev özelliklerine göre farklılık gösterir.

Yapısında kullanılan kimyasalların çeşidine göre farklı batarya türleri vardır;

- Nikel Kadmiyum (Ni-Cd)
- Nikel Metal- Hidrid (Ni-MH)
- Lityum İyon (Li-Ion)
- Lityum Polimer (LiPO)

Yolcu uçaklarında yaygın olarak Ni-Cd bataryalar kullanılmaktadır. Yeni nesil uçakların üretilmesi ile Ni-Cd bataryaları yerini Li-Ion batarya almıştır. Lityum Demir Fosfat (LFP), Lityum Kobalt Oksit (LCO) ve Lityum Nikel Manganez Kobalt (NMC) batarya türleri Li-Ion batarya altında incelenecektir.

2.4. Batarya Türleri

2.4.1. Nikel-Kadmiyum (Ni-Cd) bataryalar

Hızlı şarj, düşük sıcaklıkta yüksek çevrim sayısı, çevre kirliliği yaratması ve bazı bölgelerde kullanımının yasaklanması nedeniyle fiyatı yüksek olabilmektedir. Ni-Cd bataryalar yapısında zararlı zehirli kimyasallar bulundurmaktadır. Geri dönüşümü doğru yapılmadığı zaman çevreye ciddi zararlar verdiği bilinmektedir. Bundan dolayı Ni-Cd bataryaların üretim tesislerinde maliyeti arttıran su ve hava arıtma sistemi kullanılması zorunlu hale getirilmiştir. Çevre kirlenmesine verilen önemin artmasıyla birlikte bu bataryaların kullanılması da durdurulmuştur [22]. 1990 yılından itibaren kadmiyum maddesi yerine hidrojenin bir alaşımı kullanılarak nikel metal hidrür batarya geliştirilmiştir. Havacılığın yanı sıra genellikle tıbbi ve endüstriyel ekipman, test ve ölçüm aletlerinde kullanılmaktadır.

2.4.2. Nikel-Metal Hidrid (Ni-MH) bataryalar

Ni-MH bataryalar Ni-Cd bataryalara göre daha yüksek enerji yoğunluklarına sahiptir. Verimlerinin 2-3 kat daha fazla olması ve zehirli madde içermemeleri birçok elektrikli kara araç uygulamasında Ni-Cd bataryanın yerini almasını sağlamış ve kullanım alanlarını genişletmiştir. Ancak kimyasal yapıları Ni-Cd bataryalar ile hemen hemen aynıdır. Ni-MH bataryalar geri dönüşüm sorunu oluşturmamaktadır ve gelişen batarya sistemleri ile kapasiteleri daha fazladır. Ni-Cd bataryadan daha kısa sürede deşarj olmakta ve Ni-Cd bataryadan daha hızlı şarj edilebilmektedir. Ni-MH bataryaların dezavantajları olarak ise diğer bataryalara nazaran daha pahalı olması (kurşun asit bataryanın fiyatının 5 katı) ve boşta kaldıklarında kendi kendine deşarj olması sayılabilir. Bu bataryaların kullanım yerlerinden bazıları, cep telefonları, dizüstü bilgisayar bataryaları, fotoğraf makineleri ve oyuncaklardır.

2.4.3. Lityum- Polimer (LiPO) bataryalar

Lityum polimer bataryalar, daha yaygın sıvı elektrolit yerine bir polimer elektroliti kullanan, tekrar şarj edilebilir lityum iyon bataryalardır. Tablet bilgisayarlarda ve birçok hücresel telefon ahizesinde kullanılan LiPO hücreleri, iletkenliği yüksek yarı iletken polimerlerden oluşmaktadırlar. 1980'lerde Li-Ion bataryalar üzerine yapılan kapsamlı araştırmalar neticesinde, 1991'de Sony'nin ilk ticari silindirik Li-Ion hücresi üretilmiştir. Li-Ion bataryanın geliştirilmesi için tasarlanan poşet biçimindeki yapı, LiPO batarya

olarak sektörde yerini almıştır. LiPO bataryalar, genellikle tıbbi, askeri, endüstriyel, tüketici elektroniği için kullanılmaktadır.

2.4.4. Lityum-İyon (Li-Ion) bataryalar

Li-Ion bataryalar bazı askeri uçaklarda (F-22, F-35, B-2) ve sivil uçaklarda (A380, B787) kullanılmaktadır. Li-Ion bataryalar Ni-Cd ve kurşun asit bataryalara göre, ağırlık, hacim ve şarj-deşarj sayılarının fazla olması avantajları sayesinde yakıt ekonomisi, görev süresi ve uçuş performansları da daha fazladır. Li-Ion bataryaların dezavantajları ise, başlangıç maliyetlerinin yüksek olması, raf ömürlerinin kısa olması, düşük sıcaklıklarda performanslarının düşük olması ve en önemlisi ciddi güvenlik tehlikelerini barındırmalarıdır. Yük karakteristikleri makul derecede iyidir vedeşarj açısından Ni-Cd ile benzer şekilde davranırlar. Li-Ion enerji yoğunluğu tipik olarak standart Ni-Cd'nin iki katıdır. Daha yüksek enerji yoğunlukları için potansiyel vardır [23].

2.4.4.1. Lityum demir fosfat (LFP) bataryalar

LFP batarya, en güvenli Li-Ion batarya türlerindendir. Diğer Li-Ion kimyasallarına göre daha yüksek sıcaklıklarda önemli hasara sebep olmadan çalışma, üstün termal ve kimyasal denge, yüksek oranlıdeşarj, daha uzun çevrim ömrü, düşük gerilim ve enerji yoğunluğuna sahiptir. Genellikle elektronik araçlar, elektrikli aletler, tıbbi ve askeri uygulamalar için kullanılır [24].

2.4.4.2. Lityum kobalt oksit (LCO) bataryalar

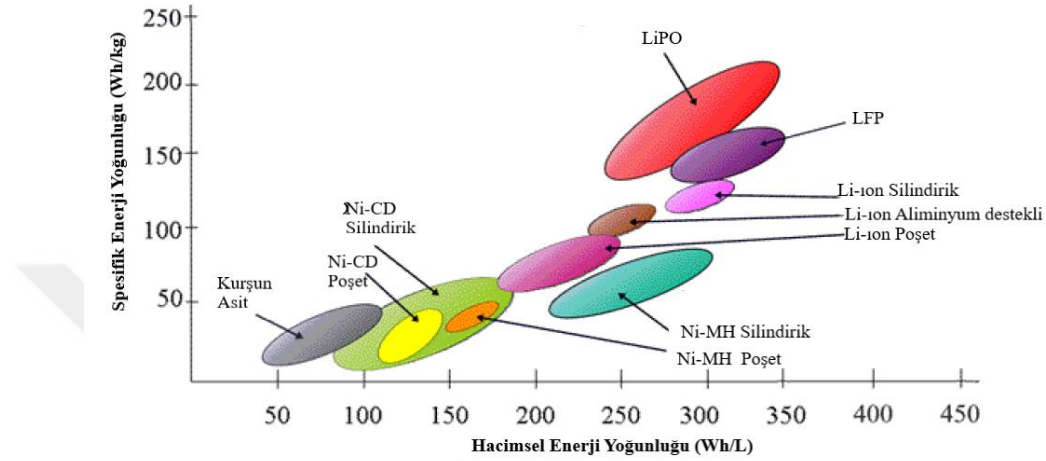
LCO, bataryalarda kullanılmaya başlanan katmanlı geçiş metal oksit katotlarının ilk ve ticari olarak en başarılı şeklidir. LCO, yüksek spesifik kapasite, yüksek hacimsel kapasite, düşük kendi kendinedeşarj olması, yüksekdeşarj gerilim değeri ve iyi çevrim performansı nedenleriyle tercih edilmektedir.

2.4.4.3. Lityum nikel mangan kobalt (NMC) bataryalar

NMC bataryalar pazar payı, yüksek performansları ve son yıllardaki üretim fiyatındaki azalma nedeniyle önemli oranda kullanılmaya başlanmıştır. NMC bataryalar, paket ağırlığını ve gerilim aralığını korurken batarya paketinin kapasitesinin artırması sayesinde elektrikli araçlarda uygulanmaya başlanmıştır [25]. LFP bataryalarına kıyasla NMC bataryaları daha yüksek özgül enerji ve düşük bir termal kaçak sıcaklığına sahiptir.

2.5. Batarya Özellikleri ve Karşılaştırılması

Bu bölümde elektrikli araçlarda ve havacılıkta kullanılan batarya türlerinin gerilim değerleri, enerji yoğunlukları, çevrim sayıları, spesifik enerji yoğunluğu, hacimsel enerji yoğunlukları ve ideal çalışma sıcaklıkları Görsel 2.5'te, Görsel 2.6'da, Görsel 2.7'de ve Tablo 2.4'te verilmiştir [26-31].



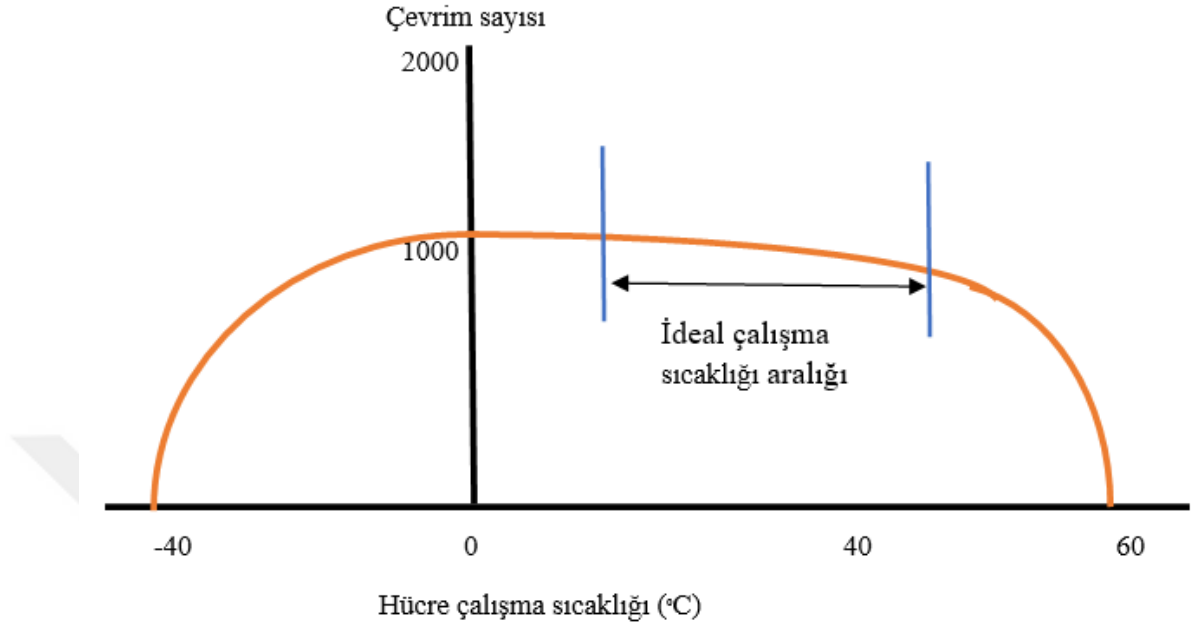
Görsel 2.5. Batarya türlerinin hacimsel ve ağırlık olarak enerji yoğunluğu karşılaştırılması [26]

Tablo 2.4. Batarya türlerinin özellikleri [27-29]

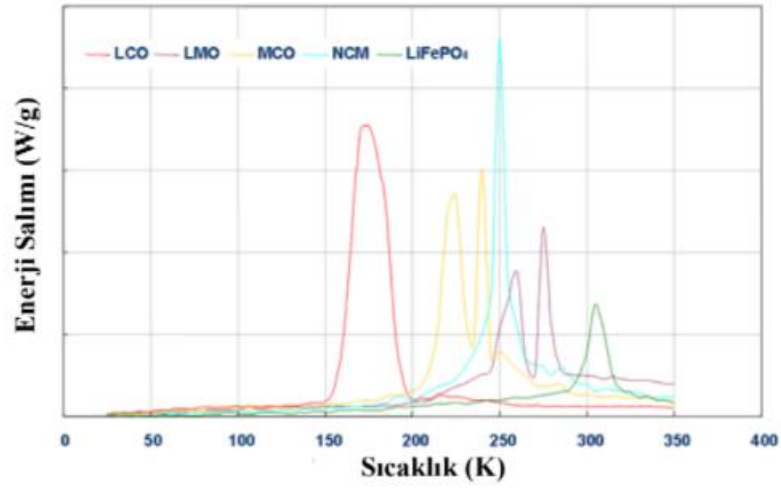
Batarya türü	Kısaltması	Nominal Gerilimi (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Çevrim sayısı	Fiyatı
Kurşun asit	Pb-acid	2.0	35	1000	Düşük
Nikel kadmiyum	Ni-Cd	1.2	50 – 80	2000	Düşük
Nikel-metal Hidrid	Ni-MH	1.2	75	<3000	Düşük
Lityum iyon	Li-Ion	3.6	150	1000-2000	Orta
Lityum kobalt oksit	LCO	3.7 – 3.9	150	500 – 1000	Orta
Lityum nikel mangan kobalt	NMC	3.8 – 4.0	170	1000 – 2000	Orta
Lityum demir fosfat	LFP	3.3	130	2000-3000	Yüksek
Lityum sülfür	Li-S	2.5	350 – 650	300	Düşük
Lityum hava	Li-air	2.9	1300 – 2000	100	Yüksek

Tablo 2.4'te verilen enerji yoğunluğu ve çevrim sayılarına bataryaların ulaşabilmesi ideal sıcaklıklar arasında çalışması gerekmektedir. Lityum türevli bataryaların ideal çalışma sıcaklığı aralığı Görsel 2.6'da verilmiştir. Bu görsele ek olarak farklı tür

bataryaların enerji yoğunluğunu maksimum seviyede verdiği sıcaklık değerleri de Görsel 2.7’de verilmiştir.



Görsel 2.6. Lityum türevli bataryalarının ideal çalışma sıcaklığı ve çevrim sayısı değişimi grafiği [30]



Görsel 2.7. Lityum türevli bataryaların çalışma sıcaklığı ve enerji yoğunluğu grafiği [31]

2.6. Batarya Şekilleri

Bataryalar prizmatik, poşet, silindirik ve düğme hücre olmak üzere 4 farklı şekilde üretilmektedir.

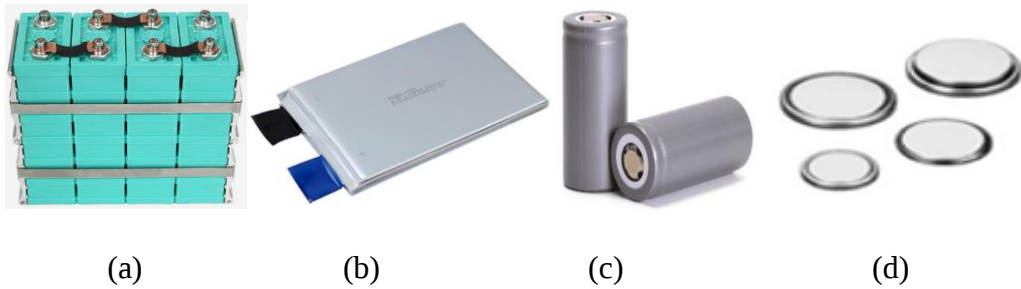
Prizmatik hücre: Batarya türleri arasında en yüksek enerjiye ihtiyaç duyan uygulamalarda, kapasite ve şekillerinden dolayı tercih edilmektedir. Hazne içinde anot, katot, seperatör ve elektrolit muhafaza edilmektedir ve genelde vidalı tip kutup başlarına sahiptir [32].

Poşet hücre: Genellikle alüminyum esaslı bir kılıfın içinde anot, katot, seperatör ve elektrolitin doldurularak izole edilmesi ile üretilir. İnce yapılarından dolayı, daha iyi iç sıcaklık dağılımı sergilemektedir. Bu tip hücreler, şarj-deşarj boyunca sıcaklık veya kullanımı sırasında dış etmenlerden mekanik etki, çevresel etki gibi nedenlerden dolayı oluşabilecek katmanlardaki hücrelerin birbirinden ayrılmasını önlemek için üst üste yerleştirilen özel bir tasarım yapılmaktadır. Bu tür tasarımlar özellikle yüksek kapasitelerde ilave ağırlık ve maliyet doğurmaktadır [32].

Silindirik hücre: Kendi içlerine basınçla yerleştirildiğinden dolayı, daha iyi yapısal performans göstermekte ve diğer batarya tiplerine göre daha fazla uygulama alanlarında tercih edilmektedir. Aynı zamanda hem yapısal bütünlük hem de kullanılan güvenlik sistemleri nedeniyle silindirik hücreler, endüstride en çok tercih edilen ve havacılık endüstrisinde de benzer nedenlerle tercih edileceği düşünülen hücre formudur [32].

Düğme hücre: Genellikle yeni batarya kimyasallarının test edilmesi aşamasında küçük ölçekte üretilmektedir. Bu işlem dışında saat pillerinde, işitme cihazlarında ve bazı mobil uygulamalarda kullanılmaktadır.

Batarya şekilleri Görsel 2.8’de sunulmuştur.



Görsel 2.8. Batarya Şekilleri (a) prizmatik, (b) poşet, (c) silindirik, (d) düğme tipi hücre [32]

3. LİTERATÜR TARAMASI

Batarya teknolojisinin gelişmesiyle birlikte batarya yönetim sistemi tasarımı (BYS) konusu ile ilgili bilimsel çalışmalar artmaktadır. Bu çalışma kapsamında, BYS konusunda yapılan makaleler ve tezler incelenmiştir. İncelenen tezler tablo olarak verilmiştir. BYS konusu ile ilgili literatür taramasında; BYS için kullanılan programlar, BYS tasarımı için kullanılan mikro işlemcileri, bataryanın şarj-deşarj koruma yöntemleri, SoC, SoH, batarya hücrelerini dengeleme yöntemleri, BYS sistemini veri kaydedilmesi, kullanıcı ara yüzü ile haberleşme yöntemleri ve elektronik donanımları konuları incelenmiştir.

BYS'nin en önemli görevi bataryanın güvenliğini sağlamak ve zarar görmesini engellemektir. Bu amaçla Rahimi-Eichi ve diğerleri (2013) tarafından elektrikli araç teknolojisi için geliştirilen BYS'nin art arda yapılan şarj/deşarj durumunda bataryanın korumasına dikkat edilmesi gerektiğini ve bataryanın güvenliği ve koruması için etkin bir SoC ve SoH tahmini yapılması gerektiğinin altı çizilmiştir. Buna ek olarak, BYS, bataryayı izleyebilmeli, durumunu tahmin edebilmeli, verileri kaydedebilmeli, hücreleri dengelemeli ve kontrol altında tutmalıdır [33]. Lu ve diğerleri (2014) bataryayı kontrol etmek için BYS sisteminin gerilim-akım sensörleri, sıcaklık sensörleri, kontrol anahtarlarının bulunması gerektiğini açıklamıştır [34]. Waag ve diğerleri (2019) tarafından yapılan çalışmalarda batarya yönetim sistemlerinin akım, gerilim, sıcaklık, SoC değerlerinin tahminleme ve izleme işleminin birbiri ile bağlantısının algoritması üzerinde durulmuştur [35]. Lin ve diğerleri (2019) tarafından Li-Ion bataryaların şarj yöntemleri üzerine çalışılmış ve sabit gerilim-sabit akım (constant current-constant voltage/CC-CV) yöntemi ile sabit akım değerinden kaynaklı SoC tahminlemesinin, diğer tahminleme için kullanılan yöntemlere göre daha faydalı olacağını açıklanmıştır [36]. Jiang ve Zhang (2015) tarafından elektrikli araçlar için yeni yaklaşımlı bir BYS tasarımı bulunmuştur ve MAX11068 kodlu Maxim mikro işlemcisi ile batarya kontrol ve koruma devresi tasarlanmıştır [37]. Omariba ve diğerleri (2019), elektrikli araçlar için BYS'lerde kullanılan aktif dengeleme ve pasif dengeleme yöntemlerini göstermiş, ancak elektrikli araçlar için dengeleme yöntemleri kullanılsa bile, değişen sıcaklık farklılıkları ve titreşim etkisi bataryalarda oluşan yükler nedeniyle SoC ve SoH tahminlemesindeki değerlerinde dengesizleşme meydana geldiğini belirtmişlerdir [38].

BYS bataryanın değişen şartlar altında SoC tahminlemesi yapılmalıdır. Bu sayede batarya kapasitesi, bataryanın şarj vedeşarj durumu optimize edilir [39]. Tasarlanan

birçok BYS sisteminde SoC tahminlemesinin öneminden bahsedilmiştir. SoC tahminleme için farklı yöntemler bulunmaktadır. En sık kullanılan SoC tahminleme yöntemleri elektro itici güç (EMF), açık devre gerilimi (OCV), kalman filtresi ve gözlemci teknik tahminlemesi [40,41] akım sayma yöntemi ve iç direnç ölçüm merkezli tahminleme yöntemleri [42] olarak açıklanmış ve matematiksel hesaplama formülleri verilmiştir. Son dönemdeki çalışmalarda yapay sinir ağları, makine öğrenmesi ve bulanık mantık yöntemleri ile SoC tahminleme kestirimi algoritmaları üretilmektedir [43,44]. Li-Ion batarya gibi LFP batarya için de SoC kestirimi yapılması gerekmektedir. Li ve diğerleri (2013) tarafından LFP bataryalar için 3 adet SoC tahminleme yöntemi üzerine çalışmıştır ve bu yöntemler arasından sayısal stabiliteden dolayı sigma point kalman filtresi yöntemi daha işlevsel olarak bulunmuştur [45]. Ren ve diğerleri (2019) tarafından bataryanın SoC ve SoH değerleri için aktif dengeleme yöntemi kullanılarak bataryanın durumu tahminlemeye çalışılmıştır. Bu işlem için MATLAB/simulink üzerinden tasarım gerçekleştirilmiştir. 8 farklı iç dirence sahip 25-26 Ah kapasiteli bataryalar teste tabi tutulmuştur. Elektrikli araçlar için batarya ömrü 1500- 2400 saat olarak bulunmuştur [46].

Batarya kapasitesini, yaşını ve yaşam döngüsünü hesaplamak için SoH değeri tahmini yapılmaktadır. Bu nedenle literatürde en çok karşılaşılan SoH tahminleme yöntemleri araştırılmıştır. Berecibar ve diğerleri (2016a, 2019) çalışmalarında, açık devre gerilimi (OCV), iç direnç tabanlı ve kalman filtre tabanlı (KF) yöntemleri kullanarak SoH tahminlemesi için gereken parametreleri tanımlamış ve bu yöntemlerin her biri için matematiksel bir analiz yapmışlardır [47,48]. Lin ve diğerleri (2020) LFP kimyasalına sahip batarya için zaman serisi modelini kullanarak laboratuvar ortamında batarya ömrünü ve SoH tahminlemesini belirlemeye çalışırken [49], Ungurean ve diğerleri (2017) SoH tahmini için Coulomb sayımı, Elektro-kimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) yöntemlerinin matematiksel ifadelerini kullanarak SoH tahminlemesi kavramının bataryanın dinamik özelliklerine bağlı olduğunu hesaplamışlardır [50]. Bebiacar ve diğerleri (2016b) LFP bataryalar için SoH tahminleme algoritması üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada, farklı gerilim seviyelerinde paket haline getirilmiş bataryalar için SoH tahminleme değerlerinin varsayımı yapılmış ve çalışma 18 batarya hücresi ile gerçekleştirilmiştir. Ancak aynı testler 12 hücreli bir LFP batarya paketi için uygulandığında ve en kötü koşullarda test edildiğinde, bataryaların SoH tahminleme değerinin %3,5 oranında saptığı gözlemlenmiştir [51]. Hashemi ve diğerleri (2021) elektrikli uçaklar için SoH tahminleme modellemesi üzerinde çalışmışlardır. Tasarlanan

BYS, batarya şarj ve deşarj kontrolünü labview programı üzerinden gerçekleştirmiştir ve Li-Ion bataryayı değişken koşullar altında deneysel olarak test ederek batarya SoH tahminleme değerini ölçmüştür. Sonuç olarak, diğer yöntemler arasından kapalı döngü Columb sayma yönteminin SoH tahminleme için daha uygun olduğu görülmüştür [52]. Chen ve diğerleri (2013) genetik algoritma yöntemini kullanarak bataryanın SoH tahminleme değeri için hesaplamalar yapmışlardır [53].

BYS kartı, ölçülen değerlerin analiz edebilmesi için kullanıcıya bir haberleşme kanalı ile iletilmesini sağlar. Bu bilgilerin iletilmesi için iletişim modülleri gereklidir. Xu ve diğerleri (2018), BYS güvenliğini sağlamak için gerekli formül ve verilerin iletimi için Kontrolör Alan Ağı (CANbus) iletişim protokolünü kullanmışlardır [54]. İsmail ve diğerleri (2015) hibrid elektrikli araçlar için kullanılan RS232 ve RS485 protokolleri ile BYS'nin CANbus üzerinden gerilim, akım ve SoC tahminleme değerlerinin gösterilmesi üzerine çalışmışlardır [55]. Piao ve diğerleri (2012), valf düzenlemeli kurşun asit batarya (VRLA) modeli için BYS üzerinde LIN hattı iletişimi gerçekleştirmişlerdir [56]. Bu süreç için ARM7 ve Lab-view programları kullanılarak batarya için yazılım algoritmaları sonuçlarını kullanıcı ara yüzüne iletmışlerdir. Kılıç (2016), tasarladığı BYS ile LFP batarya için kablosuz veri iletimi yöntemi geliştirmiştir. Çalışma kapsamında, BYS'nin grafik ara yüzü tasarlanmış ve telemetri veri iletim kapasitesi ölçülmüştür [57].

Tablo 3.1. BYS için yapılan tez çalışmaları

Yıl	Yazar adı	Batarya Türü	Çalışma programı- Mikro işlemci- Uygulama alanı	Yapılan testler ve etkileri	Kaynak
2007	Jason Allan	Lityum demir sülfür (LiFeS ₂)	Max712 mikro işlemcisi kullanılarak delta-V BYS sistemi tasarlamıştır. Max4071 sensörü akım kontrolü gerçekleştirmektedir. Yapılan çalışmada tasarlanan BYS'nin hover araçları için kullanılması amaçlanmıştır. BYS, güneş enerjisi ve bataryanın birlikte kullanılabilmesi için tasarlanmıştır.	Tasarlanan BYS ile gerilim değeri ve akım değerlerinin ölçümü ve kayıt altına alınması sağlanmaktadır. Veriler MATLAB programı ile kaydedilmektedir. Gerilim-akım değerleri ölçülürken Analog-dijital dönüştürücü (ADC)	[58]

				ve Mosfet yapısından faydalanılmıştır.	
2011	Rui Hu	Li-Ion	Li-Ion bataryalar için koruma devresi bulunduran ve DS2405 mikro işlemciye sahip bir BYS tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem MATLAB programı üzerinden simüle edilmiştir.	Simülasyon sonuçlarına göre bataryanın hücre olarak gerilim ve sıcaklık kontrolünün yapılması gerekliliği vurgulanmıştır. Bataryanın gerilim ve dengelemesi için ana-yardımcı topoloji tercih edilmiştir. Elde edilen verilerin veri kontrolünün ve hata analizinin yapılabilmesi için hafıza sensörünün (EPPROM) BYS içinde yer alması gerektiği vurgulanmıştır.	[59]
2011	Andreas Nejedly	Li-Ion	Tasarlanan BYS ile kalman filtre yapısı kullanılarak hücre geriliminin ve akımının ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bataryanın, SoC durumunu tahmin etmek için ölçüm ve simülasyon çalışması yapılmıştır.	14 Li-Ion hücreden, batarya paketi tasarlanmıştır. Batarya paketinin, hücre dengeleme ve güç tahmini durumu test edilmiştir. Simülasyonda aktif balans ve pasif balans hata yüzdeleri aynı olduğundan dengeleme için net bir kıyaslama yapılamamıştır. SoC tahminlemesinin	[60]

				%25, %50 ve %75 seviyelerinde olduğu, belirtilen seviyelerdeki SoC tahminleme farkının %5'ten fazla olmadığı gözlenmiştir.	
2012	Leopold Weingarten	Kurşun asit	Tasarlanan BYS, MATLAB programı üzerinden simüle edilmiş ve labview programı üzerinden ara yüz tasarımı yapılarak verilerin bilgisayar üzerine kaydı gerçekleştirilmiştir.	%90 yük altında bataryanın çalışma verimliliği %60,6 olarak ölçmüştür. Batarya 10 kWh güç değerinde deşarj edilmiştir. 10 kWh değerindeki bir motor sistemini başarılı olarak çalıştırtacak ve kontrol edecek bir sistem tasarlanmıştır.	[61]
2012	Johann Dussarrat Gael Balondrade	Li-Ion	Labview yazılımı tarafından yönetilen NI ELVIS II+ platformunda yapılan BYS tasarımını ve uygulamasını açıklamaktadır. 3 hücreli batarya paketi kullanılmaktadır. Batarya paketi farklı şarj-deşarj yöntemleri, simülasyonları ve hücre dengelemesinden tamamen bağımsız olarak tasarlanmıştır.	Tasarlanan BYS sistemi için şarj ve deşarj durumunda gerilim ve akım korumasının olması gerekliliği simülasyon sonuçları ile elde edilmiştir. Hücre dengeleme için kapasitif dengeleme başarı oranı %90 olarak gözlenmiştir.	[62]
2013	Tolga Baykal	LiPO	Çalışmada yüksek enerji kapasiteli LiPO bataryaların gerilim, sıcaklık değerleri ölçülerek, geliştirilen	PIC mikroişlemcisi ile gerilim ve sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Haberleşme protokolü	[63]

			bilgisayar yazılımı ile bu değerleri görüntüleyecek batarya izleme sistemi prototipi gerçekleştirilmiştir.	için RS232 ve RS485 birlikte çalıştırarak bilgisayar ile BYS arası veri aktarımı sağlanmıştır.	
2014	Serhat Nafiz	Li-Ion	Elektrikli otobüs için 4 hücreli bir yapı tasarlanmıştır. Özellikle şarj dengeleme yöntemi için flyback devresi kurularak batarya dengelemesi üzerine çalışılmıştır. Bu durum matematiksel olarak kanıtlanmaya çalışılmış ve avantajları açıklanmıştır.	Tasarlanan sistem ile batarya sayısının değişimine uyum sağlayan bir BYS tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bataryalardan gerilim, akım, sıcaklık bilgileri gönderilerek RS232, RS485 ve CanBus haberleşmeleri ile veri aktarılmaktadır. Bataryalar arasında aktif dengeleme yöntemiyle hücreler arası gerilim sabitlenmeye çalışılmıştır.	[64]
2015	Mahdi Morsali	Bataryanın matematiksel modeli, kabul edilmiştir. Kimyasal olarak referans verilmemiştir.	Hibrid elektrikli araçlar için yakıt ve batarya sisteminin birlikte çalışacağı bir modelleme üzerine çalışılmıştır. Çalışma MATLAB simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir.	Simülasyon sonuçlarına göre; hibrid elektrikli araçların gaz emisyonları, içten yanmalı araçlara göre daha azdır. FTP75 motor döngüsü ile yakıt oranı azaltılarak elektrik etkisinin arttığı gözlenmiştir. Motor gücü 20 N.m/s değerinde iken SoC	[65]

tahminlemesinin en verimli olduğu ve batarya kapasitesindeki düşüşün %0,3 değerinden az olduğu gözlenmiştir.

2015	Şahin Soydaş	Li-Ion	Çalışmada mikroişlemcisi üzerinde op-amp ile gerilim ölçümü yapılmıştır. 6 hücreli paket üzerinden ölçüm alınmıştır. Yapılan çalışma elektrikli araçlar için tasarlanmıştır.	PIC	Çalışmada dengeleme için aktif dengeleme tercih edilmiştir ve simülasyon sonucuna göre en ideal frekansı 60 hertz (hz) olarak bulunmuştur. Haberleşme protokolü olarak Canbus haberleşmesi tercih edilmiştir. Ancak özellikle verilerin aktarımı için kablosuz (android uygulama ve bluetooth) haberleşme üzerine çalışmanın önemi vurgulanmıştır.	[66]
2016	Peter Bjarnholt	Li-Ion	Yapılan çalışmada havacılıkta kullanılması planlanan elektrikli motor tipleri Piano-X programı ile simule edilmiştir.		%25, %50, %70, %100 oranlarında elektrikli güç verecek şekilde motorlar çalıştırılmıştır. Batarya kütlesinin azaltılması ile emisyon değerlerindeki ve menzildeki değişimler gösterilmiştir. Batarya teknolojisi	[67]

yeterli seviyede gelişmediği için %25 elektrikli motor ile 600 km uçuşun gerçekleştirilebileceği, %50 elektrikli motor ve %50 kütle azaltılması ile menzilin 1400 km seviyelerine çıkarılabileceği öngörülmüştür.

2017	Anand Narayan	LFP	Çalışmada 2 farklı kalman filtre sistemi kullanılarak SoC algoritmaları üzerine çalışılmıştır. Farklı sıcaklık, gerilim ve akım seviyelerinde ve farklı sensör gürültü seviyelerinde denenerek simülasyon sonuçlarına ulaşılmıştır.	Simülasyon sonuçlarına göre, EKF filtresinin, doğrusal olmayan ve yüksek başlangıç gerilim değerlerine göre karşılaştırıldığında DEKF filtresine göre daha iyi performans gösterdiği analiz edilmiştir. Bununla birlikte, her iki filtre de tahmin algoritmalarının seçiminin operasyonel senaryolara bağlı olarak nominal koşullar altında benzer performans göstermiştir.	[68]
2019	Teoman Akdoğan	Li-Ion	Yapılan çalışma ağır elektrikli ticari araçlar için alternatör sistemi ile BYS	Akıllı şarj algoritması ile geleneksel şarj sisteminin	[69]

sistemin birlikte çalışması karşılaştırılması için yeni bir matematiksel sonucu elektrik formül ve algoritma tasarrufu ve yakıt önermektedir. Bu ekonomisi açısından matematiksel büyük avantaj formülüzasyonda gerilim, sağlanmıştır. akım ve sıcaklık değerleri incelenmiştir.

2019	Burak Baygüneş	Li-Ion	Çalışma elektrikli araçlar için BYS tasarımı ve üretimini içermektedir. Mikro işlemci olarak STM32F kullanılmıştır.	BYS tasarımındaki bataryanın sıcaklık ölçümünü LM35 sensörü ile yapmıştır. Gerilim ölçümü için gerilim bölücü sistem kullanılmıştır. Hücre dengelemesi için pasif dengeleme tercih edilmiştir.	[70]
2020	Meliha Rigan	Li-Ion	Çalışmada BYS mikroişlemcisi olarak kullanılan LTC6802 entegre devresi 9 hücrenin kontrolü ve koruması için tasarlanmıştır. Çalışma elektrikli araçlar için yapılmıştır.	Çalışma çıktısı olarak SPI protokolüne sahip, ds18b20 sıcaklık sensörü ve pasif dengeleme içeren bir kart tasarımı oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda batarya gerilimi, akım değeri ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür.	[71]
2020	Haider Adel Alı	Lityum Nikel Manganez Kobalt (NCM)	Yapılan çalışmada NMC batarya üzerinde düşük C oranındaki şarj ve deşarj sırasında batarya sıcaklık değerindeki değişimler ölçülmüştür. Bu sisteme	Çalışmada sonucunda sıcaklık değişiminin bataryanın SoC değerine, bataryanın şarj ve deşarj başlamadan önceki	[72]

			yönelik termal BYS sistemi üzerine çalışılmıştır. Çalışma elektrikli araçlar için yapılmıştır.	sıcaklığına ve C oranına bağlı olduğu gösterilmiştir. Bataryanın ölçülen sıcaklık değerinin °C derece seviyesinde ideal olduğu ve simülasyondan elde edilen sıcaklık değerlerinin 22-32°C seviyesinde ideal olduğu gözlenmiştir. Yüksek C oranında ise bataryanın sıcaklığının 40°C aştığı görülmüştür.
2020	Maximilian Kempe	LiPO	Yapılan çalışmada insansız hava araçları için hibrid bir yönetim sistemi değerlendirilmiştir. Bu sistemde yakıt hücresi ile batarya birlikte çalıştırılmıştır. 3 farklı hibridleşme oranı alınarak karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir.	En iyi sonuçların [73] %20-80 hibridleşme oranında gerçekleştiği gözlenmiştir. Ancak laboratuvar testlerine en yakın sonuçların ise %0-100 hibridleşme oranında alındığı gözlemlenmiştir. %0-100 hibridleşme oranında havada kalma süresi 4,5 saat olarak gerçekleştirilmiştir.
2021	Per Larsson	Li-Ion	MATLAB programı üzerindeki toolboxtan faydalanılmıştır. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar için uygulanmıştır.	Bataryanın şarj - [74]deşarj değerine bağlı olarak iç direnç değişimleri ve bataryanın şarjı sırasında zamanla

bataryanın ulaşabileceği maksimum gerilim değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Lineer parametrelerin değişken metoduna göre SoC ve OCV değerleri hesaplanmıştır.

2021	Julia Malachowska Miko Nore	Li-Ion	BYS sistemlerinde kullanılan UART, I ² C, CAN, RS232, RS485 ve IsoSPI haberleşme protokollerinin elektrikli araçlardaki veri iletimi üzerine etkisi kontrol edilmiştir.	Northvolt BYS kartı üzerinde haberleşme protokolleri veri alışverişi ve veri analizi gerçekleştirilmiştir. IsoSPI haberleşme protokolünün veri iletiminin diğer haberleşme protokollerine göre daha iyi olduğu görülmüştür.	[75]
2021	Yusuf Bello Saleh	Li-Ion	Çalışmada 8 hücreli bir batarya paketi tasarlanmıştır. Mikroişlemci olarak STM32F serisi kullanılmıştır. BYS; haberleşme, sıcaklık ölçümü, gerilim ve akım ölçümünü yapmaktadır.	Çalışmada haberleşme protokolü olarak CAN haberleşmesi tercih edilmiştir. Veri aktarımı başarı ile yapılmıştır. Gerilim ölçümü için LM357 sensörü tercih edilmiştir. Bataryanın nominal seviyesinden daha yüksek bir gerilim değeri olan	[76]

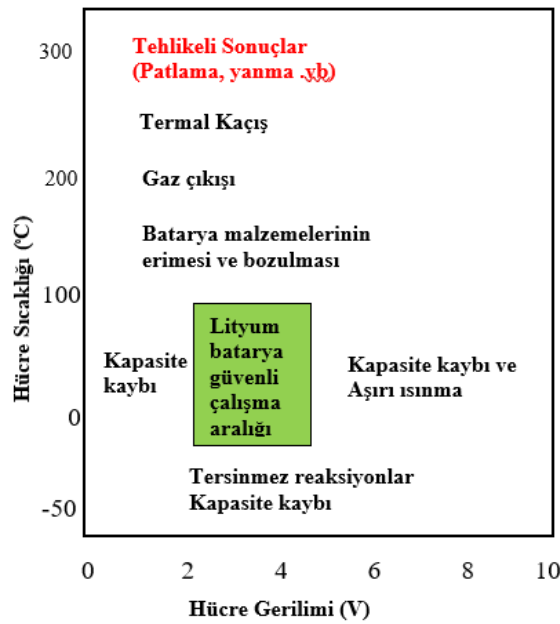
5V değerine kadar gerilim ölçümü gerçekleştirdiği için fazla gerilimden kaynaklanabilecek hasarın engellenmesi de BYS tasarımına entegre edilmiştir. Sonuç olarak akım ve gerilim değerlerini ölçen ve kontrol eden bir BYS tasarlanmıştır.

Literatür taraması ve temel kavram olarak incelediğinde, hibrid kavramı güç sistemleri için içten yanmalı motor ve elektrikli motor olarak, güç kaynağı için batarya-jet yakıtı veya batarya – yakıt hücresi olarak karşımıza çıkmaktadır. Açık literatürde, iki farklı kimyasal özelliğe sahip bataryanın birlikte çalışması incelenmemiştir. Bu nedenle bu çalışmada literatürde eksik olan bu sistem için bir BYS modellenmiştir.

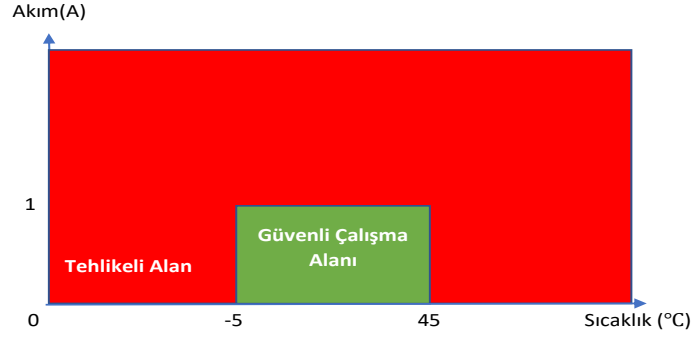
4. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ

Bataryaların, elektrikli araçlarda ve gelecekteki uçak itki sistemlerinde enerji kaynağı olarak kullanılması planlanmaktadır. Bu amaçla bataryaların tek başına güç sistemlerinde kullanılamayacağı literatür taramalarında belirtilmiştir. Bataryaların sisteme güç verirken hasar görmemesi ve verimliliğin artması için belirli sensörlere ve elektriksel bağlantılara sahip olması gerektiği gözlemlenmiş, bu nedenle BYS tasarlanması ve kullanılması gerektiği kabul edilmiştir.

Özellikle elektrikli araçlar ve elektrikli uçaklar yüksek güç ihtiyaçlarını BYS aracılığı ile karşılamaktadır. Bu, yüzlerce bataryanın birbirine seri ve paralel bağlanması anlamına gelmektedir. Bu enerji depolarından herhangi birinin hasar görmesi durumunda tüm batarya paketi kullanılamaz hale gelecektir. Bataryanın hasar almaması için BYS, lityum türevli bataryaların ideal çalışma değerlerinde tutulması ile sistemin sürekli çalışması sağlanmış olacaktır. BYS, bataryanın ideal çalışma değerlerinde tutulması için gerilim, akım ve sıcaklık parametrelerini izlemeli ve kontrol etmelidir. Bu parametrelerin güvenli sınırları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Batarya gerilimi ve sıcaklığa bağlı güvenli çalışma alanı [20]



Şekil 4.2. Bataryanın sıcaklık ve akıma bağlı olarak güvenli çalışma alanı [59]

BYS'nin görevi gerilim, akım, sıcaklık değerlerinin sadece kontrolü değil, aynı zamanda bu değerlerin üst ve alt sınır değerlerinin yönetimi ve izlenmesini sağlamaktır. BYS'nin, bu verilerinin izlenebilmesi için bir haberleşme protokolüne sahip olması gerekmektedir. İzlemenin yanı sıra bu verilerin kayıt altına alınması gereklidir. Bunun için veriler kullanıcı ara yüzüne kaydedilebileceği gibi BYS'nin kendi içerisinde yer alan hafıza sensörleri üzerine kaydedilmesi de sağlanabilmektedir. BYS'nin başka bir görevi de bataryanın daha sonraki çalışmalarındaki verimi koruyabilmesi için her şarj ve deşarj döngüsünde SoC, SoH ve bataryanın iç direnç değerlerini tahmin etmektir. BYS'nin görevleri yukarıdaki açıklamalar ile tanımlanmaktadır. BYS'nin görevleri Tablo 4.1'de listelenmiştir.

Tablo 4.1. BYS'nin görevleri [70]

Batarya koruma	Batarya izleme	Tahminleme	Veri iletimi
Batarya paketi gerilimi	Batarya aşırı deşarjı	Bataryanın şarj değeri	Haberleşme
Hücre gerilimi	Batarya aşırı şarjı	Bataryanın sağlık durumu	Kayıt tutma
Hücre akımı	Batarya sıcaklık artışı	Bataryanın iç direnç değerleri	
Hücre sıcaklığı	Batarya sıcaklık düşüşü		
Batarya sıcaklığı	BYS kısa devresi		
	Batarya hücre dengelemesi		

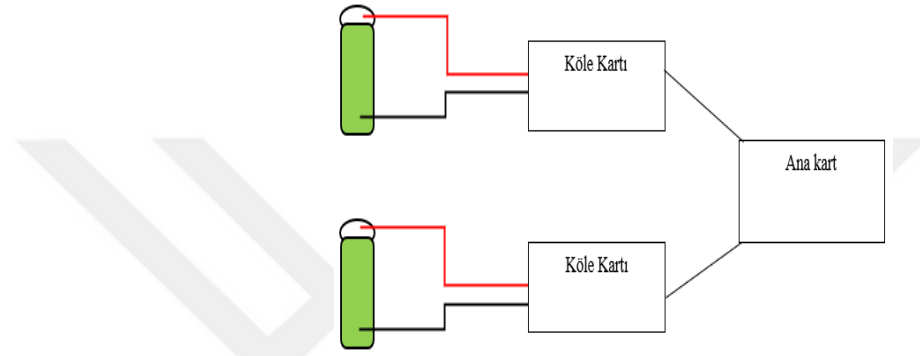
4.1. Batarya Yönetim Sistemi Sınıflandırılması

BYS'nin görevlerini yerine getirebilmesi için öncelikle bataryaların BYS ile bağlantı şekillerinin belirlenmesi gereklidir. Bu gerekliliğin nedeni; bataryanın geriliminin doğru olarak dengelenmesinin, gerilim ölçümü ve devre tasarımını birinci

dereceden etkilemesidir. Batarya hücrelerinin BYS'ye bağlanması, BYS topolojisi adını almaktadır. 3 çeşit BYS topolojisi vardır.

4.1.1. Dağıtılmış topoloji

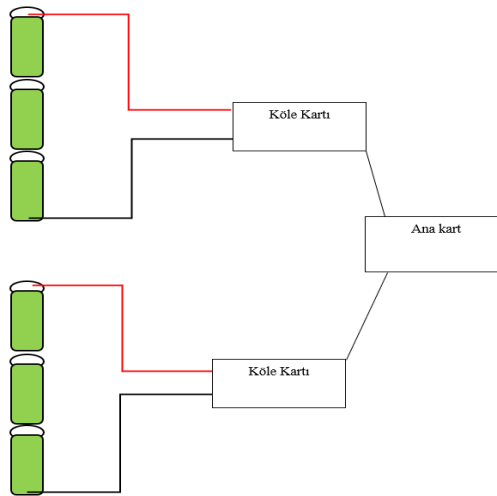
Dağıtılmış topolojinin temel prensibi her bir batarya hücresi için bir yardımcı kartı ve tüm yardımcı kartlar için bir tane ana kart olmasıdır. Maliyeti ve ölçüm kalitesi yüksektir. Yardımcı kartlar ana kartlara kablolar ile bağlandığı için arıza verme olasılığı fazladır [71]. Dağıtılmış topoloji yapısı Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Dağıtılmış topoloji yapısı [71]

4.1.2. Modüler topoloji

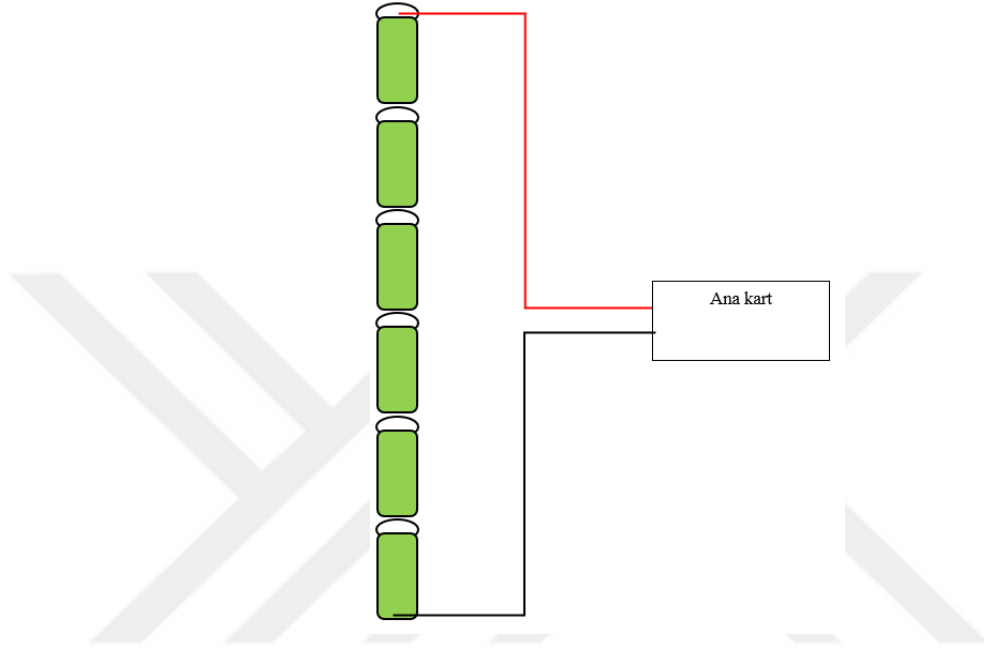
Modüler topolojide ise birden fazla batarya yardımcı karta bağlanır. Bu yardımcı kart sonra ana karta bağlanır. Haberleşme yöntemi zor olduğu için elektrikli araçlarda kullanılması zordur. Maliyeti dağıtılmış topolojiye göre daha düşüktür. Ağırlıktan tasarruf sağlar [71]. Modüler topoloji yapısı Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Modüler topoloji yapısı [71]

4.1.3. Merkezi topoloji

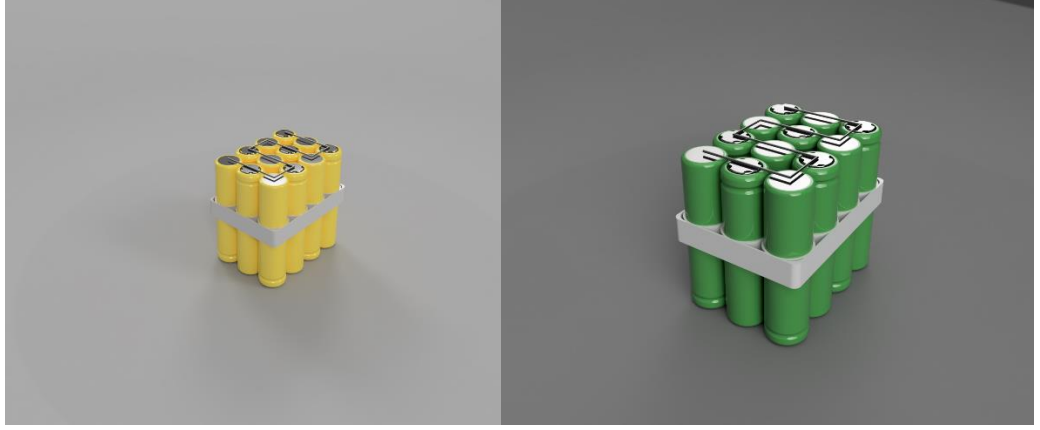
Merkezi topolojide, tüm bataryalar bir tane ana karta bağlanır. Tüm kontrol ve ölçüm işlemleri bu kartla gerçekleştirilir. Tüm hücrelerin dengelemesi daha kolaydır. Diğer topolojilere göre daha basittir ve maliyeti düşüktür. Birçok BYS tasarımında bu topoloji tercih edilir. Merkezi topoloji yapısı Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Merkezi topoloji yapısı [71]

4.2. Gerilim, Akım ve Sıcaklık Koruması ve İzlemesi

Bu başlık altında çalışmada modellenen BYS için kullanılan 2 tip bataryanın sayısal değerleri ile ilgili açıklamalar yapılmıştır. Çalışmada kullanılan batarya türleri Li-Ion ve LFP bataryalardır. Bu bataryaların 3 boyutlu çizimi Görsel 4.1'de verilmiştir. Tercih edilen bataryaların ticari özellikleri Tablo 4.2'de verilmiştir.



(a)

(b)

Görsel 4.1. (a) Li-Ion batarya- (b) LFP batarya

Tablo 4.2. *BYS tasarımında kullanılan bataryaların özellikleri*

Batarya Özellikleri	Sembolü	Li-Ion	LFP
Üretici firma		LG chem	Power-Xtra
Modeli		INR18650 M26	PX18650-22E
Kapasite değeri	C_n	2600 mAh	2200 mAh
Maksimumu gerilim	V_{max}	4.2 V	3.65 V
Minimum gerilim	V_{min}	2.75 V	2 V
Şarj akımı	I_{stan}	0.5 A	0.3 A
Hızlı şarj akımı	I_{fast}	2.5 A	1.5 A
Deşarj akımı	I_{max}	10 A	4.5 A

Tablo 4.2’de verilen değerler doğrultusunda Li-Ion batarya için gerilim değerinin 4.2 V’u geçmesi durumunda bataryanın aşırı şarj olacağı dikkate alınmalıdır. Bu durumda batarya ısınmaya, ardından aşırı ısınma sonucu yanmaya başlar. Bu nedenle BYS tasarlanırken aşırı şarj durumuna dikkat edilmelidir. LFP batarya için bu değer 3.7 V’dur. Bu değer için BYS devresinde gerilim ölçen devre elemanlarının kullanılmasına ek olarak hücre dengeleme elemanı kullanılmalıdır. Hücre dengeleme işlemi ile maksimum gerilim değerine ulaşan bataryaların üzerinden geçen fazla akım, elektronik elemanlar üzerinden diğer bataryaların şarj edilmesine yardımcı olmaktadır.

Li-Ion bataryalar için minimum gerilim değeri ise 2,7 V olarak belirlenmiştir. Gerilimin bu değerin altına düşmesi aşırı deşarj anlamına gelmektedir. Bataryanın aşırı deşarj edilmesi durumunda bataryanın serbest elektron seviyesinde azalma meydana gelmektedir. Bu işlem sonucu iç direnç değerinde artış meydana gelmesi ile bataryanın

ömür çevrim sayısında azalma meydana gelmektedir. Eğer batarya gerilim değeri 0 V olursa bu, bataryanın kullanım ömrünün dolduğu yani bataryanın artık güç kaynağı olamayacağı anlamına gelir. Aşırı deşarj durumunda bataryada kimyasal akmalar meydana gelmekte ve batarya paketine zarar vermektedir. LFP batarya için aşırı deşarj değeri ise 2 V'dur.

BYS'nin bataryaların gerilim değerlerini izlemesindeki sınır değerler bu yolla belirlenmiş olmaktadır. Li-Ion batarya için gerilim değerleri 2.7 ile 4.2 V, LFP bataryalar için ise 2-3.7 V değerleridir. Gerilim değerleri bu değerler arasında olduğu sürece batarya sadece izleme görevini üstlenir. Bu değerlerin aşılması veya altına düşülmesi durumunda batarya hücrelerini devreden keserek batarya paketinin zarar görmesi engellenmektedir.

Bataryalar şarj veya deşarj edilirken, BYS bataryaya giden veya gelen akımı kontrol etmelidir. Batarya deşarj oluyorken, verebileceğinden fazla akım çekilmesi bataryanın hasar görmesine veya bataryanın şişmesine neden olmaktadır. Bu durumda bataryanın sağlık durumu da etkilenmektedir.

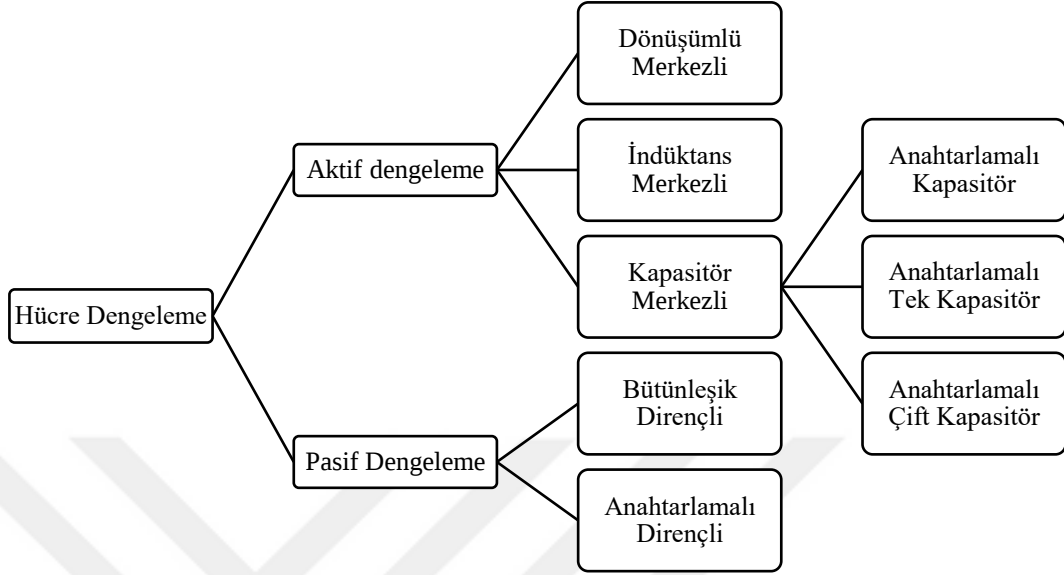
Bataryanın sıcaklık değeri, bataryanın şarjı ve deşarjı sırasında meydana gelen kimyasal tepkiler sonucu artış göstermektedir. Bu işlemin yanına ideal olmayan ortam sıcaklığını ekleyince bataryada kalıcı hasarlara neden olabilir. Bu nedenle bataryanın sıcaklığının kontrol altında tutulması için sıcaklığın aşırı arttığı durumlarda bataryaya bir termal batarya yönetim sistemi eklenmelidir.

4.3. Hücre Dengeleme

Hücre dengelemesi çoklu hücre bağlantısında kullanılır. Batarya sayısı arttıkça, bataryalar arasında meydana gelecek gerilim farkı giderek artmaktadır. Bu nedenle batarya hücreleri arasında bir dengeleme yapılmalıdır.

Hücreler arasında dengeleme yapılmaması durumunda; bataryanın SoC tahminlemesi, bataryanın en kötü veya zayıf durumda olan hücreye göre hesaplanır. Çünkü batarya paketi şarj durumunda iken, bir batarya hücresi maksimum gerilim değerine ulaştığında diğer bataryalar da maksimum değerine ulaşmış olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle batarya paketi yeterli verimliliği sağlayamaz. Bataryaların SoC tahminlemesi ve çevrim değerinde azalma meydana gelir. Bu nedenle batarya hücreleri arasında dengeleme işlemi yapılarak tüm bataryaların birlikte çalışması sağlanmaktadır.

Batarya dengelemesi için iki yöntem kullanılmaktadır; bunlar pasif dengeleme ve aktif dengelemedir. Şekil 4.6’da hücre dengeleme yöntemleri listelenmiştir.



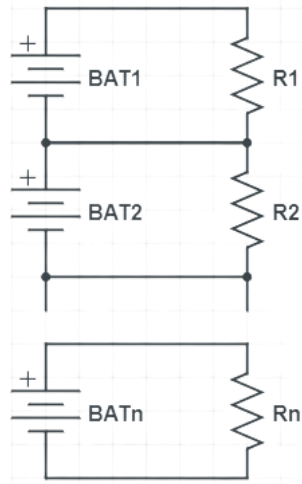
Şekil 4.6. Hücre dengeleme yöntemleri [62]

4.3.1. Pasif dengeleme

Pasif dengelemede fazla enerji direnç üzerinden harcanır. Her batarya hücresi için tek bir direnç bağlanabileceği gibi her hücreye ayrı ayrı direnç de bağlanabilmektedir. Pasif dengelemede akım direnç üzerinden geçerek fazla enerjinin ısıya dönüşmesi sağlanmaktadır. Pasif dengelemenin avantajı basit ve maliyetinin az olmasıdır. Dezavantajı ise pasif dengeleme sadece şarj sırasında yapılmaktadır.

4.3.1.1. Bütünleşik dirençli pasif dengeleme

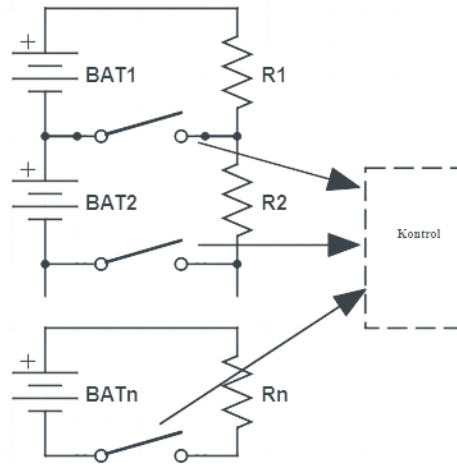
Bütünleşik dirençli pasif dengelemede her bataryaya için ayrı ayrı direnç bulunmaktadır. Fazla enerji bu dirençler üzerinden harcanarak ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Kurşun asit ve nikel tabanlı bataryalar için kullanılmaktadır. Şekil 4.7’de bütünleşik dirençli pasif dengeleme şematiği verilmiştir.



Şekil 4.7. Bütünleşik dirençli pasif dengeleme [62]

4.3.1.2. Anahtarlama dirençli pasif dengeleme

Anahtarlama dirençli pasif dengelemede anahtar yerine röle de kullanılmaktadır. Kontrol ünitesi ile hücreler arasında farklı gerilim değerleri olduğu durumda anahtarın kapatılması sağlanarak bataryaların geriliminin dengelenmesi sağlanmaktadır. Bu yöntem daha basit ve daha güvenilir bir yöntemdir. Ayrıca lityum türevli bataryalar için de kullanılmaktadır. Şekil 4.8’de anahtarlama dirençli pasif dengeleme şematigi verilmiştir.



Şekil 4.8. Anahtarlama dirençli pasif dengeleme [62]

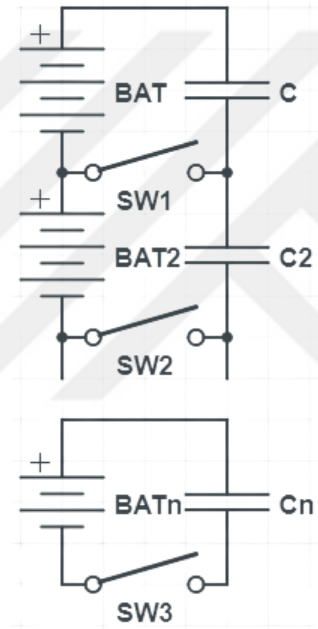
4.3.2. Aktif dengeleme

Aktif dengeleme boş olan kapasitelerin şarj edilmesiyle kapasiteden diğer hücrelere enerji aktarımını sağlamaktadır. Aktif dengeleme, pasif dengelemeye göre daha karmaşık ve pahalıdır. Aktif dengelemenin avantajı hem şarj sırasında hem de deşarj sırasında

hücre dengelemesi yapabilmesidir. Ayrıca yüksek akım değerlerinde çalıştığı için, enerji minimum seviyede ısıya dönüşür ve fazla enerjinin zayıf hücreler arasında transferi sağlanır.

4.3.2.1. Anahtarlamalı kapasitör aktif dengeleme

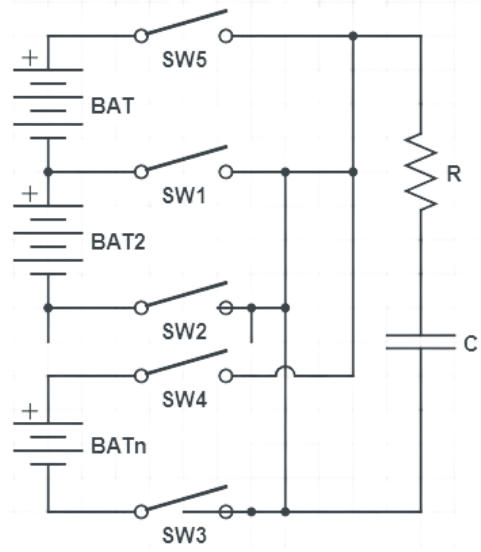
Anahtarlamalı kapasitör aktif dengelemede, her bir batarya için bir tane kapasitör bağlanmaktadır ve bataryaya gelen fazla enerji kapasitörlerde depolanmaktadır. Bu yöntemde herhangi bir kontrolör olmasına gerek duyulmamaktadır. Ancak dengeleme işlemi süresi uzun sürmektedir. Şekil 4.9’da anahtarlamalı kapasitör aktif dengeleme şematiği verilmiştir.



Şekil 4.9. Anahtarlamalı kapasitör aktif dengeleme [62]

4.3.2.2. Anahtarlamalı tek kapasitör aktif dengeleme

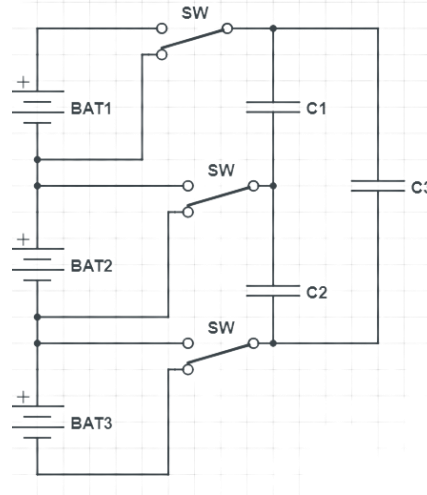
Anahtarlamalı tek kapasitör aktif dengelemede en düşük gerileme sahip batarya hücresi ile en yüksek gerileme sahip batarya hücresi arasında anahtarlama yapılarak hücre dengelemesi yapılmaktadır. Diğer yöntemlere göre, dengeleme süresi en hızlı olan yöntemdir. Şekil 4.10’da anahtarlamalı tek kapasitör aktif dengeleme şematiği verilmiştir.



Şekil 4.10. Anahtarlamalı tek kapasitör aktif dengeleme [62]

4.3.2.3. Anahtarlamalı çift kapasitör aktif dengeleme

Bu dengeleme yönteminin, anahtarlamalı kapasitör dengeleme yönteminden farkı en az iki tane kapasitör gerekli olmasıdır. Yani n kadar batarya hücresinin olduğunu kabul edilirse n tane kapasitör ve $2n$ kadar anahtarın bulunması gerekmektedir. Şekil 4.11’de anahtarlamalı çift kapasitör aktif dengeleme şematiği verilmiştir.



Şekil 4.11. Anahtarlamalı çift kapasitör aktif dengeleme [62]

4.4. SoC Tahminlemesi

BYS’nin ölçtüğü gerilim, akım, sıcaklık ve şarj-deşarj çevrim sayısına bağlı olarak bataryanın şarj durumu ile ilgili tahminleme yapılması gerekmektedir.

SoC, bataryaya yapılan testler sonucunda doğrudan elde edilebilen bir veri değildir. Belirli tahminleme yöntemleri kullanılarak bataryanın şarj değerinin hesaplanması gerekmektedir. SoC tahminleme için kullanılan yöntemler Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. SoC tahminleme yöntemleri [63]

Yöntem	Avantajı	Dezavantajı	Kullanılan batarya türü
Çizelgeden kontrol	-Uygulaması kolaydır.	-Yazı olarak kayıt altına alınmaktadır. -Hassas ve çevreye duyarlı sistemler için yetersizdir.	Nikel kadmiyum
Akım ayırma yöntemi		-Hassas ve çevreye duyarlı sistemler için yetersizdir.	
Deşarj testi	-Uygulaması kolaydır. -Yüksek doğruluk oranına sahiptir.	-Yazı olarak kayıt altına alınmaktadır. -Test süresinin uzun sürmektedir. -Test şartlarına bağlı olarak enerji kaybının meydana gelmektedir.	Tüm batarya hücrelerinin ilk çevrimlerinde kullanılarak hücre kapasitesinin belirlenmesini sağlar.
Elektrolitin fiziksel özellikleri	-Test sırasında veri alınması sağlanır. - Bataryanın sağlık durumu tahmini için de yardımcı olmaktadır.	-Sıcaklık değişimine ve çevre şartlarına karşı hassastır.	Kurşun asit
Lineer model	-Uygulaması kolaydır. -Test sırasında veri alınması sağlanır.	-Verilerin eşleştirilebilmesi için referans verilere ihtiyaç duyar. -Batarya durumuna ve çevre şartlarına karşı hassastır.	Kurşun asit

Empedans Spektroskopisi	-Bataryanın kapasitesi ve bataryanın sağlık durumu tahmini için bilgi verir.	-Fiyatı yüksektir ve sıcaklığa karşı hassastır.	Tüm batarya türleri için kullanılır.
İç direnç	-Online yöntem olarak denemeleri vardır. -Bataryanın sağlık durumu tahmini için de yardımcı olmaktadır.	-Kısa aralıklar için en iyi yöntemdir.	Kurşun asit - lityum türevli bataryalar
Bulanık mantık	-Online bir yöntemdir.	-Batarya durumuna ve evre şartlarına karşı hassastır.	Kurşun asit - lityum türevli bataryalar
Açık devre gerilimi	-Online bir yöntemdir.	-Akım değerı 0 iken uzun bir süre beklemesi gerekmektedir.	Kurşun asit- lityum türevli bataryalar
Akım sayma yöntemi	-Online bir yöntemdir.	-Gürültüye karşı hassastır.	Tüm batarya türleri için kullanılır.
Kalman filtresi	-Online bir yöntemdir. -Parametrelere karşı dinamik algoritma üretir.	- Tüm parametreleri sisteme dahil edilip uygulaması zordur.	Tüm batarya türleri için kullanılır.
Darbe tepki konsepti	-Online bir yöntemdir.		Tüm batarya türleri için kullanılır.
Yapay sinir ağları	-Online bir yöntemdir.	-Aynı bataryanın daha önceden eğitilmiş verilerinin olması gereklidir. -Batarya şarj oranı hesaplaması yaklaşımı yavaştır.	Tüm batarya türleri için kullanılır.

4.5. Haberleşme Yöntemleri

BYS'lerde dahili ve harici olarak birçok haberleşme bağlantısı kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında iç haberleşme yani BYS içinde yer alan mikroişlemci ile kullanıcı arasındaki haberleşme üzerine çalışılmıştır. BYS kartlarında en çok kullanılan 6 tane haberleşme yöntemi vardır. Bunlar Entegre Devre (I²C), Seri Çevresel Arabirim (SPI), Evrensel Asenkron Alıcı Verici (UART), Denetleyici Alan Ağı (CAN), Önerilen Standart 232 (RS232) ve Önerilen Standart 485 (RS485) haberleşme türleridir.

Özellikle son yıllarda Analog Device firmasının SPI haberleşmesini ilerletmek için geliştirdiği yeni bir haberleşme bağlantısı bulunmaktadır. IsoSPI adını alan bu haberleşme ağının iki ucunda standart SPI haberleşme protokolü bulunmaktadır. Verinin iletimi için SPI uçlarına bağlı entegreye ihtiyaç duyulmaktadır. 6 haberleşme türünden daha avantajlı olan IsoSPI'nin tek dezavantajı hata işleme eksikliğidir. BYS için kullanılan haberleşme protokollerinin karşılaştırılması Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Haberleşme tiplerini karşılaştırılması [74]

Protokol	Avantajları	Dezavantajları	Haberleşme mesafesi
I ² C	-Haberleşme için sadece iki kablo yeterlidir. -Aynı anda çoklu iletim işlemi yapabilmektedir. -Hata işleme konusunda başarılıdır.	- Limitli iletişim hızına sahiptir. -SPI ve UART haberleşme türlerinden daha fazla güç tüketir. -Yüksek veri iletiminde hata işlemede sorunlar oluşturmaktadır.	Kısa mesafe
SPI	-Veri iletim hızı I ² C den daha hızlıdır. -Yüksek veri gönderme hızına sahiptir. -Veriler kesintisiz olarak iletilmektedir.	-Haberleşme için 4 bağlantı kablosu gerekmektedir. -Hata işleme yapmamaktadır.	Kısa mesafe
UART	-Haberleşme için 2 kablolu bağlantı gerekmektedir. -Parity biti ile birlikte hata işleme yapabilmektedir.	-Sadece iki cihazın birbiri ile haberleşmesine izin verir.	Kısa mesafe

CAN	-Gürültüye karşı dayanıklıdır. -Hata işlemeyi en iyi yapan haberleşme türüdür.	-Yüksek yazılım harcaması gerektirir.	Uzun mesafe
RS232	-Haberleşme için 2 kablo yeterlidir. -Parity biti ile hata tespiti yapmaktadır.	-Görece diğer haberleşme türlerine göre yavaştır. -Sadece iki cihazın haberleşmesine izin verir.	Uzun mesafe
RS485	-Yüksek gürültü değerine karşı duyarlıdır. -Yüksek veri iletimine sahiptir.	-Haberleşme için 4 kablo gereklidir. -Haberleşme için kullanılan kablolar pahalıdır.	Uzun mesafe
IsoSPI	-Yüksek gürültü değerine karşı duyarlıdır. -Haberleşme için 2 kablolu bağlantı gerekmektedir.	-Hata işleme yapmamaktadır.	Uzun mesafe

4.6. BYS için Üretilen Mikroişlemciler

BYS tasarımının en önemli bileşeni olan mikro işlemciler, hücre sayısı ve yapacağı görevlere göre sınıflandırılmıştır. Yarı iletken üretici firmalar tarafından üretilen BYS mikroişlemcileri olarak üretilmiş mikro işlemciler Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5. BYS için üretilen mikroişlemcileri [32]

Marka	Analog Devices	Atmel I	Linear Tech	Maxim	Texas Instruments
Model	AD7280	ATA6870	LTC6804-1	MAX11068	hq76pl536
Mikroişlemciye bağlanabileceği hücre sayısı	6	6	12	12	6
Hücre dengeleme	Pin bağlantısı ile	Pin bağlantısı ile	Pin bağlantısı ile İç dengeleme	Pin bağlantısı ile	Pin bağlantısı ile MOSFET ile

3.6	gerilim	10 [mV]	7 [mV]	8 [mV]	15 [mV]	-
değerinde	hata					
payı						
Sıcaklık	ölçümü	1:1	2:6	1:12	1:12	1:3
(hücre sayısı)						
Haberleşme	için	7	8	4	4	8
gereken	kablo					
bağlantısı						
Desteklenen	SPI	SPI	SPI	I2C/SMB	SPI	
haberleşme türü						

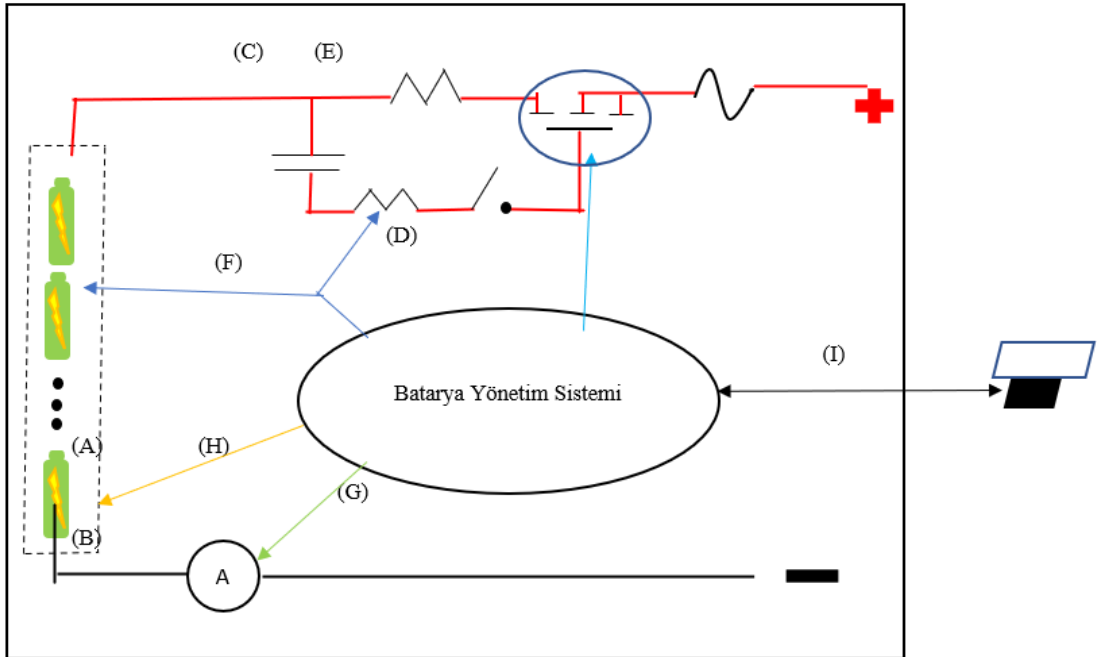
5. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ MODELLEMESİ

BYS; üzerinde elektronik sensörleri bulunan, bir mikro işlemci ile birlikte çalışan ve sistemin çalışmasını sağlayan algorithmadan oluşmaktadır. Modellenecek BYS'nin hangi alanda çalışacağı, çalışma ortamı için gereksinimlerinin belirlenmesi ve sistemin tasarlanması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı doğrultusunda; elektrikli uçaklar için güç kaynağı olarak kullanılması planlanan batarya hücreleri için hibrid bir BYS modellemesi yapılmıştır. Modellenen BYS'ye sensörler eklenerek bataryanın verimliliği artırılmıştır.

5.1. Modellenen Batarya Yönetim Sisteminin İçeriği ve Devre Şemaları

Çalışma kapsamında elektrikli uçaklar için kullanılması planlanan bataryanın gerilim, akım ve sıcaklık değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu kapsamda tercih edilen hücre sayısı, mikro işlemci ve ölçüm sensörlerinin özellikleri ve matematiksel formülleri tek tek anlatılmıştır. Modellenen BYS'nin devre şeması Şekil 5.1'de verilmiştir.



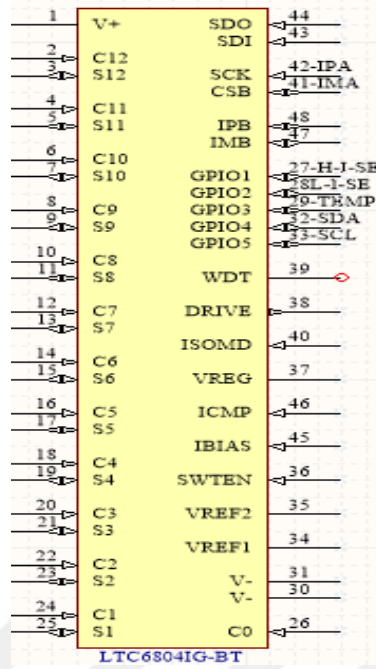
A- Batarya hücresi, B- 12 hücreli Batarya paketi, C-Mosfet, D- Hücre dengeleme direnci E- Sigorta F- batarya hücresi gerilim ölçümü, G- Batarya akım kontrol devresi, H-batarya paketi basınç ölçümü, I-Haberleşme

Şekil 5.1. Batarya yönetim sistemi devre şeması

Şekil 5.1’de yer alan BYS devre şeması incelendiğinde, hücre sayısına ve kullanıldığı alana göre onlarca farklı görevi yerine getirebildiği görülmektedir. Gün geçtikçe BYS’ler karmaşılaşmakta ve yerine getirebildiği görev sayısı artmaktadır. Modellenen BYS’nin görevleri uygulamanın isterlerine göre çok farklı sayıda ve türde olabilmektedir. Çalışmada modellenen BYS’nin yerine getirmesi istenilen görevleri aşağıdaki gibi sıralanmak mümkündür:

- 12 hücreye kadar gerilim ölçümü yapabilmesi,
- 12 hücreye kadar sıcaklık ölçümü yapabilmesi,
- 12 hücreye kadar akım ölçümü yapabilmesi,
- Hücre dengelemesi yapabilmesi,
- IsoSPI haberleşme türüne sahip olması,
- Akım kontrolü, gerilim kontrolü yapabilmesi,
- Minimum güç tüketimine sahip olması,
- Batarya basınç ölçüm sensörüne sahip olması,
- Elektrikli uçaklara uygun batarya ve sensörler ile çalışabilmesidir.

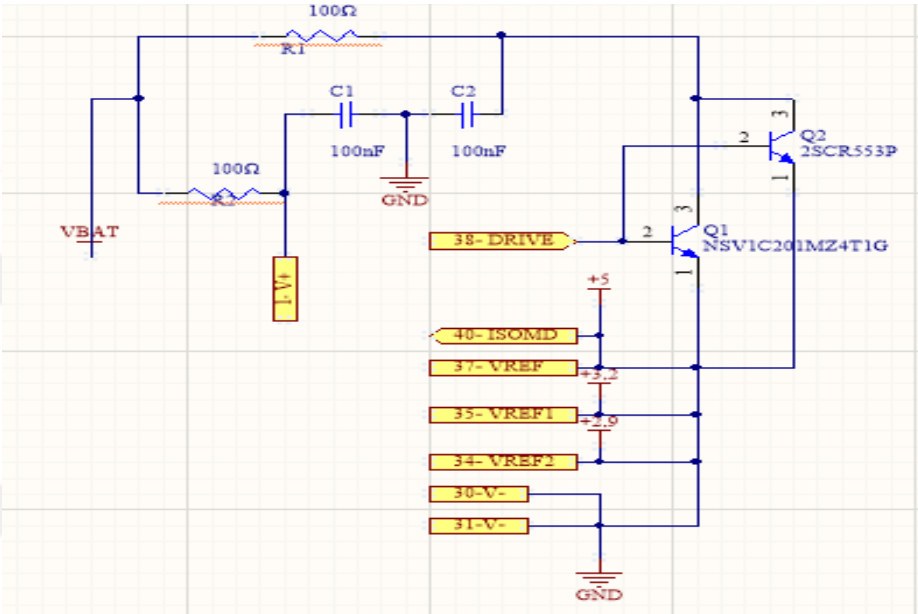
Modellenen BYS’nin, yukarıdaki görevleri yerine getirebilmesi için ilk önce çalışılacak mikro işlemciye karar verilmelidir. Bu nedenle, elektrikli uçaklarda kullanılacak bataryaların güvenliğini sağlamak için gerilim, sıcaklık, akım ölçümü ve kontrolünü yapılabilmelidir. Bunun yanı sıra batarya ömrünü artırmak için bataryanın hücre dengelemesini desteklemelidir. Son olarak uçakta bataryaların durumunun ve verilerin bir gösterge ile anında gösterebileceği haberleşme türü olan IsoSPI haberleşme desteği vermelidir. Bu isterler doğrultusunda çalışmada LTC6804 işlemcisi tercih edilmiştir. Şekil 5.2’de LTC6804 işlemcinin çizimi ve pinleri belirtilmiştir.



Şekil 5.2. LTC6804 işlemcinin çizimi [78]

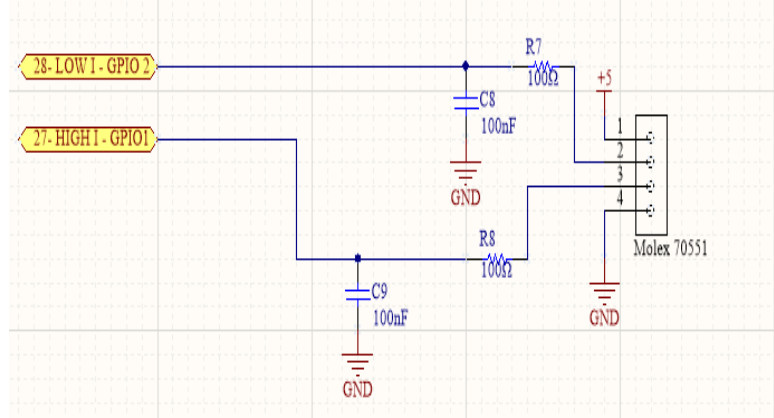
BYS'nin ilk görevi uçaklar için güç kaynağı olan bataryaların şarj ve deşarjının yapılması sırasında gerilim ve akım değerlerinin izlenmesi ve kontrolüdür. Bu işlem için her bir batarya hücresinin anot ve katotları BYS'ye, BYS ise bir elektronik yüke bağlanmalıdır. Bu sayede bataryanın elektronik yük üzerinden deşarj olması sağlanmaktadır. Bataryanın şarj edilebilmesi içinse dışarıdan bir güç kaynağı gerekmektedir. Her iki işlem de BYS'nin yönetimi ve koruması altında gerçekleştirilmektedir.

Bataryaların şarjı sabit akım-sabit gerilim (constant current-constant voltage- CC-CV) yöntemiyle yapılmaktadır. Bu yöntemde şarj işlemi hem maksimum bir akım hem de maksimum bir gerilimle sınırlandırılmaktadır. Batarya modellemesi için bu gerilim değerlerinin Li-Ion hücresi için 3,1 ile 4,2 V arasında, LFP batarya hücresi için ise 2,7-3,8 V arasında olması tercih edilmiştir. Eğer batarya belirlenen maksimum akımdan daha yüksek bir akım çekerse şarj gerilimi düşürülerek çekilen akım miktarının düşmesi sağlanmaktadır. Batarya şarj oldukça üzerindeki gerilim artar ve bir süre sonra sınır gerilim değerine yaklaştıkça maksimum akımdan daha düşük akıma doğru ilerler. Bu durumda da şarj gerilimi sabit tutularak bataryada meydana gelebilecek yüksek gerilim kaynaklı hasarlar engellenmiş olunmaktadır. Bataryanın çektiği akım belirlenen bir miktarın altına düştüğünde şarj işlemi sonlandırılmaktadır.



Şekil 5.3. Gerilim ölçüm ve kontrol devresi [78]

kontrolü ya
değerinin ö



Şekil 5.4. Akım ölçüm devresi [78]

Şekil 5.4'te gösterildiği gibi iki batarya türü için de tek akım sensörü kullanılması planlanmıştır. Çünkü gerilim için belirlenen transistörlerden geçecek akım değeri 2 A olarak belirlenmiştir. Akım kontrolü için kullanılan transistör belirlenirken faydalanılan denklemler aşağıda verilmiştir. Bataryanın akım değerini sınırlamak için referans direnç değerinin (R_b) hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle denklemlerdeki terimlerin tanımlanması gerekir. I_b merkezden (base) geçen akım, I_c kolektörden geçen akım, I_e ise emiterden geçen akım, β ise transistörün kazancıdır. V_{ce} emiter ile kolektör arasındaki gerilim farkı, V_{be} ise emiter ile base arasındaki gerilim farkıdır. Gerilim ile kazanç değerleri, seçilen transistörün bilgi kartından bulunabilmektedir.

$$V_{rb} = R_b \cdot I_b \quad (5.1)$$

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} \quad (5.2)$$

Çalışmada bataryayı 2A ile şarj edeceğimiz için I_e değeri 2A'dır. Baseden geçen akım çok düşük olduğu için I_b ihmal edilmektedir. Bu nedenle $I_e = I_c = I_{bat}$ olur.

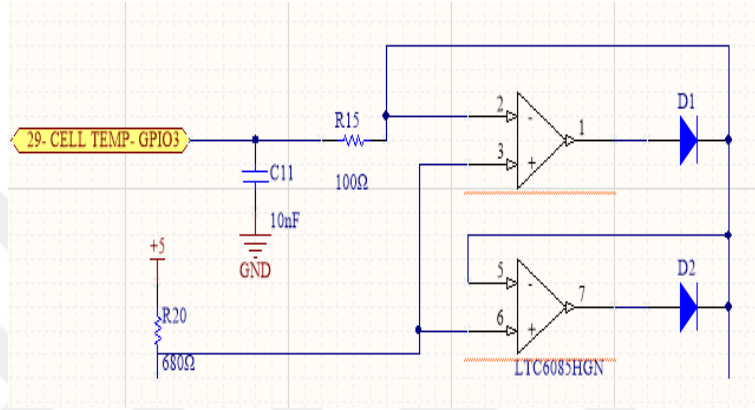
$$V_{rb} = V_{ce} - V_{be} \quad (5.3)$$

$$V_{ce} - V_{be} = R_b \cdot \frac{I_{bat}}{\beta} \quad (5.4)$$

$$R_b = \frac{V_{ce} - V_{be}}{\frac{I_{bat}}{\beta}} \quad (5.5)$$

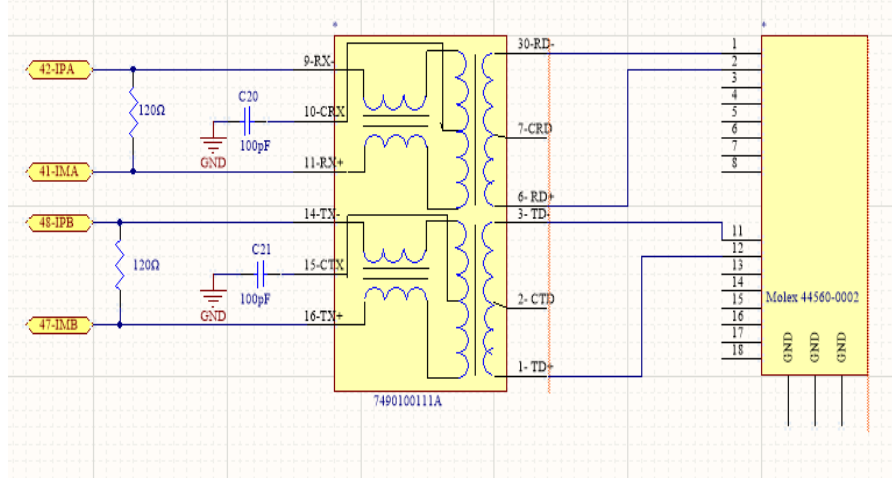
Bilgi kartındaki verilere göre; $V_{be} = 2.5V$ ve $\beta = 750$ değerleri verilmektedir. Bu denklemler doğrultusunda R_b değerinin $1k\Omega$ olduğu hesaplanır.

Şekil 5.5'te tasarlanan sistem, batarya sıcaklığını negatif sıcaklık katsayısı/pozitif sıcaklık katsayısı (NTC/PTC) türü bir op-amp üzerinden okumaktadır. Bu yüzden kullanılan NTC/PTC op-amp'ın batarya hücresi ile temas etmesi gerekmektedir. Tercih edilen op-amp LTC6085HGN sensörüdür. Bu op-amp sıcaklık sensörünün çalışma aralığı -40°C ile 125°C arasındadır. İki batarya türünün çalışma sıcaklığı da verilen aralıkta olduğu için aynı op-amp kullanılmıştır. Çizimde gösterilmeyen 24 pinli konektör ile her bir hücrenin sıcaklık ölçümü yapılmıştır.



Şekil 5.5. Sıcaklık ölçüm devresi [78]

BYS işlemcisi IsoSPI yapısını desteklediği için sadece tek kablo ile haberleşme sağlanması yeterlidir. Ayrıca IsoSPI haberleşmesi elektromanyetik gürültülere karşı oldukça dayanıklı bir haberleşme türüdür. IsoSPI yapısında bir adet sinyal trafosu ile haberleşme hattı izole edilir ve iki telli bir bağlantı yapısı kullanılır. Ana karttaki klasik SPI yapısını IsoSPI'a çevirmek için ayrı bir entegre devresi kullanılır. Bunun için tercih edilen entegre devre 7490100111A kodlu devredir. Haberleşme entegre devrelerinin bağlantı yapısı Şekil 5.6'da verilmiştir.

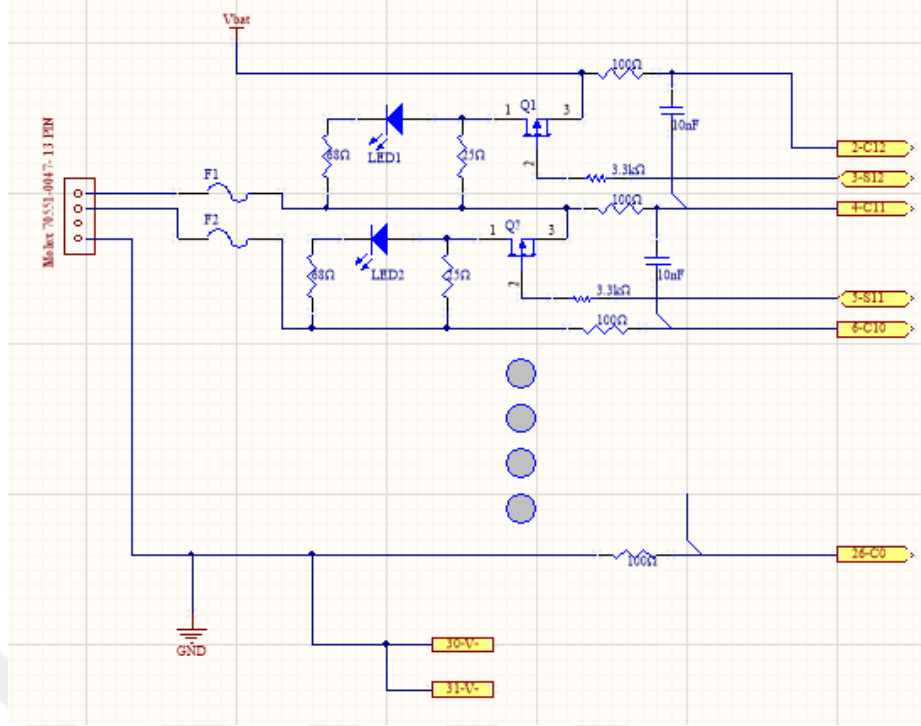


Şekil 5.6. Haberleşme devresi [78]

Bir batarya paketini oluşturan hücrelerin gerilim değeri, kimyasal özellikler bakımından eşit değildir. Aynı tür bataryanın yeni üretilmiş hücrelerinde dahi üretimden kaynaklı farklılıklar vardır. Ayrıca batarya paketinin oluşturulduktan sonra kullanımı sırasında farklı sıcaklık değerlerine maruz kalmasıyla hücrelerin özdeşliği bozulmaktadır ve hücreler arası enerji farkı ortaya çıkmaktadır.

Seri bağlı hücreler farklı gerilim değerine sahipse, şarj sırasında maksimum gerilim değerine sahip hücre ilk önce şarj bitirme gerilimine ulaşmaktadır. BYS, diğer hücreler henüz gerilim kapasitelerini doldurmamış olmasına rağmen bu noktada şarjı bitirmek zorundadır. Çünkü seri koldan akım iletilerek şarja devam edilirse, şarj bitirme gerilimine ulaşan hücre aşırı şarj edilmiş olacaktır ve hücre hasar görecektir. Benzer şekilde deşarj sırasında deşarj bitirme gerilimine ulaşan tek bir hücre olması durumunda bile deşarj işleminin bitirilmesi gerekmektedir.

Bu verimsiz durumun önüne geçmek için BYS'ler hücre dengeleme işlemi gerçekleştirirler. Hücre dengeleme işlemi sayesinde batarya hücreleri arasında farklar oluşsa dahi kullanılamayacak kapasitenin bir kısmı veya tamamı kullanılabilir. Hücre dengeleme işleminde karşımıza iki yöntem çıkmaktadır. Bu yöntemler aktif dengeleme ve pasif dengelemedir. Aktif dengeleme yöntemleri karmaşık sistem ve maliyetli üretim gerektirmesi nedeniyle genelde tercih edilmez. Pasif dengeleme uygulaması kolay olduğu için modellenen sistemde tercih edilmiştir. Çalışmada, pasif dengeleme mosfet ile gerçekleştirilmiştir. Mosfete bağlı iki direnç yer almaktadır. Bu dirençler parazitlik ve dengeleme işlemleri gerçekleştirmektedir. Dengeleme çizimi Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Hücre dengeleme devresi [78]

Akım sayma yöntemi, SoC tahmin yöntemi olarak tercih edilmiştir. Akım sayma yöntemi amper-saat (Ah) dengeleme yöntemi olarak da bilinir. Kısa süreli hesaplamalar için en doğru teknik olduğundan SoC tahmini için en çok kullanılan yöntemdir. Akım sayma yöntemi SoC'yi hesaplamak için Denklem (5.6) kullanılmaktadır [77]:

$$SoC(t) = SoC(t_0) + \frac{1}{C_n} \int_{t_0}^{t_0+t} I_{bat} I(d\tau) \times \%100 \quad (5.6)$$

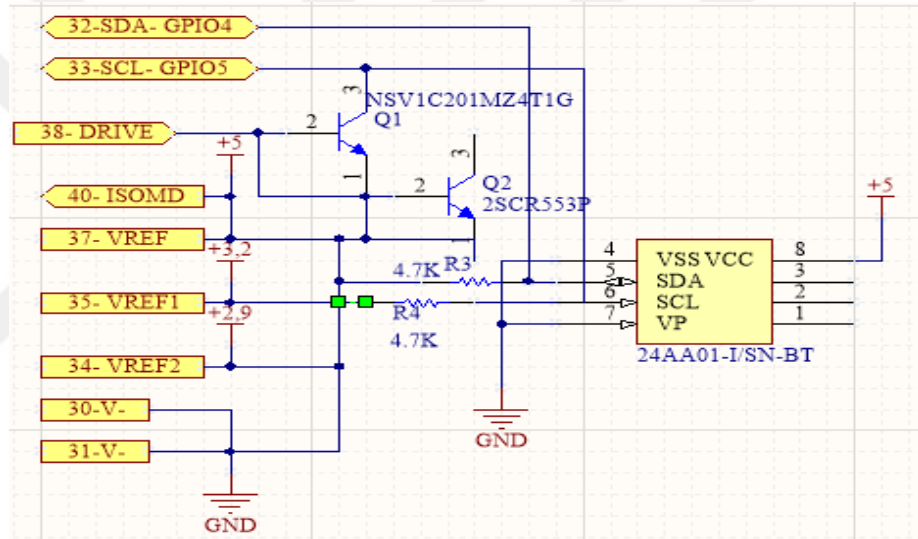
SoC(t₀) başlangıç durumundaki SoC'yi, C_n ise bataryanın nominal kapasitesini ve I_{bat} ise bataryanın şarj veya deşarj sırasındaki akım değerini gösterir. BYS modellemesinde, her bir şarj-deşarj döngüsü tamamlandığında SoC hesaplaması için batarya özelliklerine bağlı olarak bataryanın iç direncine karşılık gelen ek bir direnç eklenmiştir. Bu direnç, Li-Ion batarya için çevrim başına 60 mΩ ve LFP batarya için 35 mΩ olarak belirlenmiştir.

Bataryanın SoH değeri gerilim, akım ve sıcaklık gibi ölçülebilen parametrelerine algoritmalar uygulanarak tahmin edilebilir. Bu algoritmalarından biri akım sayma yöntemidir. Bu işlem 2 adımda gerçekleşir. İlk adım Q_{deşarj} değerini hesaplamaktır. Bunun için SoC değerinin %0 olana kadar yani batarya tamamen boşalana kadar geçen süredeki akım değerinin integrali ile bulunur. İkinci adım ise nominal SoH değeri (Q_{nominal}) ile Q_{deşarj} değerinin bölünmesiyle son SoH durumu bulunmasıdır.

$$Q_{\text{deşarj}} = \int_0^t I(t) dt \quad (5.7)$$

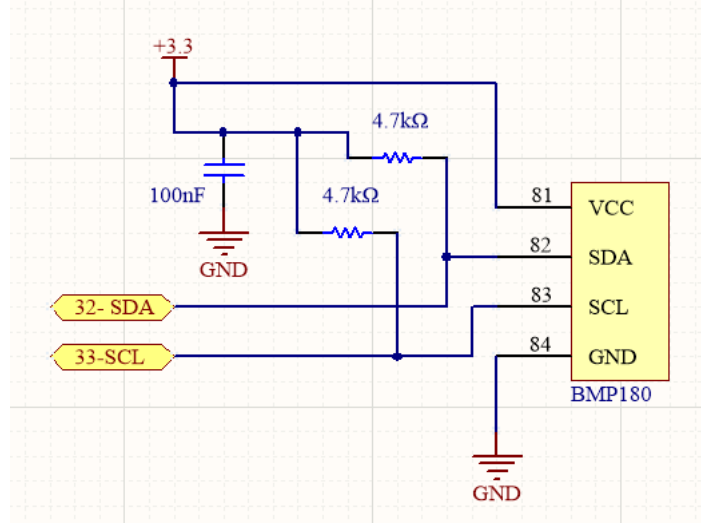
$$SoH(\%) = \frac{Q_{\text{deşarj}}}{Q_{\text{nominal}}} \times \%100 \quad (5.8)$$

BYS kartı sürekli çalışma durumunda fazla güç harcadığından çalışma durumunu azaltmak için mikro işlemcide uyku modu bulunmaktadır. BYS kartı uyku moduna geçtiğinde yapılan ölçümlerin kaybolması söz konusudur. Bu nedenle BYS ölçümlerinin kayıtların tutulması için bir EEPROM kayıt sensörü eklenmiştir. İşlemciler uykuya geçmeden önce kayıtlar EEPROM'a yazılarak bilgilerin kaybolması engellenmektedir. EEPROM için tercih edilen sensör 24AA01 sensörüdür. BYS'de kullanılması için tasarlanan kayıt sensörü Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8. EEPROM devresi [78]

Tasarlanan BYS kartının son sensörü ise basınç sensörüdür. Uçuşların değişken irtifalarda gerçekleşmesi nedeniyle bataryada basınçtan kaynaklı bir hasar oluşmaması için basınç ölçümü yapılmaktadır. Tercih edilen sensör ve bağlantıları Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. Basınç ölçüm devresi [78]

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, elektrikli uçaklarda kullanmak üzere iki farklı kimyasala sahip batarya tipi için bir BYS kartı modellemesi yapılmıştır. Modellenen elektronik kart Altium programı ile oluşturulmuştur.

Havacılık sektöründe kullanılacak olan BYS'nin modellemesi, havacılık gereksinimleri belirlenmesi ile uygun bir kart modeli oluşturulmuştur. Linear Technology firmasının BYS için ürettiği LTC6804 mikroişlemci ile profesyonel ve verimli bir modellemesi ortaya konulmuştur. BYS modellemesi, hücre gerilimi, akım değerlerini ve hücre sıcaklıklarını yüksek doğrulukta ve hızlı bir şekilde ölçülebilmesine, hücrenin dengelemesini gerçekleştirebilmesine ve kullanıcı ile IsoSPI haberleşmesine sahiptir. Gelişmiş bir batarya ve kontrol ölçüm yönetimi kurmak için modüler yapısı sayesinde kolayca ölçeklenebilir ve batarya hücresi veya 12 seri bağlı batarya paketi için kullanıma uygundur. Modellenen BYS'nin, diğer BYS kartlarına göre avantajı özellikle iki farklı batarya tipi için kullanılabilmesidir. Bu sayede aynı araç içerisinde iki farklı kimyasal ve enerji değerine sahip bataryaların hibrid çalışmasına olanak sağlar. Elektrikli uçak gereksinimlerine göre BYS kartı özellikleri basınç sensörünün eklenmesiyle iyileştirilmiştir.

Çalışma BYS modellemesi üzerine gerçekleştirilmiştir. Gelecek çalışmalarda BYS modellemesi 3 boyutlu kart haline getirilerek deneysel testlere tabi tutularak sektördeki BYS kartları ile verimliliği karşılaştırılacaktır.

KAYNAKÇA

1. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2019). *Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi*.
2. Dünya Sağlık Örgütü (WHO). (2018). *Ambient air pollution: Health impacts, WHO raporu*.
3. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2018). *Kyoto Protokolü*.
4. Civelekoğlu, G., & Bıyık, Y. (2018). Ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izi değişiminin incelenmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 157-166.
5. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO). (2021). *Reducing emissions from aviation*.
6. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1999). *Aviation and the global atmosphere: a special report of IPCC*. Cambridge, İngiltere: Cambridge University Press.
7. Duflou, J. R., De Moor, J., Verpoest, I., & Dewulf, W. (2009). Environmental impact analysis of composite use in car manufacturing. *CIRP annals*, , 58(1), 9-12.
8. Airbus. (2011). *Global market forecast 2011–2030*. Toulouse, Fransa: Airbus Group.
9. Timmis, A. J., Hodzic, A., Koh, L., Bonner, M., Soutis, C., Schäfer, A. W., & Dray, L. (2015). Environmental impact assessment of aviation emission reduction through the implementation of composite materials. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 233-243.
10. IEA. (2009). *Energy technology transitions for industry: strategies for the next industrial revolution*. . OECD Publishing.
11. IATA *Financial forecast*. (2012). International Air Transport Association: <https://www.iata.org/whatwedo/Documents/economics/Industry-Outlook-Jun2012.pdf>. (Erişim Tarihi 5.10.2020)

12. Sripad, S., & Viswanathan, V. (2017). Evaluation of current, future, and beyond Li-ion batteries for the electrification of light commercial vehicles: Challenges and opportunities. *Journal of The Electrochemical Society*, 164(11), E3635.
13. Cai, W., Wu, X., Zhou, M., Liang, Y., & Wang, Y. (2021). Review and Development of Electric Motor Systems and Electric Powertrains for New Energy Vehicles. *Automotive Innovation*, 4(1), 3-22.
14. *A Journey Through the History of Electric Aircraft -It is Almost Half a Century Since the First Manned Electrically Propelled Flight.* (2019). <https://www.arts.eu/journey-through-the-history-of-electric-aircraft> (Erişim Tarihi: 20.08.2020)
15. Wheeler, P., Sirimanna, T. S., Bozhko, S., & Haran, K. S. (2021). Electric/Hybrid-Electric Aircraft Propulsion Systems. *IEEE*, 109(6), 1115-1127.
16. Zhu, X., Guo, Z., & Hou, Z. (2014). Solar-powered airplanes: A historical perspective and future challenges. *Progress in Aerospace Sciences*, 71, 36-53.
17. Brelje, B. J., & Martins, J. R. (2019). Electric, hybrid, and turboelectric fixed-wing aircraft: A review of concepts, models, and design approaches. *Progress in Aerospace Sciences*, 104, 1-19.
18. Airbus. (2020). <https://www.airbus.com/> (Erişim Tarihi: 12.08.2020)
19. Boeing. (2020). <https://www.boeing.com/> (Erişim Tarihi: 12.08.2020)
20. Isikveren, A. T., Kaiser, S., Pornet, C., & Vratny, P. C. (2014). Pre-design strategies and sizing techniques for dual-energy aircraft. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*.
21. Bowman, C. L., Felder, J. L., & Marien, T. V. (2018). Turbo-and hybrid-electrified aircraft propulsion concepts for commercial transport. *AIAA/IEEE Electric Aircraft Technologies Symposium*, 1-8.
22. Omar, N., Firouz, Y., Abdel Monem, M., Samba, A., Gualous, H., Coosemans, T. C., & Van Mierlo, J. (2014). Analysis of Nickel-Based Battery Technologies for Hybrid and Electric Vehicle. *Molecular Sciences and Chemical*. içinde Elsevier.

23. Pózna, A. I., Magyar, A., & Hangos, K. M. (2017). Model identification and parameter estimation of lithium ion batteries for diagnostic purposes. *International Symposium on Power Electronics* , 1-6.
24. Cheng, P., Zhou, Y., Song, Z., & Ou, Y. (2016). Modeling and SOC estimation of LiFePO₄ battery. *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2140-2144.
25. Baczyńska, A., Niewiadomski, W., Gonçalves, A., Almeida, P., & Luís, R. (2018). Li-NMC batteries model evaluation with experimental data for electric vehicle application. *Batteries*, 4(1), 11.
26. Zhang, J., Zhang, L., Liu, H., Sun, A., & Liu, R. S. (2011). Electrochemical Technologies for Energy Storage and Conversion. *John Wiley & Sons.*, 2,1.
27. Wang, Q., Jiang, B., Li, B., & Yan, Y. (2016). A critical review of thermal management models and solutions of lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 106-128.
28. Yong, J. Y., Ramachandaramurthy, V. K., Tan, K. M., & Mithulananthan, N. (2015). A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renewable and sustainable energy reviews*, 49, 365-385.
29. Liu, H., Wei, Z., He, W., & Zhao, J. (2017). Thermal issues about Li-ion batteries and recent progress in battery thermal management systems: A review. *Energy conversion and management*, 150, 304-330.
30. Väyrynen, A., & Salminen, J. (2012). Lithium ion battery production . *The Journal of Chemical Thermodynamic*, 46, 80-85.
31. Keyser, M. A., Pesaran, A., Mihalic, M., Yu, J. S., Kim, S. R., Alamgir, M., & Rivers, D. (2003). Thermal characterization of advanced lithium-ion polymer cells. *Gen*, 1, 4-5.
32. Andrea, D. (2010). *Battery management systems for large lithium-ion battery packs*. Artech house.

33. Rahimi-Eichi, H., Ojha, U., Baronti, F., & Chow, M. Y. (2013). Battery management system: An overview of its application in the smart grid and electric vehicles. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 7(2), 4-16.
34. Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J., & Ouyang, M. (2013). A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of power sources*, 226, 272-288.
35. Waag, W., Fleischer, C., & Sauer, D. U. (2014). Critical review of the methods for monitoring of lithium-ion batteries in electric and hybrid vehicles. *Journal of Power Sources*, 258, 321-339.
36. Lin, Q., Wang, J., Xiong, R., Shen, W., & He, H. (2019). Towards a smarter battery management system: A critical review on optimal charging methods of lithium ion batteries. *Energy*, 183, 220-234.
37. Jiang, J., & Zhang, C. (2015). Fundamentals and applications of lithium-ion batteries in electric drive vehicles. *John Wiley & Sons*.
38. Omariba, Z. B., Zhang, L., & Sun, D. (2019). Review of battery cell balancing methodologies for optimizing battery pack performance in electric vehicles. *IEEE Access*, 7, 129335-129352.
39. Pattipati, B., Pattipati, K., Christopherson, J. P., Namburu, S. M., Prokhorov, D. V., & Qiao, L. (2008). Automotive battery management systems. *IEEE*, 581-586.
40. Farmann, A., Waag, W., Marongiu, A., & Sauer, D. U. (2015). Critical review of on-board capacity estimation techniques for lithium-ion batteries in electric and hybrid electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 281, 114-130.
41. Rivera-Barrera, J. P., Muñoz-Galeano, N., & Sarmiento-Maldonado, H. O. (2017). SoC estimation for lithium-ion batteries: Review and future challenges. *Electronics*, 6(4), 102.
42. Hannan, M. A., Lipu, M. H., Hussain, A., & Mohamed, A. (2017). A review of lithium-ion battery state of charge estimation and management system in electric vehicle applications: Challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 834-854.

43. Hu, L., Hu, X., Che, Y., Feng, F., Lin, X., & Zhang, Z. (2020). Reliable state of charge estimation of battery packs using fuzzy adaptive federated filtering. *Applied Energy*, 262, 114569.
44. Hannan, M. A., Lipu, M. H., Hussain, A., Ker, P. J., Mahlia, T. I., Mansor, M., & Dong, Z. Y. (2020). Toward enhanced state of charge estimation of lithium-ion batteries using optimized machine learning techniques. *Scientific reports*, 10(1), 1-15.
45. Li, J., Barillas, J. K., Guenther, C., & Danzer, M. A. (2013). A comparative study of state of charge estimation algorithms for LiFePO₄ batteries used in electric vehicles. . *Journal of power sources*, 230, 244-250.
46. Ren, H., Zhao, Y., Chen, S., & Wang, T. (2019). Design and implementation of a battery management system with active charge balance based on the SOC and SOH online estimation. *Energy*, 166, 908-917.
47. Berecibar, M., Gandiaga, I., Villarreal, I., Omar, N., Van Mierlo, J., & Van den Bossche, P. (2016a). Critical review of state of health estimation methods of Li-ion batteries for real applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 572-58.
48. Tian, J., Xiong, R., & Shen, W. (2019). A review on state of health estimation for lithium ion batteries in photovoltaic systems. *ETransportation*, 2, 100028.
49. Lin, C. P., Cabrera, J., Yang, F., Ling, M. H., Tsui, K. L., & Bae, S. J. (2020). Battery state of health modeling and remaining useful life prediction through time series model. *Applied Energy*, 275, 115338.
50. Ungurean, L., Cârstoiu, G., Micea, M. V., & Groza, V. (2017). Battery state of health estimation: a structured review of models, methods and commercial devices. *International Journal of Energy Research*, 41(2), 151-181.
51. Berecibar, M., Garmendia, M., Gandiaga, I., Crego, J., & Villarreal, I. .. (2016b). State of health estimation algorithm of LiFePO₄ battery packs based on differential voltage curves for battery management system application. *Energy*, 103, 784-796.

52. Hashemi, S. R., Mahajan, A. M., & Farhad, S. (2021). Online estimation of battery model parameters and state of health in electric and hybrid aircraft application. *Energy*, 229, 120699.
53. Chen, Z., Mi, C. C., Fu, Y., Xu, J., & Gong, X. (2013). Online battery state of health estimation based on Genetic Algorithm for electric and hybrid vehicle applications. *Journal of Power Sources*, 240, 184-192.
54. Xu, G., Du, X. L., Zhang, X., Zheng, M., Miao, Y., & Liu, Q. (2018). Reliability design of battery management system for power battery. *Microelectronics Reliability*, 88, 1286-1292.
55. Ismail, K., Muharam, A., & Pratama, M. (2015). Design of CAN bus for research applications purpose hybrid electric vehicle using ARM microcontroller. *Energy Procedia*, 68, 288-296.
56. Piao, C., Liu, Q., Huang, Z., Cho, C., & Shu, X. (2012). VRLA battery management system based on LIN bus for electric vehicle. In *Advanced Technology in Teaching* (s. 753-763). Berlin: Springer.
57. Kılıç A. (2016). Main and satellite controller module design and use of CAN protocol in battery management system . *Master Thesis*.
58. Allan, J. (2007). The design of an energy management system. *Master Thesis*. Helsinki University of technology.
59. Hu, R. (2011). Battery management system for electric vehicle applications. *Master Thesis*. University of Windsor.
60. Nejedly, A. (2011). Evaluation and Test of a Battery Management Unit for Hybrid Electric Vehicles. *Master Thesis*. Royal Institute of Technology .
61. Weingarten, L. (2012). Physical Hybrid Model: Measurement-Experiment-Simulation. *Master Thesis*. Uppsala University.
62. Dussarrat, J., & Balondrade, G. (2012). Design of a test bench for battery management. *Master Thesis*. Department of Electrical Engineering Linköping University.

63. Baykal T. (2013). Designing a battery management system for lithium polymer batteries. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Üniversitesi.
64. Nafiz S. (2014). Battery management system design for electric buses. *Yüksek Lisans Tezi*. Ege Üniversitesi.
65. Morsali, M. (2015). Modeling and Control of a Parallel HEV Powertrain with Focus on the Clutch. *Master Thesis*. Department of Electrical Engineering Linköping University.
66. Soydaş Ş. (2015). Battery management system design for lithium based battery packs. *Yüksek Lisans Tezi*. Karabük Üniversitesi.
67. Bjarnholt, P. (2017). Electric Propulsion in Passenger Jet Airplanes: Requirements to realize all-electric propulsion. *Master Thesis*. KTH School of Industrial Engineering and Management.
68. Narayan, A. (2017). State and parametric estimation of li-ion batteries in electrified vehicles. *Master Thesis*. KTH School of Industrial Engineering and Management.
69. Akdoğan T. (2019). Mathematical modeling of alternator and battery management system of heavy commercial vehicles and contributions to energy efficiency. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
70. Baygüneş B. (2019). Battery management system in electric vehicles. *Yüksek Lisans Tezi*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
71. Rigan M. (2020). Battery management system design of electric vehicles. *Yüksek Lisans Tezi*. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi.
72. Ali, H. A., & Abdeljawad, Z. N. (2020). Thermal Management Technologies of Lithium-Ion Batteries Applied for Stationary Energy Storage Systems: Investigation on the Thermal Behavior of Lithium-Ion Batteries. *Master Thesis*. Mälardalens University.
73. Åkesson, E., Kempe, M., Nordlander, O., & Sandén, R. (2020). Unmanned Aerial Vehicle Powered by Hybrid Propulsion System. *Master Thesis*. KTH School of Industrial Engineering and Management.

74. Larsson, P. (2021). Linear parameter varying model and identification method for Li-ion batteries in electric vehicles. *Master Thesis*. Uppsala University.
75. Malachowska, J., & Nore, M. (2021). Emulation of Analog Front-End isoSPI communication for Battery Management Systems. *Master Thesis*. KTH School of Industrial Engineering and Management.
76. Saleh Y. (2021). Battery management system. *Yüksek Lisans Tezi*. Firat Üniversitesi.
77. Fleischer, C., Waag, W. B., & Sauer, D. U. (2013). Adaptive On-line State-of-available-power Prediction of Lithium-ion Batteries. *Journal of Power Electronics*, 13(4), 516-527.
78. Tarhan, B., Yetik, O., & Karakoc, T. H. (2021). Hybrid Battery Management System Design for Electric Aircraft. *Energy*, 121227.

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: Click or tap here to enter text.

EĞİTİM BİLGİLERİ

2018-Devam Ediyor Havacılık Elektrik ve Elektronik ABD. – Yüksek Lisans

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

2014-2015 Aircraft Engineer Departman (Erasmus) (3.52/4.00)

Estonian Aviation Academy, Tartu, Estonya

2012 -2018 Havacılık Elektrik ve Elektronik Bölümü – Lisans (3.27/4.00)

Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

2009-2012 Matematik-Fen Bölümü (89.8/100)

Karaman Anadolu Lisesi, Karaman, Türkiye

İŞ TECRÜBESİ

2017 Stajyer

Turistik Hava Taşımacılık A.Ş (Corendon Airlines) / ANTALYA

Uçak Bakımı

2018 (3 AY) Proje Mühendisi

Arı Savunma ve Havacılık Elektronik SAN. TİC. A.Ş/ ANKARA

Elektronik Mühendisi

2019(8 AY) Proje Mühendisi

Z-sistem Savunma ve Havacılık Elektronik SAN. TİC. A.Ş/
ANKARA

Elektronik Mühendisi

PROJELER VE YAYINLAR

21-23 Nisan 2017 Lakeland, Florida- SAE(Society of Automotive Engineers) Aero Design East yarışmasında genel klasmanda birincilik

17-18 Kasım 2017 İzmir’de gerçekleşen Ulusal Havacılık Teknolojisi ve Uygulamaları Kongresi (UHAT) İHA’larda slat ve flap mekanizması üzerine bir bildirim yayınlandı.

2017 Aralık ayında TÜBİTAK 2209-B Sanayiye yönelik bitirme projesi

3001-Tübitak Projesi olan Elektrikli Araçlar için batarya sistemi geliştirilmesi

20 – 23 Eylül 2018 IGA İstanbul’da gerçekleşen Teknofest kapsamında yapılan TÜBİTAK Uluslararası İHA Türkiye Yarışması için tasarlanan ve yarışmada genel klasmanda birincilik

8- 10 Ekim 2018 International Symposium On Electric Aviation And Autonomous Systems (ISEAS-2018 Kiev) sempozyumunda “The Comparison of Li-Ion and LiFePO4 Batteries for All Electric Aircraft Concept” ve “A Portable Ground Control Station Design for UAV Field Operations” başlıklı bildiri sunumları

9- 12 Ekim 2018 International Symposium of Sustainable Aviation (ISSA-2020 Malezya) sempozyumunda ‘Designing of Battery Management System for Lithium Based Battery Packs Using at Electric Aircraft’ başlıklı bildiri sunumu

Tarhan, B., Yetik, O., & Karakoc, T. H. (2021). Hybrid Battery Management System Design for Electric Aircraft. Energy, 121227. İsimli makale